



MERKBLATT

Empfehlungen zum Strahlenschutz bei der Radiosynoviorthese (RSO)

Grundlagen

Die RSO ist ein Verfahren der Nuklearmedizin zur Behandlung chronisch entzündlicher Gelenkerkrankungen durch Injektion von Lösungen mit Betastrahlern in die betroffenen Gelenke. Bei diesem, vor allem in Deutschland verbreiteten Therapieverfahren werden die Nuklide Yttrium-90, Rhenium-186 und Erbium-169 in Form von kolloidalen Lösungen appliziert. Die Energie des Betastrahlers bestimmt die Reichweite der Strahlung in Gewebe und damit ihre Eignung für die Behandlung eines Gelenkes in Abhängigkeit von dessen Größe. Tabelle 1 enthält einige physikalische Größen der genannten Radionuklide.

Betastrahlung lässt sich durch Materialien niedriger Massenzahl, z. B. durch Kunststoffe wie Acrylglas (PMMA), gut abschirmen. Es gilt die Faustformel: Die maximale Reichweite der Betateilchen, d.h. die zur völligen Abschirmung nötige Kunststoffdicke in cm, entspricht etwa der Hälfte der Maximalenergie eines Nuklids in MeV. Die Betastrahlung des Y-90 wird z. B. mit ca. 1 cm Kunststoff völlig abgeschirmt.

In Luft ist die Reichweite dagegen um etwa drei Zehnerpotenzen größer, was in der Praxis häufig nicht beachtet wird. Als Faustformel gilt hier, dass die maximale Reichweite in Luft, angegeben in m, rund das Vierfache der Maximalenergie in MeV beträgt. Für Y-90 entspricht das einer Entfernung von ca. 9 m.

Die Messgröße für die Personendosis durch Betastrahlung und niederenergetische Photonenstrahlung (<15 keV) ist die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ [1]. Bei Teilkörperexpositionen der Extremitäten ist $H_p(0,07)$ ein geeigneter Schätzwert für die Hautdosis.

Der Grenzwert für die Organdosis der Haut für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A beträgt gemäß Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung 500 mSv/a.

Sachstand

Bei der RSO eines Kniegelenks werden bis etwa 300 MBq Y-90 appliziert. Bei der Präparation und Applikation der Spritzen können hohe

Radio-nuklid	Halbwertszeit (h)	Max./mittl. Energie (MeV)	Max./mittl. Reichweite in Gewebe ¹⁾ (mm)	Hautdosisleistung für 1 MBq (μ Sv/s)	Hautdosisleistung bei Kontamination (μ Sv/s)	
				Punktquelle in 30 cm Abstand	Gleichmäßige Verteilung (1 kBq/cm ²)	Tropfen von 0,05 ml (1 kBq)
Y-90	64	2,28/0,93	11/3,6	0,030	0,56	0,38
Re-186	91	1,07/0,38	3,7/1,2	0,033	0,50	0,25
Er-169	226	0,34/0,10	1,0/0,3	0,003	0,31	0,08

¹⁾ gilt annähernd auch für Kunststoffe mit einer Dichte von ca. 1g/cm³ (PMMA, PE, PP)

Tabelle 1: Eigenschaften der zur RSO verwendeten Radionuklide (nach [2, 3])

lokale Hautdosen durch Berühren der aktivitätsführenden Kanülen bzw. Spritzen oder durch geringe Abstände dazu auftreten. Betroffen sind insbesondere die Fingerspitzen von Daumen und Zeigefinger.

Abbildung 1 zeigt Messwerte der Dosisleistung an der Oberfläche einer Spritzenabschirmung aus Acrylglas (max. Wanddicke 6 mm) sowie in verschiedenen Abständen vom Kanülenansatz einer mit 185 MBq Y-90 gefüllten 1 ml-Spritze. Die zum Vergleich angegebenen Werte, ohne Spritzen unterstreichen einerseits, dass dessen Verwendung unverzichtbar ist. Andererseits belegen sie, dass trotz ihrer Benutzung erhebliche Hautdosen auftreten können. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Spritze während der Applikation am Kanülenansatz mit den Fingern festgehalten wird, da die Abschirmung an dieser Stelle nur wenig schützt.

