

### **Wegleitung**

Extremitätendosimetrie  
V1 25.02.24

[www.bag.admin.ch/str-wegleitungen](http://www.bag.admin.ch/str-wegleitungen)

### **Kontakt**

Tel.: 058 462 96 14

E-Mail: [str@bag.admin.ch](mailto:str@bag.admin.ch)

## **Extremitätendosimetrie beim Umgang mit offenen radioaktiven Quellen**

In der Strahlenschutzverordnung StSV [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 Artikel 12 der Dosimetrieverordnung [2] zusätzlich zum Ganzkörperdosimeter ein Extremitätendosimeter getragen werden.

# 1 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 Radiopharmazeutika, welche im Abstand von 10 cm theoretisch auftreten können.

**Tabelle 1: Berechnete Dosisleistungen ungeschirmter radiopharmazeutischer Injektionslösungen**

Nuklid (Radiopharmaka)	applizierte Aktivität [GBq]	$h_{0.07}$ (a) [mSv/h/GBq in 10 cm Abstand]	Dosisleistung in 10 cm $h_{0.07}$ [mSv/h]	$h_{10}$ (b) [mSv/h/GBq in 100 cm Abstand]	Dosisleistung in 10 cm $h_{10}$ [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 0.07 mm Gewebetiefe gemäss Spalte 7 Anhang 3 StSV [1] → Extremitätendosis.  
 (b) Dosisleistung in 10 mm Gewebetiefe gemäss Spalte 6 Anhang 3 StSV [1] → Ganzkörperdosis.

## 2 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 Thermolumineszenzdosimeter (TLD) (linke Hand bei Rechtshändern, rechte Hand bei Linkshändern) (Abbildung 1). Die Extremitätendosis wird aus der Fingerringdosis und einem **Korrekturfaktor 5** ermittelt, da diese sonst unterschätzt wird.

Mit Einverständnis der Aufsichtsbehörde kann die Bewilligungsinhaberin individuelle Korrekturfaktoren mittels geeigneter Messungen festlegen und verwenden.

Zur Ermittlung individueller Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung der anwender- und betriebsspezifischen Arbeitstechniken werden Fingerspitzen- und Handflächen-TLD-Messungen durchgeführt (Abbildung 2). Dazu können bei einigen Dosimetriestellen unverpackte TLD bezogen werden.

Die Bewilligungsinhaberin meldet der Personendosimetriestelle die Personen, die mit offenen Quellen arbeiten, und gegebenenfalls deren individuelle Korrekturfaktoren.

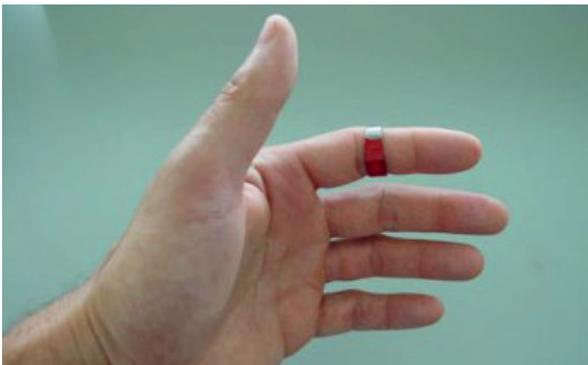


Abb. 1: Tragweise Fingerdosimeter



Abb. 2: Tragweise Fingerdosimeter

## 3 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.

### 3.1 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.

### 3.2 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 ungewohnt hohe oder regelmässig erhöhte 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.

### 3.3 Arbeitsverteilung

Durch die innerbetriebliche Verteilung dosisintensiver Arbeiten (Markierung und 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.

## 4 Operationelle Massnahmen und Anwendung von Schutz- und Hilfsmitteln beim Umgang mit Beta-Strahlern

### 4.1 Training dosisintensiver Arbeiten

Bevor Markierungen, Vorbereitungsarbeiten und Applikationen neuer radiopharmazeutischer Produkte durchgeführt werden, müssen diese unter der Leitung und Beobachtung einer strahlenschutzsachverständigen Person und ohne Aktivität eingeübt werden (inaktives Training). So können die bestmöglichen Arbeitsabläufe und der Einsatz geeigneter Schutzeinrichtungen festgelegt werden. Dieses Vorgehen ist auch bei der Einarbeitung neuer Mitarbeitenden vorzuziehen. Gegebenenfalls ist bei der Aufnahme solcher neuer Arbeiten mit Aktivität auch eine Dosimetrie gemäss Abschnitt 2 dieser Wegleitung zu empfehlen.

