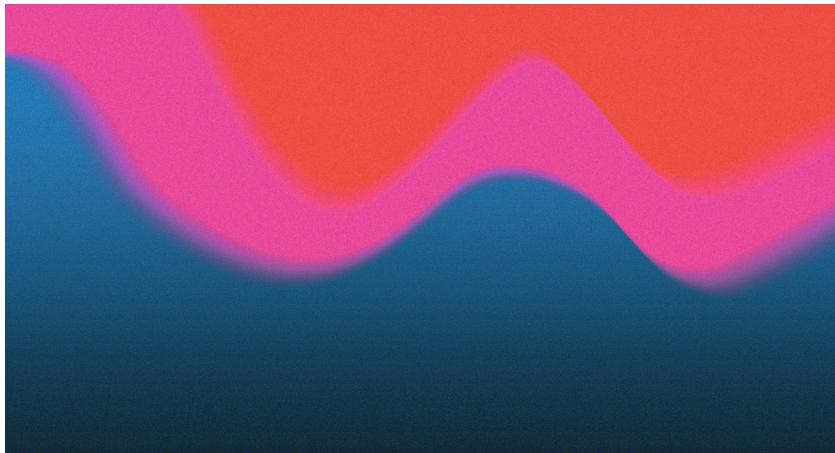




Wegleitung

Radionuklidtherapie

V1.1 05.02.2021

[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

Radionuklidtherapie

Zweck, Ausgangslage

Die vorliegende Wegleitung richtet sich an Ärztinnen und Ärzte, Strahlenschutz-Sachverständige und Pflegepersonal. Sie präzisiert das Vorgehen zur Wahrung des Strahlenschutzes bei stationären Radionuklidtherapien.

Zu Beginn wird auf die Therapieplanung sowie Stationierungs- und Entlassungskriterien eingegangen. Weiter wird beschrieben, welche Strahlenschutz-

massnahmen während der Therapie beachtet werden müssen und welche massgebenden Messgrössen zu bestimmen und zu protokollieren sind. Ein Kapitel beschreibt, wie Abwasserkontrollanlagen auszulegen und abzuschirmen sind. Im Weiteren wird beschrieben, welchen baulichen Anforderungen Therapiezimmer genügen müssen und wie die Berechnungen von Abschirmungen durchgeführt werden können. Ziel ist es, durch die

Einhaltung der Vorgaben dieser Wegleitung, einen optimalen Strahlenschutz für Patientinnen und Patienten, Pflegenden, Angehörige, Drittpersonen sowie die Umwelt zu gewährleisten.

Die Radionuklidtherapie erfordert eine sorgfältige Therapieplanung sowie die Einhaltung organisatorischer und baulicher Strahlenschutzmassnahmen.



Patientengespräch während einer stationären Radionuklidtherapie. Pflegepersonal, Ärztinnen und Ärzte sind durch eine Pflegemauer geschützt (siehe Punkt 2.4.2).

Inhalt

Therapieplanung und Durchführung	3
Individuelle Dosisberechnung für therapeutische Expositionen	3
Kriterien für stationäre Therapien	3
Fraktionierte Therapie	3
Ambulante Applikation und vorzeitige Entlassung bei I-131	3
Informationen für entlassene Patientinnen und Patienten	4
Umgang mit Therapiepatientinnen/-patienten, die ausserhalb der nuklear- medizinischen Abteilung behandelt werden und mit Leichen, die radioaktive Quellen enthalten	4
Operativer Strahlenschutz bei Radionuklidtherapien	5
Tabelle 2.1 Rahmenbedingungen	5
Tabelle 2.2 Messungen, Protokollierung und Operatives	5
Tabelle 2.3 Patientinnen und Patienten	6
Tabelle 2.4 Schutz des Personals	7
Tabelle 2.5 Radioaktive Abfälle und kontaminierte Materialien	7
Abwasserkontrollanlage	7
Bauliche Anforderungen an die Anlage	7
Dimension und Abschirmung der Abwasserkontrollanlage	8
Tankentleerung	8
Therapiezimmer	9
Bauliche Anforderungen	9
Abschirmungen für Therapiezimmer	9
Berechnungsgrundlagen	9
Allgemeines Berechnungsschema	9
<i>Schwächungsfaktor</i>	9
Zulässige Ortsdosisleistungen	10
Literaturverzeichnis/Referenzen	11
Glossar	11
Rechtlicher Stellenwert	11
Anhang 1: Schwächungsfaktoren	12
Anhang 2: Interne Weisung für den Strahlenschutz	15

Therapieplanung und Durchführung

Individuelle Dosisberechnung für therapeutische Expositionen

Die Dosis ist bei der Planung einer nuklearmedizinischen Therapie im Voraus zu ermitteln und die zugrundeliegende individuelle Dosisberechnung muss dokumentiert werden. Die zu protokollierenden Grössen sind unter Punkt 2.2.7 aufgeführt.