Bedingt durch die hohe spezifische Aktivität, können zusätzlich schon winzige, unsichtbare Spritzer erhebliche Kontaminationen und entsprechend hohe lokale Hautdosen hervorrufen. Kontaminationen durch Betastrahler verursachen im Allgemeinen eine um ein Vielfaches höhere Hautdosis als Gammastrahler gleicher Flächenaktivität!

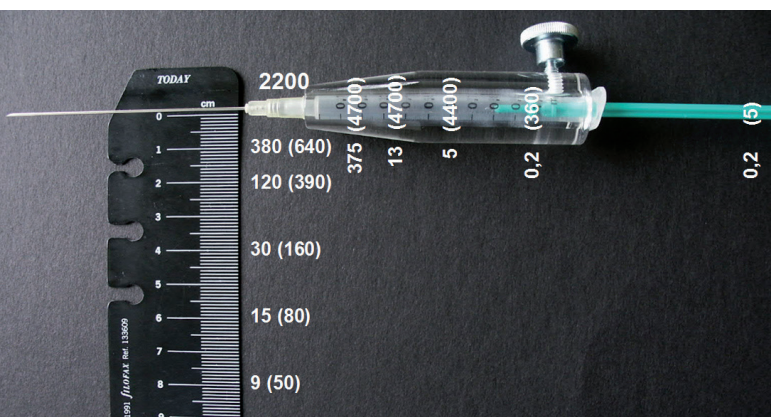


Abbildung 1: Dosisleistung [$\mu\text{Sv/s}$] an der Oberfläche der Spritzenabschirmung und in verschiedenen Abständen vom Kanülenansatz einer 1 ml Spritze mit 185 MBq Y-90 (Werte in Klammern: ohne Abschirmung).

Untersuchungsergebnisse an Arbeitsplätzen

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden Untersuchungen an RSO-Arbeitsplätzen in 12 medizinischen Einrichtungen bei 21 Ärzten und 20 Assistentinnen während ca. 360

Behandlungen durchgeführt, um realistische Werte für die maximale Beta-Teilkörperdosis des Personals zu ermitteln. Aufgrund der inhomogenen Strahlungsfelder beim Umgang mit offenen Betastrahlern, lässt sich die Strahlenexposition nur schwer mit der erwünschten Genauigkeit bestimmen. Mit hochempfindlichen Thermolumineszenzdetektoren (TLD), befestigt an den Innen- und Außenseiten der Fingerkuppen bzw. am Zeigefingergrundgelenk, wurden die lokalen Hautdosen gemessen. Im Falle von Kontaminationen wurden die dadurch verursachten Hautbelastungen rechnerisch abgeschätzt.

Nuklidspezifische Messungen in einigen Einrichtungen bestätigten die Erwartung, dass die RSO von Kniegelenken mit Y-90 den überwiegenden Beitrag zur Strahlenexposition des Personals durch Direktstrahlung liefert. Dies ist auf die hohe Energie der Betastrahlung des Y-90, die relativ hohe Therapieaktivität und die verhältnismäßig großen Patientenzahlen zurückzuführen. In den meisten Kliniken und Praxen tragen Therapien mit Re-186 in deutlich geringerem Maße zur Dosis bei. Beim Umgang mit Er-169 wird die Direktstrahlung aufgrund der niedrigeren Energie bereits durch die Spritze und die Handschuhe stark abgeschirmt, sodass nur geringe Hautdosen auftreten. Kommt es jedoch zu Kontaminationen der Haut, tragen alle drei Nuklide in vergleichbarem Maße zur Hautbelastung bei (Tabelle 1, Spalten 6 und 7).

Ausgangssituation

Zu Beginn der Untersuchungen des BfS wurde festgestellt, dass die Fingerspitzen des Personals in vielen Fällen mit lokalen Hautdosen von mehr als 100 mSv pro Therapietag exponiert wurden. Diese hohen Dosen waren immer auf unzureichenden Strahlenschutz zurückzuführen. Bei Rechtshändern wurden im allgemeinen Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger der linken Hand am höchsten belastet, insbesondere beim Fixieren der Rollrandflasche mit der Stammlösung und beim Trennen der Kanüle von der gefüllten Spritze bzw. beim Halten des Kanülenansatzes während der Applikation. Die Hautdosen an der rechten Hand waren oft eine Größenordnung geringer.