### 4.2 Arbeitsvorbereitung

Vor der Handhabung von Beta-Strahlern müssen geeignete Ausrüstungen (Abschirmungen, Zangen,

Greifer, Pinzetten, Aktivimeter) bereitgestellt, eingestellt und auf eine korrekte Funktion überprüft werden.

### 4.3 Verwendung von Zangen, Greifern und Pinzetten

Die direkte Berührung nicht abgeschirmter Glasfläschchen (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 (Abbildung 3), Greifer oder Pinzetten (Abbildung 4) eingesetzt werden. Aufgrund des quadratischen Abstandsgesetzes nimmt die Dosisleistung bei der Verdoppelung des Abstandes um den Faktor 4 ab.



Abb. 3: Vial-Zange

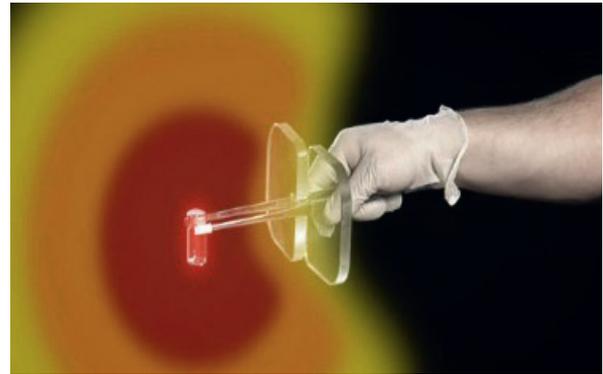


Abb. 4: Pinzette mit Plexiglasabschirmung

#### 4.4 Manipulationen mit Spritzen und Spritzenabschirmungen

Beim Aufziehen und Applizieren von Beta-Strahlern müssen die Spritzen unbedingt mit Plexiglasabschirmungen (Abbildung 5) versehen werden. Eine Plexiglasdicke von 1 cm ist ausreichend, um die Beta-Strahlung zu absorbieren. Der Dosisbeitrag der dadurch entstehenden Bremsstrahlung ist gering und kann in der Praxis vernachlässigt werden. Die Dosisreduktion mit Plexiglasabschirmung gegenüber einer nicht abgeschirmten Spritze beträgt ungefähr Faktor 1000.

Aus diesem Grund 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 im Bereich des Spitzenbodens nicht lückenlos. Besonders beim An- und Absetzen der Spritzenadeln oder beim Anschluss der Spritze an einen Dreiwegehahn (Abbildung 6) sind die Finger exponiert. Hier sollten wenn möglich distanzverlängernde Hilfsmittel verwendet werden (Abbildungen 3 und 4).



Abb. 5: Plexiglas Spritzenabschirmung



Abb. 6: Der Schutz von Spritzenabschirmungen ist nicht lückenlos

#### 4.5 Verwendung von Blei-Gummihandschuhen

Werden regelmäßig dosisintensive Vorbereitungsarbeiten und länger dauernde Applikationen durchgeführt, wird zur Reduktion der Strahlenexposition der Hände das Tragen bleihaltiger Strahlenschutzhandschuhen empfohlen (Abbildungen 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

#### 4.6 Abschirmbehälter für Vials

Bevor aus Vials radioaktive Präparate zur Injektion oder für eine radiochemische Markierung aufgezogen werden, sollten sie in einem Abschirmbehälter aus Plexiglas (Abbildungen 9 und 10) platziert werden. Diese Behälter erlauben es, die Aktivität ohne Entfernung des Deckels zu entnehmen. Die üblichen Transportabschirmungen garantieren 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 muss auch der korrekten Entfernung der Septen-Schutzkappen gelten. Diese knifflige Manipulation (Abbildung 11) darf auf keinen Fall direkt mit den Fingern durchgeführt werden.



