



Bundesamt für Strahlenschutz

MERKBLATT

Strahlenschutz beim Umgang mit Betastrahlern in der Nuklearmedizin einschließlich der Positronen-Emissions-Tomografie (PET)

Empfehlungen für Ärzte und medizinisches Personal auf der Basis neuer Erkenntnisse

Ausgangssituation

- Bei etwa 20 % des strahlenexponierten medizinischen und technischen Personals in der Nuklearmedizin überschreitet die jährliche Exposition an den Händen den Grenzwert für die Organdosis der Haut von 500 Millisievert pro Jahr (mSv/a). Das zeigen Dosisabschätzungen auf der Basis von Messungen an Arbeitsplätzen sowohl in der nuklearmedizinischen Diagnostik mit Technetium 99m (Tc-99m) und Fluor -18 (F-18) als auch bei Therapien mit Yttrium-90 (Y-90), die im Rahmen des EU-Projekts ORAMED [1] erfolgten. In der Regel werden derartige Grenzwertüberschreitungen durch die Routineüberwachung mit amtlichen Fingerringdosimetern nicht erkannt.
- Insbesondere beim Umgang mit Betastrahlern besteht ein erhöhtes Risiko für Hautexpositionen an den Händen. Das betrifft sowohl Beta (β^-)-Strahler wie Y-90, Samarium-153 (Sm-153), Rhenium-186 (Re-186) oder Re-188 als auch Positronen (β^+)-Strahler wie F-18 und Gallium-68 (Ga-68), die für PET genutzt werden.
- An einer ungeschirmten Spritze mit F-18-Fluorodesoxyglucose (FDG) werden ca. 50 % der Hautdosis durch β^+ -Strahlung verursacht [2].
- Im Vergleich zu Technetium-99m ist die Dosisleistung für Betastrahler und damit die Strahlengefährdung unter gleichen Expositionsbedingungen deutlich höher, teilweise um Größenordnungen (Tab. 1).
- Typisch für den Umgang mit Radionukliden in der Nuklearmedizin sind Expositionen durch inhomogene Strahlenfelder. Diese führen zu gravierenden Differenzen zwischen der Maximaldosis, die meistens an den Fingerspitzen von Zeigefinger oder Daumen auftritt, und der Dosis an den Trageorten von amtlichen Fingerringdosimetern. Die Unterschiede sind vor allem dann sehr groß, wenn die Quelle (z. B. ungeschirmte Spritze oder Aktivitätsfläschchen (Vial), Kanülschicht, Spritzenboden usw.) mit den Fingern berührt wird.
- Die nichtdominante Hand (linke Hand beim Rechtshänder) ist stärker exponiert als die dominante. Hauptursache dafür ist, dass die dominante Hand die abgeschirmten Gefäße fixiert, während mit der nichtdominanten Hand häufiger Arbeitsschritte im Bereich hoher Dosisleistung ausgeführt werden, z. B. in der Nähe des Spritzenbodens.
- Die erhöhte Exposition durch den Verzicht auf Abschirmungen oder Greifwerkzeuge kann nicht durch schnelleres Arbeiten kompensiert werden. Das gilt insbesondere beim Umgang mit hochenergetischen Betastrahlern. Im Gegensatz zu Photonenstrahlung, hat Betastrahlung allerdings eine begrenzte Reichweite und lässt sich somit gut abschirmen.
- In der Regel ist die Exposition bei der Präparation (Vorbereitung der Radiopharmaka und der Spritzen) höher als bei der Applikation.
- Das Expositionsrisiko kann erheblich gesenkt werden, wenn das Personal folgende Strahlenschutzmaßnahmen und Grundregeln beim Umgang mit Radionukliden konsequent befolgt:

Strahlenschutzmaßnahmen

Abschirmungen nutzen !