Mehrfach wurden beträchtliche Kontaminationen festgestellt. Gemessen wurden bis zu 160 kBq

auf der Handfläche, woraus sich unter praxistypischen Annahmen Handbelastungen in der Größenordnung von 100 mSv, also etwa 20 % des Jahresgrenzwertes von 500 mSv, ergeben.

Außerdem wurde festgestellt, dass die verwendeten Latexhandschuhe gegenüber den Radionuklidlösungen keinen zuverlässigen Kontaminatonschutz der Haut gewährleisten.

In einigen Einrichtungen wurden amtliche Fingerringdosimeter getragen. Diese Dosimeter sind jedoch nur für die Messung der Teilkörper-Personendosis durch Photonen geeignet und zugelassen. Die Dosimeter wurden zudem meist am Grundgelenk des Ringfingers der rechten Hand mit dem TLD an der Außenhand getragen. Infolgedessen lagen die festgestellten amtlichen Jahresdosen für die Haut in der gleichen Größenordnung wie die vom BfS an einem Tag gemessenen Werte oder waren sogar deutlich kleiner. Die durch eine falsche Trageweise der Dosimeter bedingte systematische Unterbewertung der tatsächlichen Hautdosis begünstigt die Verharmlosung der Strahlenbelastung durch Betastrahler.

Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition

Eine ausreichende Abschirmung der Betastrahlung ist für die verwendeten Nuklide mit Acrylglas von mindestens 5 mm Dicke möglich. Die mit aktiven Lösungen gefüllten Vorratsfläschchen sind ständig, vor allem auch während des Aufziehens der Spritzen, in den dafür vorgesehenen Abschirmbehältern zu belassen (Abbildung 2). Ist das Fläschchen zum vollständigen Entleeren aus der Abschirmung zu entnehmen, muss dieses mit einer geeigneten Zange (z. B. Abbildung 3) oder

Pinzette am Flaschenhals gefasst werden. Bereits beim Aufziehen der Spritzen mit Y-90- oder Re-186-Lösungen sind Spritzenabschirmungen zu verwenden. Gegebenenfalls vorhandene Befestigungsschrauben sind nur soweit anzuziehen, dass die Bewegung des Kolbens nicht behindert wird. Die Abschirmungen sind erst nach der Applikation von der Spritze zu entfernen und daher in ausreichender Zahl vorzuhalten.

Beim Abziehen der gefüllten Spritze ist in jedem Fall das Anfassen des Kanülenschafts zu vermeiden. Dies ist durch die Nutzung eines Einweg-Makrolonringes (Abbildung 2) zu erreichen. Stattdessen können auch langschenklige Zangen oder Pinzetten eingesetzt werden.



Abbildung 2: Plexiglasabschirmung mit Aktivitätsfläschchen und Kanüle mit Einweg-Makrolonring (Vertrieb: Schering / IBA Molecular)

Werden die gefüllten Spritzen mit einem Stopfen verschlossen, ist dieser ebenfalls mit Pinzette zu fassen (Abbildung 4). Die Spritzen sind bis zur Applikation in geeigneten Abschirmbehältern wie z. B. Acrylglasboxen (Abbildung 5) oder in Abschirmbehältern aufzubewahren, die in der Nuklearmedizin für aktive Spritzen gebräuchlich sind.



Abbildung 3: Vialzangen

Bei der Applikation sind die Kontaktzeiten deutlich länger. Daher ist es hier noch wichtiger, den direkten Kontakt zum Kanülenschaft zu vermeiden, um die Exposition gering zu halten. Die Benutzung von langschenkligen Zangen (Abbildung 6) oder Pinzetten erfordert ein erhöhtes Maß an Fingerfertigkeit und wird wegen der Gefahr einer Dislokation der Kanülenspitze von vielen Ärzten abgelehnt. In den Abbildungen 7 bis 9

sind verschiedene andere Dosis reduzierende Injektionstechniken dargestellt.

Der Einweg-Makrolonring muss bereits vor der Punktion über die Kanüle gestülpt werden. Eine feste Verbindung zwischen Ring und Kanüle ist nur durch die Verwendung von Kanülen der Firma Braun gewährleistet, da die Abmessungen des Rings auf diese Kanülen abgestimmt sind.