Zur Festlegung der Zieldosen müssen internationale Empfehlungen (z. B. [1] [2] [3]) beigezogen werden.

Kriterien für stationäre Therapien

Tabelle 1 fasst die Kriterien für stationäre Radionuklidtherapien, die Mindestdauer der Hospitalisierung sowie die Entlassungskriterien für die meistverwendeten Nuklide zusammen.

Tabelle 1 Kriterien für stationäre Therapien: Nuklide und Aktivitäten, Mindestdauer der Hospitalisierung, Entlassungskriterien

Nuklid / Therapie	Stationär ab	Mindestdauer	Entlassungskriterium
I-131	200 MBq	48 h	DL < 10 µSv/h in 1 m Abstand *
Lu-177 (neuroendokrine Tumore)	1000 MBq	48 h	48 h nach Applikation **
Lu-177 (PSMA)	1000 MBq	48 h	48 h nach Applikation **
Sm-153	200 MBq	8 h	8 h nach Applikation **

* Dosisleistung H^*_{10} in 1 m Abstand der Patientin/des Patienten; genaues Messprozedere beschrieben unter Punkt 2.2.6.

Bei I-131 entspricht das Kriterium einer Restaktivität von ~200 MBq.

** Entlassung nach der angegebenen Zeit nach Applikation der Therapieaktivität. Für Lu-177 wurde das Kriterium mit applizierten Aktivitäten von bis zu 8 GBq Lu-177 Dotatoc hergeleitet.

Patientinnen und Patienten, die mit I-131 und Lu-177 behandelt werden, müssen in den speziell abgeschirmten und an die Abwasserabklinganlage angeschlossenen Therapieziimmern untergebracht werden. Die externe Strahlung von mit Sm-153 behandelten Patientinnen und Patienten bedarf keiner besonderen Abschirmung. Bei der Pflege dieser Patientinnen und Patienten müssen jedoch die üblichen Strahlenschutzgrundsätze eingehalten und während der Hospitalisierung der Urin gesammelt werden. Dieser darf erst nach dem Abklingen unterhalb der Befreiungsgrenze (LL, Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) [4]) abgegeben werden.

Fraktionierte Therapie

Wiederholte Applikationen kleinerer Aktivitäten zur Vermeidung einer Stationierung sind bei Therapien mit I-131 nicht zulässig.

Ambulante Applikation und vorzeitige Entlassung bei I-131

In begründeten Einzelfällen sind ambulante Therapien mit I-131 bis 400 MBq nach Artikel 53 Absatz 3 der Verordnung des EDI über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM) [5] zulässig, wenn diese aufgrund medizinischer oder sozialer Gründe erforderlich sind und aufgrund der besonderen Umstände einer Patientin/eines Patienten ausgeschlossen werden kann, dass eine pflegende Person mehr als 5 mSv pro Jahr und andere Drittpersonen mehr als 1 mSv pro Jahr akkumulieren können. Die Zustimmung für eine einmalige, ambulante Applikation zwischen 200 und 400 MBq I-131 muss spätestens drei Tage vor dem geplanten

Applikationsdatum per e-Mail beim BAG beantragt werden (str@bag.admin.ch).

Das BAG kann zudem in Einzelfällen vorzeitigen Entlassungen zustimmen, wenn dies aufgrund medizinischer oder sozialer Gründe erforderlich ist und der Strahlenschutz von Dritten und der Umwelt gewährleistet bleibt (Art. 55 Abs. 3 UraM [5]). Dafür kann beim BAG per e-Mail eine vorzeitige Entlassung beantragt werden (str@bag.admin.ch).