- Prinzipiell müssen alle Gefäße, die Radionuklide enthalten, abgeschirmt werden. Für einen optimalen Schutz sind die in Tabelle 2 angegebenen Waddicken des empfohlenen Abschirmmaterials für Spritzen und Vials erforderlich.
- Beim Aufziehen der Spritzen sind Vialabschirmungen mit Deckel zu bevorzugen (Abb. 2, 5b).
- Bei den PET-Nukliden sind, bedingt durch die kurzen Halbwertszeiten, die Lieferaktivitäten u. U. sehr hoch. Deshalb sind ausreichend dimensionierte Vialabschirmungen nötig, um die Positronenstrahlung vollständig und die Vernichtungsstrahlung (511 Kiloelektronenvolt (keV)) ausreichend abzuschirmen.
- Spritzenabschirmungen lassen den Spritzenboden unabgeschirmt. Daher sind die Finger bei ungünstiger Haltung (Abb. 6a, 9a) sehr hohen Dosisleistungen ausgesetzt. Das ist auch der Fall, wenn das Verbinden bzw. Trennen der Spritzen mit/von Kanülen, Schläuchen u. ä. (Abb. 3a, 4a, 5a, 7a, 10a), mit den Fingern und ohne Hilfsmittel zur Vergrößerung des Abstandes erfolgt.

Abstand zur Strahlenquelle halten !

- Hilfsmittel zur Vergrößerung des Abstandes (Pinzetten, Zangen, Greifer o. ä.) sind in ausreichender Zahl vorzuhalten.
- Jeder direkte Kontakt zwischen Fingern und Strahlenquelle ist zu vermeiden. Durch Verwendung von abstandsvergrößernden Werkzeugen verringert sich die Hautexposition

um Größenordnungen, obwohl die Manipulation oft länger dauert!

- Der Abstand zu Patienten nach Radionuklidtherapien und PET-Untersuchungen sollte möglichst groß sein, um die Ganzkörperexposition des Personals durch die aus dem Patienten austretende Direkt-, Brems- und Vernichtungsstrahlung gering zu halten.

Arbeitsverhalten

- Praxisnahe Unterweisungen des Personals über die Besonderheiten beim Umgang mit Betastrahlern sind wiederholt und insbesondere bei der Einführung neuer Verfahren durchzuführen.
- Optimale Vorbereitung des Arbeitsplatzes (Abb. 11) und Training der Arbeitsabläufe (mit inaktiven Substanzen) tragen zur Verringerung der Expositionszeit und damit der Dosis bei.
- Die konsequente Nutzung von Abschirmungen und distanzvergrößernden Hilfsmitteln muss zur Routine werden.
- Für die Radiosynoviorthese (RSO) wurde ein Einweg-Makrolonring (Abb. 1) entwickelt. Er verhindert den direkten Kontakt zur Kanüle beim Aufziehen der Spritzen oder während der Applikation (Abb. 2) und senkt die Hautdosis deutlich. Es ist zu prüfen, ob dieser Ring auch bei anderen Anwendungen eingesetzt werden kann.
- Zur Vermeidung von Hautkontaminationen sind Nitril- oder Vinylhandschuhe anstelle von Latexhandschuhen zu tragen, da diese eine höhere Dichtheit gegenüber Radionuklidlösungen besitzen.



Abbildung 1: Steriler Einweg-Makrolonring, passend für Kanülen der Firma Braun

- Regelmäßige Kontaminationskontrollen, insbesondere der Hände, sind unverzichtbar, vor allem nach Arbeitsschritten mit erhöhtem Kontaminationsrisiko und vor dem Verlassen des Kontrollbereichs.
- Aktivimeter sollten so kalibriert werden, dass die Aktivität in Spritzen mit Abschirmung über die entstehende Brems- oder Vernichtungsstrahlung gemessen werden kann. Es ist vorteilhaft, die Messkammer in die Arbeitsplatte zu versenken.

Personendosimetrische Überwachung

- An den meisten Arbeitsplätzen in der Nuklearmedizin, an denen mit hochenergetischen Betastrahlern, einschließlich PET-Nuklidern umgegangen wird, kann die Organdosis für die Haut größer als 150 mSv im Jahr sein. Nach § 41(3) Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sind dann amtliche Beta-/Photonen-Fingerringdosimeter zu tragen.
- Bedingt durch die besonderen Expositionsbedingungen in der Nuklearmedizin (inhomogene Strahlenfelder, unterschiedliche Arbeitsweise) ist es schwierig, einen geeigneten Trageort für ein amtliches Teilkörperdosimeter zu ermitteln.
- Im europäischen Forschungsprojekt ORAMED [1] wurde festgestellt, dass in der Nuklearmedizin ein Fingerringdosimeter im Mittel die geringste Abweichung von der maximalen Hautdosis beider Hände anzeigt, wenn es

nahe dem Grundgelenk des Zeigefingers der nichtdominanten Hand getragen wird und der Detektor sich an der Innenhand befindet (Abb. 12). Aber selbst bei dieser Trageweise wird die Maximaldosis durchschnittlich um einen Faktor 6 unterschätzt! [3, 4]

- An anderen Trageorten war die Abweichung der ermittelten Dosis von der Maximaldosis deutlich größer. Nur an der Spitze des Zeigefingers wurde ein geringerer Unterschied ermittelt. Aus praktischen Gründen ist die Fingerspitze aber nicht als Trageort eines herkömmlichen Dosimeters geeignet.