**Abb. 9:** Abschirmung für Vial



**Abb. 10:** Beta-Abschirmung



**Abb. 11:** Entfernen der Septen-Schutzkappe mit Pinzette

#### 4.7 Aktivitätsbestimmung

Vor der Applikation muss eine Aktivitätsbestimmung in einem für Beta-Strahler geeichten Aktivimeter durchgeführt werden. Diese erfolgt durch eine Erst- und Rückmessung des Aktivitätsvials oder der aufgezogenen Injektionsspritze. 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 Abschirmungen zuvor entfernt werden. Kurze Transferwege unterstützen dabei eine dosisoptimierte Manipulation.

#### 4.8 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. Für diese Kontrollen müssen im Labor geeignete Messgeräte zur Verfügung stehen.

#### 4.9 Applikationsvorbereitung und Applikation

Abhängig von der Applikationstechnik (direkt oder über Dreiweghahn) sollten bei der Applikation, wenn immer möglich, geeignete Strahlenschutzmassnahmen getroffen werden. Das An- und Absetzen der Verschlusskappe oder der Injektionsnadel, bzw. das Anbringen der Spritze am Dreiweghahn sollte möglichst rasch und mit möglichst grossem Abstand erfolgen. Generell sollten die Hände möglichst kurze Zeit in nicht abgeschirmten Bereichen verweilen (z. B. am Spritzenboden, Abbildung 6).

Aus Sicht des Strahlenschutzes ist eine automatisierte Applikation (Perfusor, Infusion) vorteilhaft. Dabei bleibt jedoch zu beachten, dass auch bei der Verwendung solcher Systeme geeignete Abschirmungen verwendet werden können und bei der Einrichtung keine dosisintensiven Manipulationen durchgeführt werden müssen.

## 5 Operationelle Massnahmen und Anwendung von Schutz- und Hilfsmitteln beim Umgang mit PET-Nukliden

Grundsätzlich gelten beim Umgang mit PET-Nukliden (z. B. 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 verwendeten Abschirmungen. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von F-18 (110 Min) müssen PET-Betrieb sehr hohe Aktivitäten bestellen, um den Tagesbedarf abzudecken. Es können Lieferungen von 30 GBq oder mehr vorkommen. Dies erfordert eine massive Abschirmung, um die zulässigen Ortsdosisleistungen im C-Labor einhalten zu können (als Beispiel 25 GBq F-18 in Tabelle 2).

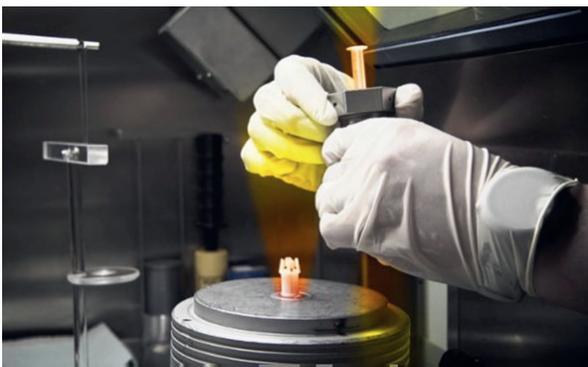
**Tabelle 2: Blei-Abschirmdicken für 25 GBq F-18. Berechnet aus Anhang 3 Spalte 6 ( $h_{10}$ ) StSV [1].**

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

#### 5.1 Vorbereitung zur Applikation

Das Aufziehen der Spritze muss zur Minimierung der Umgebungs- und Extremitätendosis aus einem allseitig umschlossenen Abschirmbehälter erfolgen. Die Spritze muss mit für PET-Nuklide geeigneten Spritzenabschirmungen versehen sein.

Bei hohem Patientenaufkommen bietet sich für diesen dosisintensiven Arbeitsschritt die Verwendung eines Automaten an. Damit können Spritzen automatisch aufgezogen, die Aktivität im Aktivimeter automatisch bestimmt und bei bestimmten Systemen auch appliziert werden.



