



Wegleitung L-10-04 **Extremitätendosimetrie beim Umgang mit offenen radioaktiven Quellen**

1. Ausgangslage

In der Strahlenschutzverordnung [1] wird verlangt, dass bei beruflich strahlenexponierten Personen die Strahlenexposition individuell ermittelt werden muss. Bei Tätigkeiten mit offenen radioaktiven Quellen in Forschung und Nuklearmedizin, bei denen im Bereich der Hände hohe Dosisleistungen auftreten können, muss nach Dosimetrieverordnung [2] Art. 12 zusätzlich zum Ganzkörperdosimeter ein Extremitätendosimeter getragen werden.

2. Dosisleistungen

Bei der Handhabung von Beta-Strahlern und speziell mit PET-Nukliden treten lokal sehr hohe Dosisleistungen auf, welche bei ungenügender Abschirmung auch bei kurz dauernden Manipulationen erhebliche Extremitätendosen zur Folge haben können. Tabelle 1 zeigt die Dosisleistungen häufig verwendeter Radiopharmaka, welche im Abstand von 10 cm theoretisch auftreten können.

Tabelle 1: Berechnete Dosisleistungen unabgeschirmter radiopharmazeutischer Injektionslösungen

Nuklid (Radiopharmaka)	applizierte Aktivität [GBq]	$h_{0.07}$ (a) [mSv/h/GBq in 10cm Abstand]	Dosisleistung in 10cm $h_{0.07}$ [mSv/h]	h_{10} (b) [mSv/h/GBq in 100cm Abstand]	Dosisleistung in 10cm h_{10} [mSv/h]
Y-90(SIRT)	1.0	1000	1000	0.007	0.7
Lu-177 (Dotatoc)	7.4	1000	7400	0.006	4.4
F-18(FDG)	0.4	2000	800	0.16	6.4
Tc-99m(HDP)	0.7	300	210	0.022	1.5

(a) Dosisleistung in 0.07mm Gewebetiefe gemäss Spalte 7 Anhang 3 StSV [1] → Extremitätendosis.

(b) Dosisleistung in 10mm Gewebetiefe gemäss Spalte 6 Anhang 3 StSV [1] → Ganzkörperdosis.

3. Extremitätendosimetrie

Das Extremitätendosimeter muss möglichst an derjenigen Stelle, an der die höchste Dosis zu erwarten ist, getragen werden. Diese ist bei Arbeiten in der Nuklearmedizin in der Regel das Mittelglied des Zeigefingers/Mittelfingers mit einem der Handinnenfläche zugewandten TLD-Detektor (linken Hand bei Rechtshändern, rechte Hand bei Linkshändern) (Abb.1). Die Extremitätendosis wird aus der Fingerringdosis und einem Korrekturfaktor 5 ermittelt, da diese sonst unterschätzt wird. Mit Einverständnis der Aufsichtsbehörde kann der Bewilligungsinhaber individuelle Korrekturfaktoren mittels geeigneter Messungen festlegen und verwenden.

Zur Ermittlung individueller Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung anwender- und betriebsspezifischer Arbeitstechniken werden Fingerspitzen- und Handflächen-TLD Messungen durchgeführt (Abb.2). Dazu können unverpackte TLD bei einigen Dosimetriestellen bezogen werden. Der Bewilligungsinhaber meldet der Personendosimetriestelle die Personen, die mit offenen Quellen arbeiten, und geben deren individuellen Korrekturfaktoren.



Abb. 1: Tragweise Fingerdosimeter



Abb. 2: Fingerspitzen und Handflächen TLD Messung

4. Organisatorische Massnahmen zur Minimierung der Extremitätendosen

Die nachfolgenden organisatorischen Massnahmen tragen dazu bei, dass die Extremitätendosen speziell beim Umgang mit Beta-Strahlern und PET-Nukliden minimiert werden. Die Umsetzung und Einhaltung dieser Empfehlungen muss durch die sachverständige Person im Betrieb periodisch kommuniziert und überprüft werden.

4.1 Aus- und Fortbildung

Beruflich strahlenexponiertes Personal muss im Strahlenschutz aus- und alle fünf Jahre fortgebildet werden. Dazu empfiehlt es sich, unter dem betroffenen Personal einen regelmässigen Austausch der Erfahrungen und Zwischenfälle zu organisieren, damit eine gute Strahlenschutzkultur etabliert wird.

4.2 Abklärung erhöhter Extremitätendosen

Die akkumulierten Extremitätendosen müssen regelmässig durch die sachverständige Person überprüft und mit den betroffenen Mitarbeitern besprochen werden. Treten bei der monatlichen Auswertung ungewöhnlich hohe oder regelmässige Extremitätendosen auf, müssen die Gründe dafür ermittelt werden. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass betroffene Mitarbeiter dosiskritische Manipulationen unter Beobachtung durchführen oder diese zur nachträglichen Analyse durch Filmaufnahmen festgehalten werden.