Im Folgenden wird auf typische Fehler in der Praxis hingewiesen und gezeigt, wie die Strahlenexposition mit einfachen Mitteln deutlich verringert werden kann.

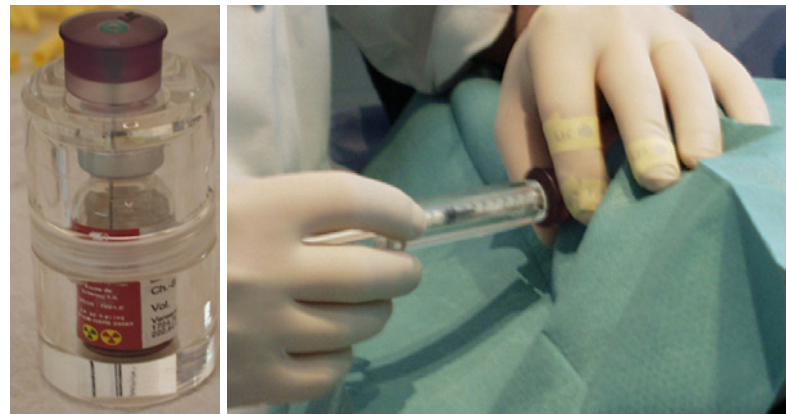


Abbildung 2: Verwendung des Makrolonrings zur Abschirmung der Kanüle beim Aufziehen der Spritzen und während der Applikation (Radiosynoviorthese). Durch die Nutzung des Rings wird der direkte Kontakt zur Kanüle vermieden und die Dosis deutlich reduziert.

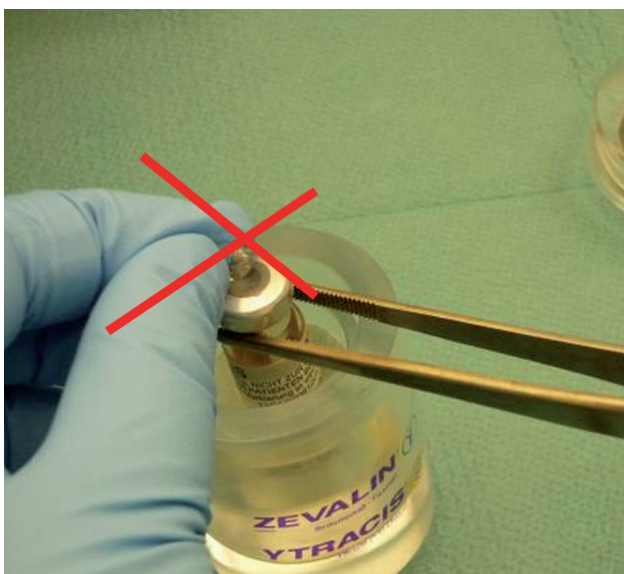


Abbildung 3a: Das Septumschutzplättchen darf nicht mit den Fingern vom Vial abgezogen werden, da dann hohe Expositionen auftreten.



Abbildung 3b: Hilfsmittel zum Öffnen des Vials, z. B. ein Spatel, verringern die Exposition deutlich.



Abbildung 4a: Die Desinfektion des Septums darf nicht direkt mit den Fingern erfolgen.