**Abb. 12:** Aktivitätsentnahme aus dem F-18 Lagerbehälter



**Abb. 13:** F-18 Spitzenabschirmung

Für die Bestimmung der Aktivität muss die Spritze meistens aus der Abschirmung genommen werden. Dabei ist darauf zu achten, die Spritze möglichst weit weg von der Aktivität zu fassen (d. h. nicht am Spritzenkörper) und die Manipulationszeit insgesamt möglichst kurz zu halten. Je nach Aktivimetersystem besteht die Möglichkeit, die Aktivität auch mit aufgesetzter Spritzenabschirmung zu ermitteln. Dies ist jedoch nur möglich, wenn der Hersteller des Aktivimeters entsprechende Kalibrationsfaktoren zur Verfügung stellt.

## 5.2 Applikation

Das An- und Absetzen der Injektionsnadel, der Verschlusskappe oder des Dreiwegehahns an die applikationsfertige Spritze birgt eine hohe Exposition Gefahr für die Hände, da die Spritze in diesem vorderen Bereich kaum abgeschirmt ist (Abbildung 6).

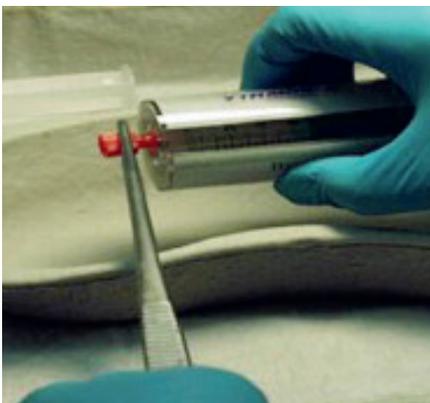


Abb. 14: Manipulation der Spitzennadel

Werden Pinzetten zum An- und Absetzen der Nadel eingesetzt, wird der Abstand zu den Händen vergrößert und somit die Dosis reduziert (Abbildung 14). Für die Applikation selbst werden auch Applikationsautomaten angeboten, deren Anschaffung sich insbesondere bei hohem Patientenaufkommen rechtfertigen lässt.

Das kontaminierte Applikationsbesteck soll wenn möglich ebenfalls nicht direkt mit den Händen berührt werden. Zur Vergrößerung der Distanz und zur Vermeidung von Kontamination können Pinzetten eingesetzt werden. Im Applikationsraum müssen abgeschirmte Behälter für den anfallenden radioaktiv kontaminierten Abfall bereitgestellt werden (Abbildung 15).

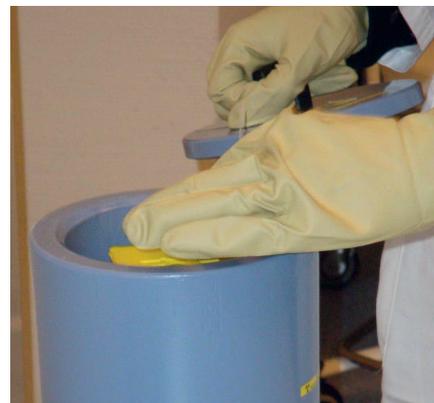


Abb. 15: Abfallbehälter für kontaminiertes Applikationsmaterial

## 6 Referenzen

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

### Hilfsmittel für die Aus- und Fortbildung des Personals

Das BAG hat zur Aus- und Fortbildung des nuklearmedizinischen Personals Schulungsfilme zum Strahlenschutz in der Nuklearmedizin und zur Arbeit in der Radiopharmazie produziert. Sie finden sie auf der BAG-Webseite [www.bag.admin.ch/str-schulungsfilme](http://www.bag.admin.ch/str-schulungsfilme).

## 5 Rechtlicher Stellenwert

Diese Wegleitung ist eine Vollzugshilfe des BAG als Aufsichtsbehörde für Strahlenschutz und richtet sich primär an die Bewilligungsinhaber bzw. Sachverständigen, an die kantonalen Behörden im Bereich Radon sowie an weitere Stellen und Personen, die von ionisierender Strahlung betroffen sein können. Sie konkretisiert Anforderungen aus dem Strahlenschutzrecht und entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Berücksichtigen die Bewilligungsinhaber bzw. Sachverständigen, die kantonalen Behörden oder sonstige betroffene Personen diese Wegleitung, so können sie davon ausgehen, dass sie das Strahlenschutzrecht rechtskonform vollziehen.