Der Antrag für eine ambulante Applikation oder vorzeitige Entlassung muss mindestens die nachfolgenden Angaben enthalten:

1. Datum und Aktivität der Applikation, Geschlecht, Jahrgang und Initialen zur Patientenidentifikation sowie Wohn- und Aufenthaltsort der Patientin/des Patienten nach Applikation oder Entlassung;
2. Angabe spezifischer sozialer oder medizinischer Gründe, aufgrund welcher eine Patientin/ein Patient nicht stationär behandelt werden kann;
3. Informationen zu Familienangehörigen und nahestehenden Drittpersonen (z. B. Angabe der Personen, die im selben Haushalt leben und wie sich die Patientin/der Patient gegenüber diesen in angemessenem Abstand aufhalten kann);
4. Notwendige Verhaltensregeln, die nach der Entlassung aus dem Spital über eine bestimmte, festgelegte Zeit zu beachten sind (Dauer siehe 2.3.7).

Gestützt auf die eingereichten Angaben wird das BAG vor der geplanten Applikation oder vorzeitigen Entlassung über den eingereichten Antrag entscheiden und orientiert die zuständige Ärztin/den zuständigen Arzt per e-Mail.

Informationen für entlassene Patientinnen und Patienten

Den entlassenen Patientinnen und Patienten müssen die durch die Ärztin/den Arzt mündlich erteilten Informationen und Verhaltensmassnahmen zusätzlich in schriftlicher Form abgegeben werden. Patientinnen und Patienten müssen darauf aufmerksam gemacht werden, dass diese Informationen während der unter 2.3.7 definierten Zeit ebenfalls an folgende Personen und Stellen gegebenenfalls weitergegeben werden sollen:

- Behandelnde/r Hausärztin/Hausarzt;
- Personen im selben Haushalt;
- Drittpersonen mit engem Kontakt (z. B. Arbeitskolleginnen und -kollegen);
- Hoteldirektion bei Aufenthalt in einem Hotel nach der Entlassung;

Die Informationen können auch helfen, die Situation bei Strahlenalarmen zu klären, wenn bei Messportalen an Zollstellen oder Betriebseingängen aufgrund der Restaktivität im Körper ein Alarm ausgelöst wird.

Mit der Einhaltung einfacher Verhaltensmassnahmen soll sichergestellt werden, dass Drittpersonen keiner unzulässigen Strahlenexposition ausgesetzt werden. Die der Patientin/dem Patienten bei der Entlassung erteilten Informationen und Verhaltensmassnahmen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

1. Personalien und Wohnadresse der Patientin/des Patienten;
2. Angaben über die erfolgte Therapie (Datum, Art, Aktivität und Menge des verabreichten Radiopharmakons, sowie die bei der Entlassung in 1 m Abstand von der Patientin/vom Patienten gemessene Dosisleistung (in Mikrosievert pro Stunde, $\mu\text{Sv/h}$)), zuständige Ärztin/zuständiger Arzt der Nuklearmedizin und Kontaktstelle bei Rückfragen;
3. Notwendige Verhaltensregeln, die nach der Entlassung aus dem Spital über eine bestimmte festgelegte Zeit zu beachten sind (Mindestdauer siehe 2.3.7). Es ist dabei mindestens auf folgende Empfehlungen einzugehen:
 - d. Länger dauernder Kontakt in unmittelbarer Nähe mit Schwangeren, Säuglingen und Kleinkindern ist zu vermeiden. Nach Möglichkeit ist generell eine Distanz von 1 m oder mehr einzuhalten, wenn sich die Patientin/der Patient länger in der Umgebung von ein und derselben Person befinden sollte;
 - e. Enger körperlicher Kontakt zum Partner oder der Partnerin ist zu vermeiden oder so kurz wie möglich zu halten. Notwendigkeit und spezielle Dauer von allfälligen Kontrazeptionsmassnahmen sind mit der Ärztin/dem Arzt abzusprechen;
 - f. Nach Möglichkeit ist eine vom Partner/von der Partnerin getrennte Schlafmöglichkeit zu benutzen.

zen. Dabei ist eine Distanz von mind. 2 m zwischen den Betten zu wahren;

- g. Nach Benutzen der Toilette mindestens zweimal spülen;
- h. Häufigeres, regelmässiges Händewaschen;
- i. Benutzte Taschentücher direkt in Kehrriech;
- j. Bei Patientinnen und Patienten, welche Windeln benötigen, ist das Vorgehen (z. B. Zwischenlagerung der Windeln) im Einzelfall mit der/dem Strahlenschutz-Sachverständigen zu besprechen;