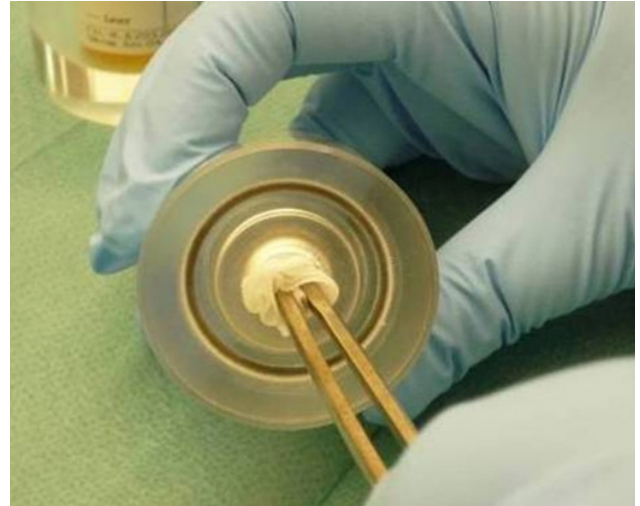


Abbildung 4b: Der Tupper für die Desinfektion des Septums ist mit einer Pinzette zu fassen.



Abbildung 5a: Das Aufziehen der Aktivität ohne Spritzenabschirmung kann an den Fingern zu sehr hohen Expositionen führen.



Abbildung 5b: Spritzen sollten immer mit Abschirmung aufgezogen werden.



Abbildung 6a: Unachtsamkeiten - hier das Überfassen der Abschirmung - können zu hohen Expositionen führen und werden meistens nicht bemerkt.



Abbildung 6b: Abschirmungen müssen richtig genutzt werden, um optimalen Schutz zu bieten.

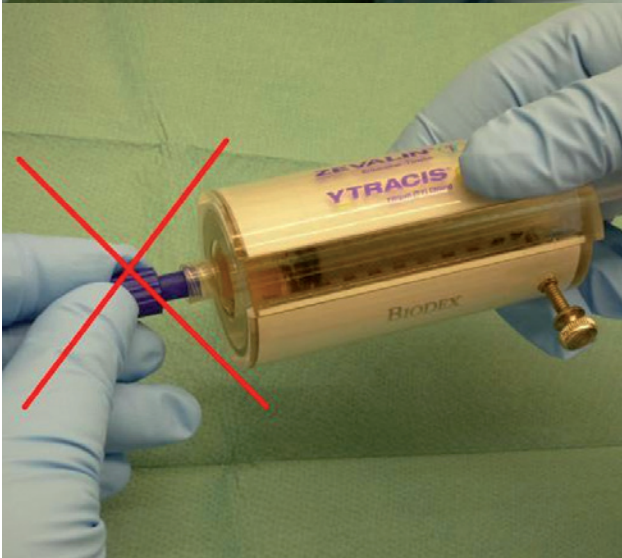
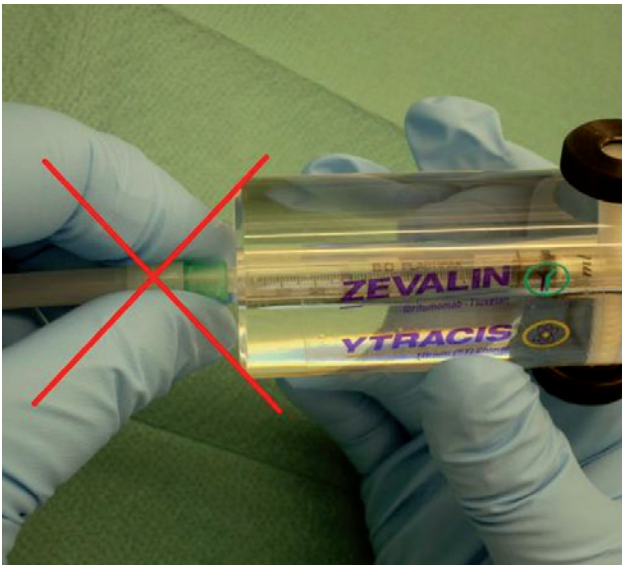


Abbildung 7a: Das Hantieren mit den Fingern am Spritzenboden muss vermieden werden, auch wenn es schneller geht.