4.3 Arbeitsverteilung

Durch die innerbetriebliche Verteilung dosisintensiver Arbeiten (Markierung + Applikation von Beta-Strahlern, Applikation von PET-Nukliden) auf mehrere Mitarbeiter können die individuellen Dosen gesenkt werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die durch Routine und Erfahrung zu gewinnende Dosisoptimierung gewährleistet bleibt.

5. Operationelle Massnahmen, Anwendung von Schutz- und Hilfsmittel beim Umgang mit Beta-Strahlern

5.1 Training dosisintensiver Arbeiten

Bevor Markierungen, Vorbereitungsarbeiten und Applikationen neuer radiopharmazeutischer Produkte durchgeführt werden, müssen diese unter der Leitung und Beobachtung einer strahlenschutzsachverständigen Person ohne Aktivität (inaktives Training) eingeübt werden, damit die bestmöglichen Arbeitsabläufe und der Einsatz geeigneter Schutzeinrichtungen festgelegt werden können. Dieses Vorgehen ist ebenfalls bei der Einarbeitung neuer Mitarbeiter vorzusehen. Gegebenenfalls ist in solchen Fällen auch eine Dosimetrie gemäss 3 zu empfehlen.



5.2 Arbeitsvorbereitung

Vor der Handhabung von Beta-Strahlern müssen geeignete Ausrüstungen (Abschirmungen, Zangen, Greifer, Pinzetten, Aktivimeter) bereitgestellt, eingestellt und auf eine korrekte Funktion überprüft werden.

5.3 Verwendung von Zangen, Greifern und Pinzetten

Die direkte Berührung nicht abgeschirmter Vials und Spritzen mit den Händen muss unbedingt vermieden werden, da mit den verwendeten Nukliden und Aktivitäten schon innerhalb weniger Sekunden mehrere Millisievert Extremitätendosis akkumuliert werden können (Tabelle 1). Zur Vergrößerung des Abstandes der radioaktiven Quelle zu den Händen müssen wenn immer möglich Zangen (Abb.3), Greifer oder Pinzetten (Abb.4) eingesetzt werden. Aufgrund des quadratischen Abstandsgesetzes nimmt die Dosisleistung bei der Verdoppelung des Abstandes um den Faktor 4 ab.



Abb. 3: Vial-Zange



Abb. 4: Pinzette mit Plexiglasabschirmung

5.4 Manipulationen mit Spritzen, Spritzenabschirmungen

Beim Aufziehen und Applizieren von Beta-Strahlern müssen die Spritzen unbedingt mit Plexiglasabschirmungen (Abb.5) versehen werden. Dabei ist eine Plexiglasdicke von 1 cm ausreichend, um die Beta-Strahlung zu absorbieren. Der Dosisbeitrag der dadurch entstehenden Bremsstrahlung ist gering und kann in der Praxis vernachlässigt werden. Dadurch, dass die Dosisreduktion mit Plexiglasabschirmung gegenüber einer nicht abgeschirmten Spritze etwa den Faktor 1000 aufweist, spielt der Zeitfaktor bei der Manipulation eine untergeordnete Rolle. Auch wenn durch die Verwendung der Abschirmungen die Manipulationen wesentlich länger dauern, ist die dabei akkumulierte Dosis immer noch erheblich geringer als bei einer raschen Handhabung ohne Abschirmung. Die Wirksamkeit der Spritzenabschirmungen ist aber im Bereich des Spitzenbodens nicht lückenlos. Besonders beim An- und Absetzen der Spitzennadeln oder beim Anschluss der Spitze an einen Dreivegehahn (Abb. 6) sind die Finger exponiert. Hier sollten womöglich distanzverlängernde Hilfsmittel verwendet werden (Abb.3 und 4).



Abb.5: Plexiglas Spritzenabschirmung



Abb.6: Der Schutz von Spritzenabschirmung ist nicht lückenlos



5.5 Verwendung von Bleigummihandschuhen

Werden dosisintensive Vorbereitungsarbeiten und länger dauernde Applikationen regelmässig durchgeführt, empfiehlt es sich, zur Reduktion der Strahlenexposition der Hände Bleigummihandschuhe zu verwenden (Abb. 7 und 8). Diese Bleihandschuhe werden auch bei Anwendungen in der Röntgendiagnostik verwendet. Durch deren Verwendung kann die Dosis bis zu 60% (Y-90) reduziert werden. Auch bei dieser Massnahme muss jedoch gewährleistet werden, dass die Handhabung sicher und rasch durchgeführt werden kann.