Umgang mit Therapiepatientinnen/-patienten, die ausserhalb der nuklearmedizinischen Abteilung behandelt werden und mit Leichen, die radioaktive Quellen enthalten

- Notfallstationen müssen darüber informiert werden, welche Strahlenschutz-Massnahmen zu treffen sind, falls eine Therapiepatientin oder ein Therapiepatient behandelt werden muss;
- Mitarbeiter/innen pathologischer und rechtsmedizinischer Institute müssen zu ihrem Schutz über erforderliche Strahlenschutzmassnahmen instruiert sein, bevor sie eine Untersuchung radioaktiv markierter Präparate, eine Autopsie von Leichen oder eine Entnahme kritischer Organe, welche noch radioaktive Stoffe aus nuklearmedizinischen Behandlungen enthalten, durchführen (BAG Wegleitung «Schutz des Personals pathologischer und rechtsmedizinischer Institute»).
- Stirbt eine Patientin oder ein Patient während oder kurz nach der Therapie mit radioaktiven Quellen, so sorgt die für die Therapie verantwortliche Ärztin oder der dafür verantwortliche Arzt unter Beachtung der Pietät und des Persönlichkeitsschutzes der verstorbenen Person für das weitere Vorgehen (Art. 56 UraM).
- Die Feuer- oder Erdbestattung einer Leiche ist bis zu den folgenden maximalen Aktivitäten zulässig:

Erdbestattung: Aktivität kleiner als 10 000 LA¹
Feuerbestattung: Aktivität kleiner als 1 000 LA

Sind die Kriterien nicht erfüllt, so ist die Aktivität in der Leiche durch Resektion der kritischen Organe oder durch Abklinglagerung der Leiche mindestens auf die genannten Werte zu reduzieren.
- Betroffene Bestattungsunternehmen und Krematorien müssen ebenfalls informiert werden, falls ihnen eine Leiche übergeben wird, die radioaktive Quellen enthält. So können sie die erforderlichen Strahlenschutz-Massnahmen zum Schutz der Mitarbeiter/innen veranlassen (BAG Wegleitung «Schutz des Personals von Bestattungsunternehmen und Krematorien»).

¹ LA = Bewilligungsgrenze; Anhang 3 Spalte 10 Strahlenschutzverordnung (StSV) [4]

Operativer Strahlenschutz bei Radionuklidtherapien

In den folgenden Tabellen werden die Anforderungen an den operativen Strahlenschutz detailliert aufgelistet. Dabei wird sowohl auf bauliche und technische

Rahmenbedingungen eingegangen sowie organisatorische Abläufe und Informationsflüsse thematisiert.

Tabelle 2.1 Rahmenbedingungen

2.1.1	Das Therapiezimmer und gegebenenfalls die Therapiestation müssen als Kontrollbereich gekennzeichnet sein (Wegleitung «Kennzeichnung» [6]). Die BewilligungsinhaberIn/der Bewilligungsinhaber muss dafür sorgen, dass nur berechtigten Personen der Zutritt zu Kontrollbereichen möglich ist.
2.1.2	Am Ausgang eines einzelnen Therapiezimmers muss ein Hand-Kontaminationsmonitor oder an jedem Ausgang des Kontrollbereichs der Therapiestation ein Hand-Fuss-Monitor zur Durchführung der Kontaminationskontrolle an Händen, Füßen und Kleidern installiert sein (Art. 38 Abs. 1 und Anhang 6 UraM [5]).
2.1.3	Eine andere Nutzung der Therapiezimmer bedingt eine Freimessung durch die/den Strahlenschutz-Sachverständigen und eine Zustimmung des BAG.