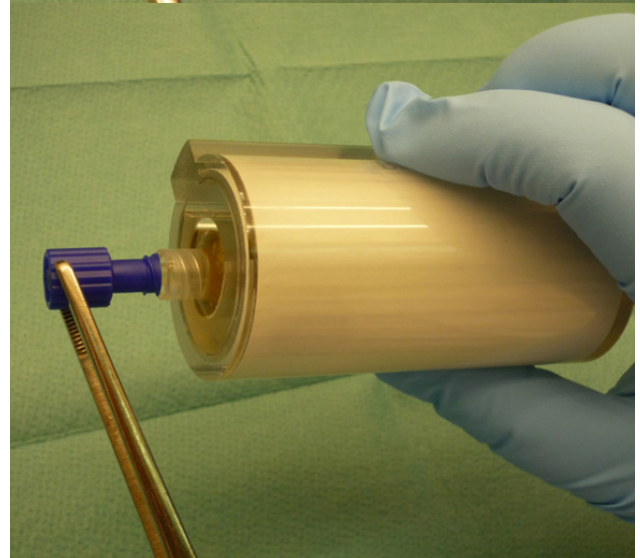
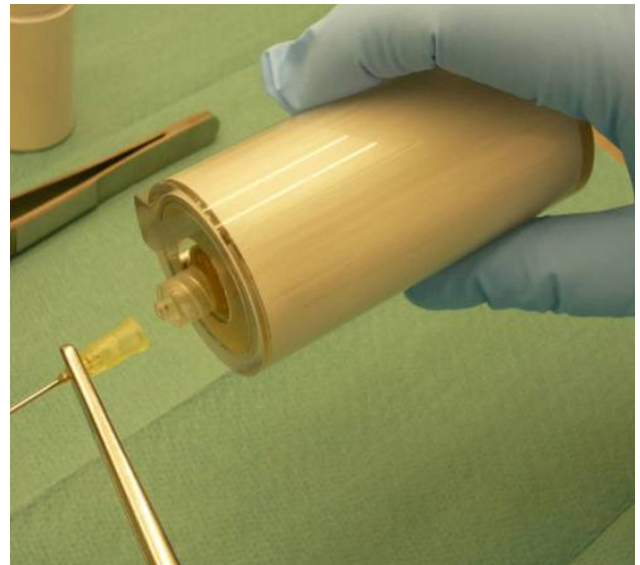


Abbildung 7b: Bei Benutzung langer Pinzetten befindet sich die Hand außerhalb des Strahlenfeldes mit hoher Dosisleistung.

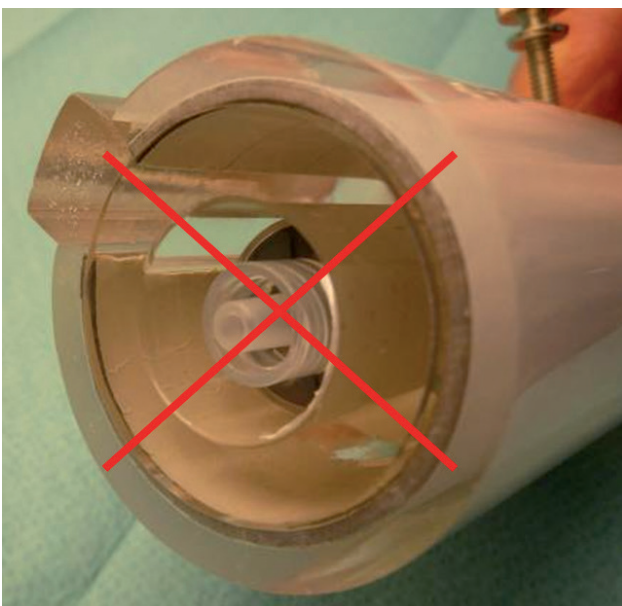


Abbildung 8a: Die Spritze ist zu kurz für diese Abschirmung. Sie lässt sich nicht mit einem Dreiwegehahn verbinden. Konsequenz: Die Abschirmung wird entfernt und es kommt zu hohen Expositionen.



Abbildung 8b: Ausreichend lange Spritzen sind erforderlich, um sie komplikationslos mit einem Dreiwegehahn o. ä. zu verbinden.

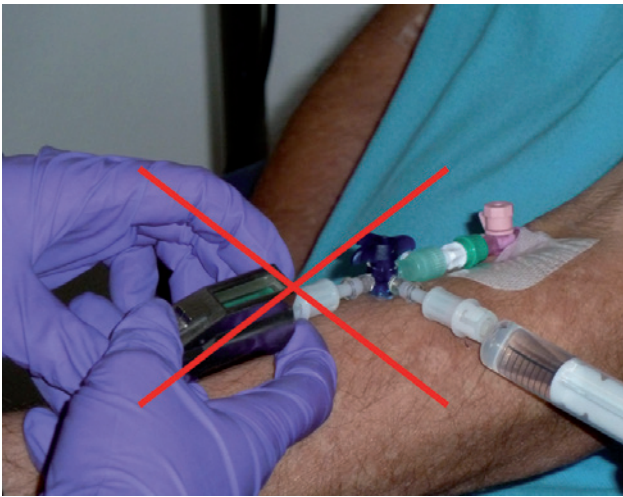


Abbildung 9a: Falsches Fixieren der Spritze führt zu hohen Expositionen der Zeigefingerspitzen (einige mSv nach 5 Applikationen von 200 MBq F-18 FDG).