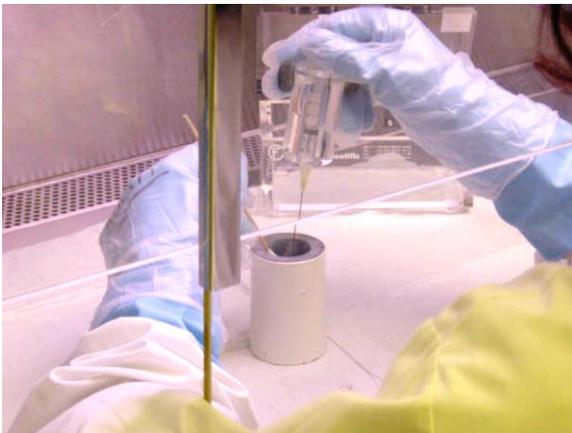


Abb.7: Verwendung von Bleigummihandschuhen zur Reduktion der Handdosen



Abb.8: Applikation mit Bleihandschuh

5.6 Abschirmbehälter für Glasfläschchen

Bevor aus Glasfläschchen (Vials) radioaktive Präparate zur Injektion oder für eine radiochemische Markierung aufgezogen werden empfiehlt es sich, diese in einen Abschirmbehälter aus Plexiglas (Abb. 9 und 10) zu stellen. Diese erlauben eine Aktivitätsentnahme, ohne dass der Deckel entfernt werden muss. Die üblichen Transportabschirmungen gewährleisten bei Entnahme der Flüssigkeiten meistens keine ausreichende Abschirmung nach oben. Werden die Vials zur Aktivitätsbestimmung aus der Abschirmung genommen, muss der Strahlenschutz durch genügend Abstand (Verwendung von Zangen, Pinzetten) und rasches Arbeiten gewährleistet werden. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Entfernen der Septen-Schutzkappen angebracht. Auf keinen Fall darf diese knifflige Manipulation (Abb. 11) direkt mit den Fingern durchgeführt werden.



Abb.9: Abschirmung für Vial



Abb.10: Beta-Abschirmung



Abb.11: Entfernen der Septen-Schutzkappe mit Pinzette



5.7 Aktivitätsbestimmung

Vor der Applikation muss eine Aktivitätsbestimmung in einem für Beta-Strahler geeichten Aktivimeter durchgeführt werden. Diese erfolgt durch eine Erst- und Rückmessung des Aktivitätsfläschchens oder der aufgezogenen Injektionspritze. Die Messung muss in einem Gefäss durchgeführt werden, für welches ein nuklidspezifischer Kalibrationsfaktor zur Verfügung steht. Aufgrund der geringen Empfindlichkeit der Aktivimetermesskammer gegenüber Beta-Strahlung müssen die Protpektoren zuvor entfernt werden. Kurze Transferwege unterstützen dabei eine dosisoptimierte Manipulation.

5.8 Vermeidung von Kontamination

Bereits kleine Spritzer eines Beta-Strahlers auf der Haut können aufgrund der hohen spezifischen Aktivität erhebliche Hautdosen verursachen. Aus diesem Grund müssen bei jeglichen Manipulationen konsequent Handschuhe getragen werden. Nitril- oder Vinylhandschuhe schützen besser vor Kontamination als Latexhandschuhe [3]. Zusätzlich kann durch das Tragen zweier Handschuhe übereinander vermieden werden, dass Kontaminationen beim Ausziehen des Handschuhs auf die Haut gelangen. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten sollten regelmässig Kontaminationskontrollen der Hände durchgeführt werden, dazu müssen im Labor geeignete Messgeräte zur Verfügung stehen.

5.9 Applikationsvorbereitung und Applikation

Je nach Technik (direkt oder über Dreiweghahn) sollten bei der Applikation womöglich geeignete Strahlenschutzmassnahmen beachtet werden. Das An- und Absetzen der Verschlusskappe, der Injektionsnadel oder das Anbringen der Spritze am Dreiweghahn sollte möglichst rasch und mit entsprechendem Abstand erfolgen. Allgemein sollten die Hände möglichst kurze Zeit in nicht abgeschirmten Bereichen verweilen (Spritzenboden, Abb. 6). Vom Strahlenschutz her ist eine automatisierte Applikation (Perfusor, Infusion) vorteilhaft. Dabei bleibt jedoch zu beachten, dass bei der Verwendung solcher Systeme auch geeignete Abschirmungen verwendet werden können und bei der Einrichtung keine dosisintensiven Manipulationen durchgeführt werden müssen.

