

## Grundlagen

Die RSO ist ein Verfahren der Nuklearmedizin zur Behandlung chronisch entzündlicher Gelenkerkrankungen durch Injektion von Lösungen mit Betastrahlern in die betroffenen Gelenke. In Deutschland 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 Nuklide.

**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.

**Messgrößen für Betastrahlung** und niederenergetische Photonenstrahlung (<15 keV) sind die *Oberflächen-Personendosis*  $H_P(0,07)$  bzw. die *Richtungs-Äquivalentdosis*  $H'(0,07,\Omega)$  in der Ortsdosimetrie [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.

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

Radio-nuklid	HWZ (h)	Max./mittl. Energie (MeV)	Max./mittl. Reichweite in Gewebe <sup>1)</sup> (mm)	Teilkörper-Dosisleistung für 1 MBq ( $\mu\text{Sv/s}$ )	Haut-Dosisleistung bei Kontamination ( $\mu\text{Sv/s}$ )	
				Punktquelle in 30 cm	Gleichmäßige Verteilung (1 kBq/cm <sup>2</sup> )	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 viele Kunststoffe mit einer Dichte von ca.  $1\text{g/cm}^3$  (PMMA, PVC, PE, PP)

## Sachstand

Bei der RSO eines Kniegelenks werden bis etwa 300 MBq Y-90 appliziert. Bei der Präparation und Applikation der Spritzen können hohe lokale Hautdosen durch Berühren der aktivitätsführenden Kanülen bzw. Spritzen oder durch geringe Abstände dazu auftreten. Betroffen sind insbesondere die Fingerspitzen, vor allem von Daumen und Zeigefinger.

Abbildung 1 zeigt **Messwerte der Dosisleistung**  $H'(0,07)$  an der Oberfläche eines **Spritzenprotektors** 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 Spritzenprotector unterstreichen einerseits, dass dessen Verwendung unverzichtbar ist. Andererseits belegen sie, dass trotz ihrer Benutzung erhebliche Teilkörperdosen auftreten können. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Spritze während der Applikation am Kanülenansatz mit den Fingern festgehalten wird, da der Protector 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!