Abbildung 9b: Die Spritze ist am hinteren Ende der Abschirmung anzufassen, um die Exposition gering zu halten.

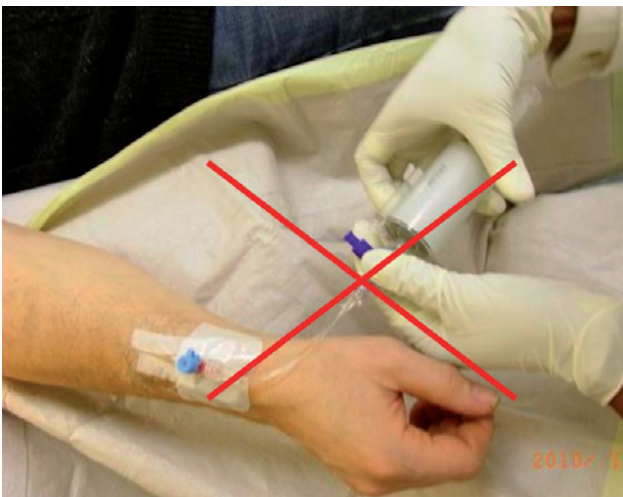


Abbildung 10a: Das Verbinden und Trennen von Spritze (ca. 1 GBq Y-90) und Dreiwegehahn mit den Fingern ergab eine Dosis am Zeigefinger von 12 mSv.



Abbildung 10b: Durch die Nutzung einer Pinzette konnte die maximale Hautdosis auf < 1 mSv reduziert werden.

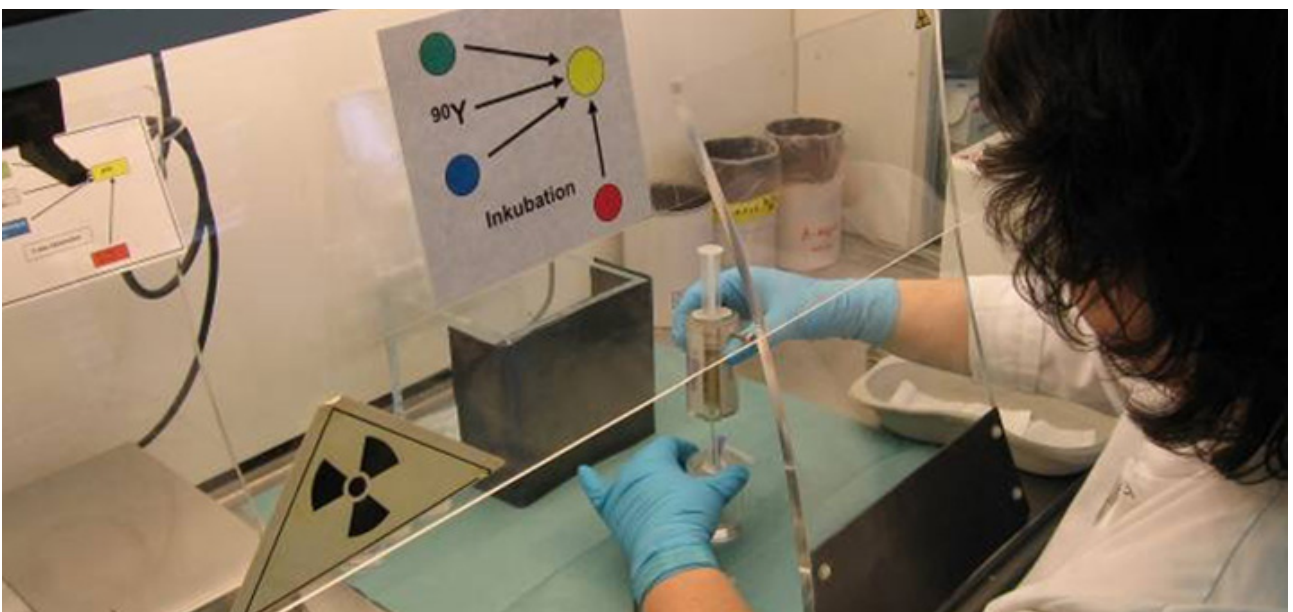


Abbildung 11: Ein übersichtlicher Arbeitsplatz und klare Arbeitsanweisungen erleichtern die Präparation und verringern sowohl die Fehlerquote als auch die Exposition.