6. Operationelle Massnahmen, Anwendung von Schutz- und Hilfsmitteln beim Umgang mit PET-Nukliden

Grundsätzlich gelten beim Umgang mit PET-Nukliden (z. Bsp. F-18) ähnliche Strahlenschutzmassnahmen wie beim Umgang mit Beta-Strahlern. PET-Nuklide stellen aber aufgrund der emittierten hochenergetischen Gammastrahlung von 511 keV besondere Anforderungen an die Abschirmung. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von F-18 (110 Min) muss ein PET-Betrieb für einen Tagesbedarf eine hohe Aktivität bestellen (für 8 Patienten ca. 25 GBq zur Zeit der Anlieferung). Dies erfordert eine massive Abschirmung (Tabelle 2), damit die zulässigen Ortsdosisleistungen im C-Labor eingehalten werden können.

F-18 Aktivität [GBq]	zulässige Dosisleistung [$\mu\text{Sv/h}$]	Abstand [cm]	Dicke Pb-Abschirmung [cm]
25	5	100	4,6
		50	5,6
	2.5	100	5,1
		50	6

Tabelle 2: Blei-Abschirmdicken für F-18. Berechnet aus Anhang 3 Spalte 6 (h_{10}) StSV [1].

6.1 Vorbereitung zur Applikation

Das Aufziehen der Spritze muss zur Minimierung der Umgebungs- und Extremitätendosis aus einem allseitig umschlossenen Abschirmbehälter mit für PET-Nuklide geeigneten Spritzenprotektoren erfolgen. Bei hohem Patientenaufkommen bietet sich für diesen dosisintensiven Arbeitsschritt die



Anschaffung eines Automaten an. Damit können Spritzen automatisch aufgezogen, die Aktivität im Aktivimeter automatisch bestimmt und bei bestimmten Systemen auch noch appliziert werden.



Abb.14: Aktivitätsentnahme aus dem F-18 Lagerbehälter



Abb.15: F-18 Spitzenabschirmung

Für die Bestimmung der Aktivität muss die Spritze meistens aus der Abschirmung genommen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Spritze möglichst weit weg von der Aktivität gehalten wird (d.H. nicht am Spritzenkörper) und die Manipulation wenig Zeit in Anspruch nimmt. Es besteht die Möglichkeit, dass die Aktivität auch mit aufgesetztem Spritzenprotector ermittelt wird, dazu muss der Hersteller des Aktivimeters aber entsprechende Kalibrationsfaktoren zur Verfügung stellen.

6.2 Applikation

Das An- und Absetzen der Injektionsnadel, der Verschlusskappe oder des Dreiwegehahns an die applikationsfertige Spritze birgt eine hohe Expositionsfahr für die Hände, da die Spritze in diesem Bereich kaum abgeschirmt ist (Abb.6). Werden Pinzetten zum An- und Absetzen der Nadel eingesetzt, wird der Abstand zu den Händen vergrößert und die Dosis reduziert (Abb.16). Für die Applikation selbst werden auch Applikationsautomaten angeboten, deren Anschaffung sich bei hohem Patientenaufkommen rechtfertigen lässt. Auch das kontaminierte Applikationsbesteck soll möglichst nicht direkt mit den Händen berührt werden. Zur Vergrößerung der Distanz und auch zur Vermeidung von Kontamination können Pinzetten eingesetzt werden. Im Applikationsraum müssen ebenfalls abgeschirmte Behälter für den anfallenden radioaktiv kontaminierten Abfall bereitgestellt werden (Abb.17).



Abb.16: Manipulation der Spitzennadel



Abb.17: Abfallbehälter für kontaminiertes Applikationsmaterial



Abteilung Strahlenschutz
www.str-rad.ch

Referenz / Aktenzeichen: L-10-04
Erstellt: 02.07.2018
Revisions-Nr. 1

8. Gesetzliche Grundlagen, Literatur, Bezugsquellen

- [1] Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [2] Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (SR 814.501.43) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [3] Empfehlungen zum Strahlenschutz bei der Radiosynoviorthese (RSO) BfS (www.bfs.de).

Bezugsquellen Strahlenschutzhilfsmittel

Melit GmbH (www.melit.ch); raditec medical AG (www.raditec.ch); rb brunner GmbH www.rbbrunner.ch;

Hilfsmittel für die Aus- und Fortbildung des Personals

Das BAG hat zur Aus- und Fortbildung des nuklearmedizinischen Personals eine DVD herausgegeben. Diese DVD wird auf Verlangen gratis abgegeben oder kann von der Homepage des BAG heruntergeladen werden (<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/bewilligungen-aufsicht-im-strahlenschutz/informationen-fuer-medizinische-betriebe/schulungsfilme-medizinische-betriebe.html>).