Abbildung 4: Spezialpinzette für Stopfen



Abbildung 5: Plexiglas-Lager- und Transportbehälter



Abbildung 6: Halten mit Zange als abstandsvergrößerndes Hilfsmittel

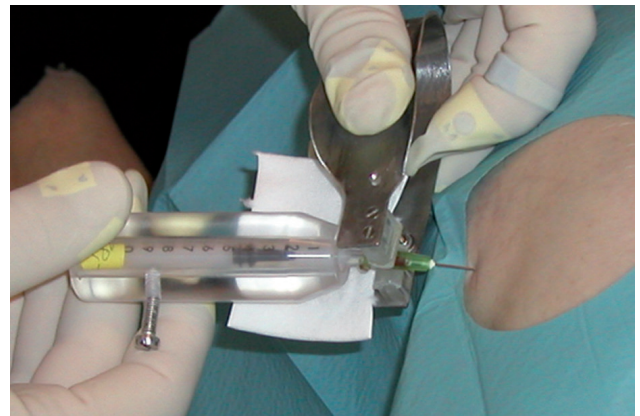


Abbildung 7: Injektion mit speziellem Greifer

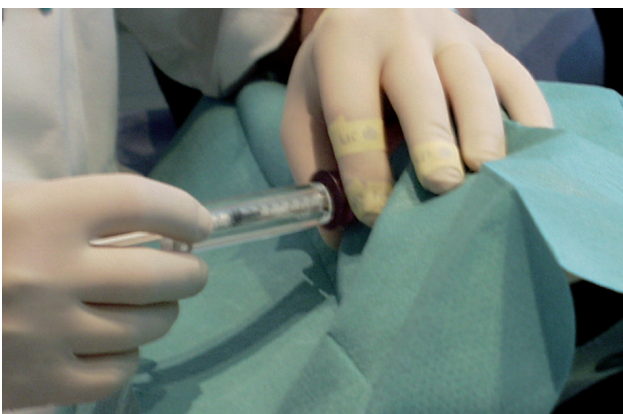


Abbildung 8: Injektion mit Einweg-Makrolonring



Abbildung 9: Injektion mit Flexüle und Dreiweghahn

Einfluss der Strahlenschutzmaßnahmen auf die Exposition

Durch die Optimierung des Strahlenschutzes an den Arbeitsplätzen der RSO kann die Strahlenexposition des Personals deutlich gesenkt werden, teilweise um bis zu zwei Größenordnungen, wie Messungen des BFS zeigen. Das ist vor allem durch die Nutzung von Abschirmungen und den Abstand vergrößernden Hilfsmitteln zu erreichen (Abbildungen 2 bis 9).

Beim Vorbereiten der Spritzen kann so die mittlere spezifische Hautdosis, d. h. die lokale Hautdosis bezogen auf die aufgezo- gene Aktivität, auf ca. $1 \mu\text{Sv}/\text{MBq}$ reduziert werden. Wenn die Applikation mit einem der o. g. Hilfsmittel erfolgt, beträgt die mittlere spezifische Hautdosis an den Fingerspitzen der Ärzte ca. $2\text{-}3 \mu\text{Sv}/\text{MBq}$.

Durch das Tragen von Nitril- oder Vinylhandschuhen konnte die Häufigkeit von Hautkontaminationen deutlich verringert werden.

Durch die beschriebenen Strahlenschutzmaßnahmen lässt sich die maximale lokale Hautdosis an den Fingerspitzen der MTA und Ärzte von über 100 mSv auf nur noch wenige mSv pro Arbeitstag begrenzen. Unter Berücksichtigung der Häufigkeit derartiger Behandlungen kann somit der Grenzwert für die Hautdosis von 500 mSv/a eingehalten werden.

Strahlenschutz bei Durchleuchtung

Da im Allgemeinen bei allen Gelenken mit Ausnahme des Knies Röntgendurchleuchtungen zur Kontrolle der Lage der Punktionskanüle durchgeführt werden, können zusätzlich hohe Dosen durch Röntgenstrahlung an den Händen des behandelnden Arztes auftreten, vor allem wenn sich diese während der Durchleuchtung im Nutzstrahlenfeld befinden. Zur Reduzierung der Exposition durch Röntgenstrahlung ist eine optimale Einblendung wichtig.