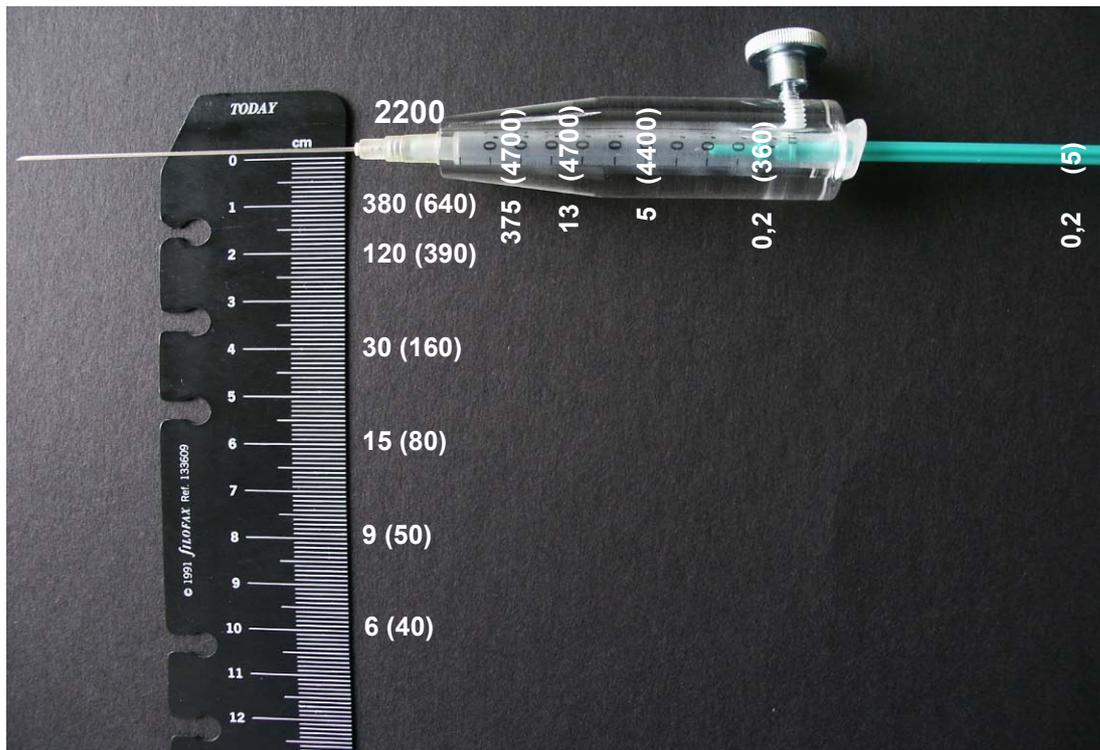


Abbildung 1: Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/s}$ ] an der Oberfläche des Spritzenprotektors und in verschiedenen Abständen vom Kanülenansatz einer 1 ml Spritze mit 185 MBq Y-90 (Werte in Klammern: ohne Spritzenprotector).

## 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 bestimmt.

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 durch Direktstrahlung 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, da der Strahlenschutz unzureichend war. 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 Spritzenansatzes 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 können.

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

In einigen Einrichtungen wurden amtliche Fingerringdosimeter getragen. Diese Dosimeter waren 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 Jahresdosen für die Teilkörperexposition der Haut in der gleichen Größenordnung wie die vom BfS an einem Tag gemessenen Werte oder waren sogar deutlich kleiner.

Das in der Vergangenheit vielfach praktizierte Tragen ungeeigneter Photonen-Fingerringdosimeter am falschen Ort führte zur erheblichen Unterbewertung der tatsächlichen Dosen und begünstigte vielerorts die Verharmlosung der Exposition 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 handelsübliche **Spritzenprotektoren** zu verwenden. Dabei ist die Befestigungsschraube nur soweit anzuziehen, dass die Bewegung des Kolbens nicht behindert wird. Die Protektoren 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** zu erreichen, wie in Abbildung 2 dargestellt. Stattdessen können auch langschenklige Zangen oder Pinzetten eingesetzt werden.



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



Abbildung 3: Vialzangen



Abbildung 4: Spezialpinzette für Stopfen



Abbildung 5: Plexiglas-Lager- und Transportbehälter

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 3) oder in Abschirmbehältern aufzubewahren, die in der Nuklearmedizin für aktive Spritzen gebräuchlich sind.



Abbildung 6: Halten mit Zange als abstandsvergrößerndes Hilfsmittel

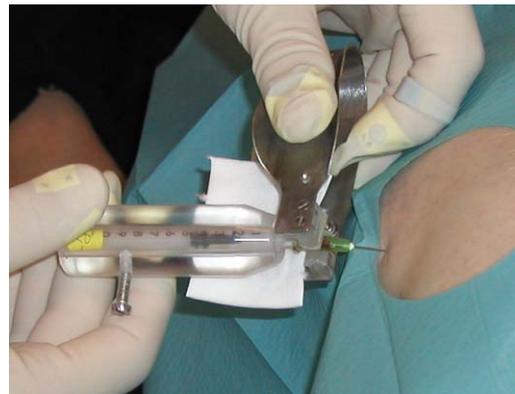


Abbildung 7: Injektion mit speziellem Greifer



Abbildung 8: Injektion mit Einweg-Makrolonring



Abbildung 9: Injektion mit Flexüle und Dreiwegehahn

Bei der Applikation ist es noch entscheidender für die Verringerung der Exposition, den direkten Kontakt zum Kanülenschaft zu vermeiden, da die Kontaktzeit deutlich länger ist. 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 der Innenkonus des Rings auf die Abmessungen dieser Kanülen abgestimmt ist.

## **Einfluss der Strahlenschutzmaßnahmen auf die Exposition**

Durch die Optimierung des Strahlenschutzes an den Arbeitsplätzen der RSO, vor allem durch die Nutzung von Abschirmungen und abstandsvergrößernden Hilfsmitteln (Abbildungen 2 bis 9) kann die **Strahlenexposition des Personals deutlich gesenkt** werden, teilweise um bis zu zwei Größenordnungen.