Abbildung 12: Empfohlener Trageort des amtlichen Beta-/Photonen-Fingerringdosimeters ist der Zeigefinger der nichtdominanten Hand (linke Hand bei Rechtshändern).

Nuklid	Strahlenart	Halbwertszeit $T_{1/2}$	Maximale β -Energie $E_{\beta \text{ max}}$ [keV]	β -Reichweite in		Dosisleistung [mSv/h]			
						pro GBq			Kontami- nation mit 1 MBq in 0,05 ml
				Luft [m]	Plastik [mm]	30 cm von Punktquelle		Kontakt mit 5-ml- Spritze	
β	γ								
Tc-99m	γ	6,0 h	-	-	-	-	0,26	350	9
F-18	β^+	1,8 h	634	1,8	1,7	120	1,81	2888	788
Ga-68	β^+	1,1 h	1900	6,9	7,2	103	1,73	31400	1250
Y-90	β^-	2,7 d	2284	8,4	9,2	108	-	43500	1350
I-131	β^-/γ	8,0 d	606	1,7	1,6	86	0,73	1100	570
Sm-153	β^-/γ	1,9 d	807	~2,3	2,4	103	0,19	241	720
Re-186	β^-/γ	3,8 d	1077	~4,0	3,4	124	0,04	380	910
Re-188	β^-/γ	17,0 h	2118	8,2	8,3	110	0,11	29000	1350

Tabelle 1: Physikalische und radiologische Daten ausgewählter Nuklide [5, 6]. β^- : Beta, β^+ : Positronen, γ : Gamma, d: Tag(e), h: Stunde(n), m: Meter, mSv/h: Millisievert pro Stunde, M/GBq: Mega/Gigabequerel, ml: Milliliter

Nuklid	Vialabschirmung	Spritzenabschirmung
Tc-99m	3 mm Blei	2 mm Wolfram
F-18	30 mm Blei	5 mm Wolfram
Y-90	10 mm Acrylglas + einige mm Blei	5 mm Wolfram oder 10 mm Acrylglas mit Bleieinlage oder -mantel

Tabelle 2: Empfohlene Dicken von Abschirmungen [7]

Literatur

1. EURADOS Report 2012-02: ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. ISBN 978-3-943701-01-2, Braunschweig, 2012
2. Ginjaume, M. Pérez, S, Duch M A, Ortega X, Comparison of TLD-100 and MCP-Ns for use as an extremity dosimeter for PET nuclear medicine staff. Radiation Measurements 43: 607-610, 2008
3. Carnicer A, Sans-Merce M, Baechler S, Barth I, Donadille L, Ferrari P, Fulop M, Ginjaume M, Gualdrini G, Krim S, Mariotti M, Ortega X, Rimpler A, Ruiz N, Vanhavere F, Hand exposure in diagnostic nuclear medicine with ¹⁸F- and ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals - Results of the ORAMED project. Radiation Measurements 46: 1277-1283, 2011
4. 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
5. Delacroix D, Duerre J P, Leblanc P, Hickman C, Radionuclide and radiation protection data handbook. Radiation Protection Dosimetry 98, 2002.
6. Cross W G, Ing H, Freedman N O, Mainville J, Tables of beta-ray dose distributions in water, air and other media. Report AECL-7617, 1982.
7. Sans-Merce M, Ruiz N, Barth I, Carnicer A, Donadille L, Ferrari P, Fulop M, Ginjaume M, Gualdrini G, Krim S, Mariotti M, Ortega X, Rimpler A, Vanhavere F, Baechler S, Recommendations to reduce hand exposure for standard nuclear medicine procedures. Radiation Measurements 46: 1330-1333, 2011

Als Ansprechpartner beim BfS stehen Ihnen zur Verfügung:

Frau Barth
Tel.: 030 18333 4511
Fax: 030 18333 4515
E-Mail: ibarth@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: Dezember 2013