Ferner ist darauf zu achten, dass bei der Durchleuchtung mittlerer und größerer Gelenke eine Untertisch-Röhrenanordnung verwendet wird. Außerdem lässt sich die Röntgen-Exposition bei der RSO von Fingergelenken dadurch verringern, dass die Finger während der Punktion

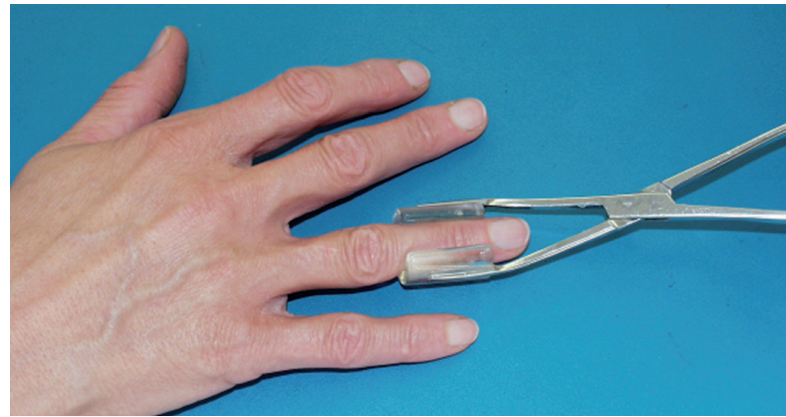


Abbildung 10: Fixierung der Finger mit Spezialzange während der Durchleuchtung

mit geeigneten Zangen fixiert (Abbildung 10) oder andere Hilfsmittel (Schlingen) benutzt werden.

Überwachungsmaßnahmen

Beim Verlassen eines Kontrollbereiches, in dem mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sind Personen und bewegliche Gegenstände grundsätzlich auf Kontamination zu prüfen (§ 44 Strahlenschutzverordnung – (StrlSchV)). Entsprechende Kontrollmessungen sind vor jedem Verlassen des Vorbereitungs- und Behandlungsraumes durchzuführen. Dabei sind vor allem die Hände, Arbeitsflächen und Türklinken zu prüfen. Detaillierte Empfehlungen zur Durchführung der Kontaminationskontrolle werden in [4] gegeben.

Zur Kontrolle der Einhaltung des Grenzwertes für die Teilkörperdosis sind geeignete Personendosimeter zu tragen. Für die Ermittlung der Exposition durch die bei der RSO auftretenden Mischstrahlungsfelder sind Beta-Photonen-Fingerringdosimeter bei den zuständigen amtlichen Personendosismessstellen anzufordern.

Der Trageort des Dosimeters hängt von den Expositionsbedingungen ab und ist entsprechend dem individuellen Arbeitsverhalten festzulegen. Das Dosimeter ist möglichst an dem Fingerglied oder -gelenk des Fingers zu befestigen, der bei den entscheidenden Arbeitsschritten den geringsten Abstand zur Quelle hat. Während der Vorbereitung der Spritzen und bei der Injektion der Radionuklide ist in der Regel die Spitze des Zeigefingers oder des Daumens der

nichtdominanten Hand am höchsten exponiert, d. h. bei Rechtshändern der linken Hand. Das übliche Tragen von Photonen-Teilkörperdosimetern am Grundgelenk des Mittel- oder Ringfingers der dominanten Hand mit nach außen gerichtetem Detektor führt zu einer erheblichen Unterbewertung der tatsächlichen Dosen.

Frühere Untersuchungen bei der RSO [5, 6] ergaben, dass mit Ringdosimetern am ersten Fingergelenk durchschnittlich ein Drittel der an der Fingerspitze auftretenden Maximaldosis gemessen wird. Da Dosimeter an den Fingerspitzen das Arbeiten behindern, wird als Kompromiss das Grundglied des Zeigefingers der nichtdominanten Hand als Trageort für das gesamte nuklearmedizinische Personal empfohlen. Der Detektor (TLD) ist dabei auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite, d. h. in der Regel palmar zu tragen. Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts ORAMED [7] durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass dann allerdings die Maximaldosis um den Faktor 6 unterschätzt wird [8].