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

Durch das Tragen von Nitril- oder Vinylhandschuhen konnten 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.

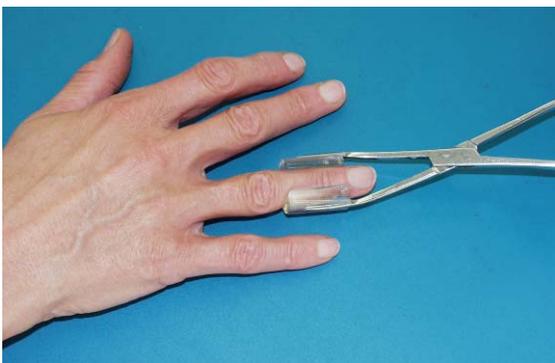


Abbildung 9: Fixierung der Finger mit Spezialzange während der Durchleuchtung

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 mit geeigneten **Zangen** fixiert (Abbildung 9) 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. Das übliche Tragen von Photonen-Teilkörperdosimetern am Grundgelenk des Mittel- oder Ringfingers mit nach außen gerichtetem Detektor führt zu einer erheblichen Unterbewertung der tatsächlichen Dosen. Zur 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. Bei der Vorbereitung der Spritzen und bei der Injektion der Radionuklide ist in der Regel das **erste Gelenk des Zeigefingers oder des Daumens** der die abgeschirmte Kanüle fixierenden Hand ein geeigneter Trageort (Abbildung 4). Das Fingerringdosimeter sollte nicht am Grundgelenk des entsprechenden Fingers befestigt werden, erst recht nicht am Grundgelenk des Ringfingers.

Der Detektor muss zudem immer auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite getragen werden. Ist eine **Vorzugsrichtung** nicht festzulegen, sind idealerweise zwei Fingerringdosimeter mit entgegengesetzter Ausrichtung ggf. auch an verschiedenen Trageorten zu tragen. Der höchste Messwert dient dann zur Dosisbestimmung.

Aufgrund des sehr inhomogenen Betastrahlenfeldes in der Nähe einer aktiven Kanüle ist bereits am ersten Fingergelenk eine Abweichung zur maximalen Dosis an der Fingerspitze zu verzeichnen. Messungen an den untersuchten Arbeitsplätzen haben ergeben, dass der Messwert des Fingerringdosimeters am ersten Gelenk mit einem mittleren Korrekturfaktoren von 3 zu multiplizieren ist, um die maximale Dosis an der Fingerspitze zu ermitteln. 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 höhere Korrekturfaktoren, d. h. größere Abweichungen zwischen den Messwerten der amtlichen Dosimeter und der maximalen Dosis.

Umfassendere Darlegungen zu den hier angesprochenen Themen können in der Literatur nachgelesen werden [5, 6, 7, 8].

## 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 sind möglichst nahe der Fingerspitze von Zeigefinger oder Daumen der am höchsten exponierten Hand zu tragen.
- 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 Doseinheiten*
- [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, Mielcarek J; Strahlenexposition des Personals bei der medizinischen Anwendung von  $\beta$ -Strahlern. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 47, 99-107, 2005*
- [6] *Barth I, Rimpler A, Mielcarek J; Strahlenexposition des Personals und Strahlenschutzmaßnahmen bei der medizinischen Anwendung von  $\beta$ -Strahlern. Strahlenschutz Praxis 2; 52-60; 2005*
- [7] *Rimpler A, Barth I; Beta-Strahler in der Nuklearmedizin – Strahlengefährdung und Strahlenschutz des Personals. Der Nuklearmediziner 28; 1-10; 2006*
- [8] *Barth I, Rimpler A; Strahlenbelastung bei der Anwendung von Betastrahlung – Wie kann man sie vermeiden? MTA-Dialog 1, 14-17, 2006*

Als Ansprechpartner beim BfS stehen Ihnen zur Verfügung: Frau Barth, Tel.: 01 888 333 4511, Fax: 01 888 333 4515, E-Mail: IBarth@bfs.de Herr Rimpler Tel.: 01 888 333 4516, Fax: 01 888 333 4515, E-Mail: ARimpler @bfs.de
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------