Finden jedoch die empfohlenen Strahlenschutzmittel nur teilweise oder gar nicht Verwendung, nimmt nicht nur die Hautdosis merklich zu, sondern auch der Dosisleistungsgradient im Bereich der Finger. Dies ergibt erwartungsgemäß größere Abweichungen zwischen den Messwerten der amtlichen Dosimeter und der maximalen Dosis.

Weitere Literatur zu den hier angesprochenen Themen ist unter [9-10] zu finden.

Das Wichtigste in Kürze

- Bei der RSO können Beta-Expositionen des Personals zur Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die Hautdosis (500 mSv) führen, wenn der Strahlenschutz nicht ausreichend beachtet wird.
- Die Beta-Exposition kann drastisch gesenkt werden, wenn der direkte Kontakt zu Gefäßen oder Gefäßteilen, die Aktivität enthalten, konsequent vermieden wird.
- Die Verwendung von Abschirmungen bzw. abstandsvergrößernden Hilfsmitteln ist die effektivste Strahlenschutzmaßnahme.
- Latexhandschuhe sind für die verwendeten Radionuklidlösungen nicht ausreichend dicht. Nitril- oder Vinylhandschuhe schützen besser vor Hautkontaminationen.
- Kontaminationskontrollen sind häufig durchzuführen, da auch unsichtbare Spritzer hohe Expositionen der Haut zur Folge haben können.
- Beta-Photonen-Fingerringdosimeter sollten in der Nuklearmedizin in der Regel am Grundglied des Zeigefingers der nichtdominanten Hand mit palmar ausgerichteter Detektor getragen werden.
- Die bei dieser Trageweise unvermeidbare systematische Unterschätzung der realen maximalen Hautdosis muss bei der Kontrolle der Einhaltung des Jahresgrenzwertes für die Hautdosis berücksichtigt werden.
- Dem Personal muss durch Unterweisungen das Risiko für hohe Hautexpositionen beim Umgang mit Betastrahlern bewusst gemacht werden, um es zu motivieren, mit einfachen Strahlenschutzmaßnahmen dieser Gefahr wirksam zu begegnen.

Literatur

- [1] DIN 6814-3, Jan. 2000, Begriffe in der radiologischen Technik, Teil 3: Dosisgrößen und Dosisseinheiten
- [2] Leitlinie für die Radiosynoviorthese, Nuklearmedizin 38. Jg., Heft 6a/99; S. 244 f
- [3] Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook, Rad. Prot. Dosimetry 98, No.1 (2002)
- [4] Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs [§ 44 der Strahlenschutzverordnung]) vom 5. Juni 2002, BAnz. Nr.143a vom 3.8.2002
- [5] Barth I, Rimpler A; Strahlenbelastung bei der Anwendung von Betastrahlung – Wie kann man sie vermeiden? MTA-Dialog 1, 14-17, 2009
- [6] Rimpler A, Barth I; Beta-Strahler in der Nuklearmedizin – Strahlengefährdung und Strahlenschutz des Personals. Der Nuklearmediziner 28; 1-10; 2006
- [7] <http://www.oramed-fp7.eu/>
- [8] Rimpler A, Barth I, Ferrari P, Baechler S, Carnicer A, Donadille L, Fulop M, Ginjaume M, Mariotti M, Sans-Merce M, Gualdrini G, Krim S, Ortega X, Ruiz N, Vanhavere F, Extremity

exposure in nuclear medicine therapy with 90Y-labelled substances: Results of the ORAMED project. Radiation Measurements 46: 1283-1286, 2011

- [9] Barth I, Rimpler A, Mielcarek J; Strahlenexposition des Personals und Strahlenschutzmaßnahmen bei der medizinischen Anwendung von β -Strahlern. Strahlenschutz Praxis 2; 52-60; 2005
- [10] Barth I, Rimpler A, Mielcarek J; Strahlenexposition des Personals bei der medizinischen Anwendung von β -Strahlern. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 47, 99-107, 2005

Als Ansprechpartner beim BfS stehen Ihnen zur Verfügung:

Frau Barth
Tel.: 030 18333 4511
Fax: 030 18333 4515
E-Mail: ibarth@bfs.de

Herr Rimpler
Tel.: 030 18333 4516
Fax: 030 18333 4515
E-Mail: arimpler@bfs.de

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Impressum:

Bundesamt für Strahlenschutz
Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0) 30 18333 - 0
Telefax: + 49 (0) 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de

Stand: Mai 2013