Tabelle 2.2 Messungen, Protokollierung und Operatives

2.2.1	Beim Verlassen der Therapiezimmer oder des Kontrollbereiches müssen Hände und Schuhe mit einem Kontaminationsmonitor überprüft werden. Besteht die Möglichkeit, dass durch Kontakt mit kontaminierten Gegenständen oder der Patientin/dem Patienten die Kleidung kontaminiert ist, muss auch diese kontrolliert werden.		
2.2.2	Das richtige Verhalten und die notwendigen Massnahmen nach einer Personenkontamination müssen beschrieben und trainiert werden.		
2.2.3	Die Bestimmung der Aktivität des Radiotherapeutikums im Aktivimeter und eine Identifikation der Patientin/des Patienten müssen vor jeder Applikation durchgeführt werden.		
2.2.4	Die Einnahme der Jod-Therapiekapsel muss unter Aufsicht der sachverständigen Ärztin/des sachverständigen Arztes im Therapiezimmer durchgeführt werden. Die Applikation von intravenös verabreichten Radiotherapeutika erfolgt in einem Applikationsraum ebenfalls unter Aufsicht der sachverständigen Ärztin/des sachverständigen Arztes.		
2.2.5	Die Messungen gemäss nachfolgendem Prozedere der Patientin/des Patienten zur Überprüfung der Dosisleistung oder der Restaktivität bei I-131 muss arbeitstäglich durchgeführt werden. Die Entlassungsmessung muss sowohl bei I-131- als auch bei Lu-177-Therapien durchgeführt werden. Die Resultate müssen protokolliert und z. B. im Patientendossier abgelegt werden.		
2.2.6	Die Messungen mit der Patientin/dem Patienten sind je nach Therapie (Hyperthyreose, Schilddrüsenkarzinom, neuroendokrine Tumore, metastasiertes Prostatakarzinom (PSMA)) und Messmethode (Dosisleistung DL oder Aktivität; Methode ist in einer internen Weisung zu beschreiben, siehe Anhang 2 dieser Wegleitung) wie folgt durchzuführen:		
		Dosisleistung	Aktivität
	I-131: Hyperthyreose und Struma	Geeichtes Messgerät, Messung auf Höhe der Schilddrüse in 1 m Abstand	Bestimmung der Restaktivität mit Gamma-zählrohr in einer mit I-131 kalibrierten Messgeometrie
	I-131: Schilddrüsenkarzinom	Geeichtes Messgerät, Messung auf Bauchhöhe und auf Höhe der Schilddrüse in 1 m Abstand (grösserer Wert ist massgebend)	Bestimmung der Restaktivität mit Gamma-zählrohr in einer mit I-131 kalibrierten Messgeometrie
	Lu-177: Neuroendokrine Tumore; PSMA	Geeichtes Messgerät, Messung auf Höhe des Körperstamms in 1 m Abstand	Bestimmung der Restaktivität mit Gamma-zählrohr in einer mit Lu-177 kalibrierten Messgeometrie
2.2.7	Zu allen Patientinnen und Patienten müssen folgende Angaben z. B. im Patientendossier protokolliert werden:		
		Dosimetrie	Therapie
	I-131: Hyperthyreose und Struma	Nuklid, Aktivität [MBq], Uptake [%], Dosiskalkulation mit gemessenem Schilddrüsenvolumen [ml], der individuell ermittelten oder erkrankungsspezifischen effektiven Halbwertszeit [d] sowie der angestrebten Herddosis [Gy]	Aktivität [MBq], Applikationszeitpunkt, arbeitstägliche Messungen (DL in $\mu\text{Sv/h}$ oder Restaktivität in MBq und Messzeitpunkt), Kalkulation der aus den Messungen abgeleiteten effektiven Halbwertszeit [d] des Nuklids
	I-131: Schilddrüsenkarzinom	Wenn medizinisch sinnvoll: Nuklid, Aktivität [MBq], Uptake [%]	Aktivität [MBq], Applikationszeitpunkt, arbeitstägliche Messungen (DL in $\mu\text{Sv/h}$ oder Restaktivität in MBq und Messzeitpunkt)
	Lu-177	Medizinische Begründung zur applizierten Therapieaktivität	Aktivität [MBq], Applikationszeitpunkt, Entlassungsmessung (DL in $\mu\text{Sv/h}$ oder Restaktivität in MBq und Messzeitpunkt)
2.2.8	Das Betreuungspersonal ist instruiert, wie es sich bei einem Kontaminationszwischenfall (z. B. bei Erbrechen/Ausscheidungen) verhalten muss. Es muss jederzeit die Möglichkeit bestehen, dass eine strahlenschutz-sachverständige Person beigezogen werden kann.		
2.2.9	Interne Regelung, (siehe Anhang 2 dieser Wegleitung), welche Strahlenschutzmassnahmen bei einer notfallmässigen Verlegung einer Patientin/eines Patienten (z. B. auf die Intensivpflege) zu treffen sind, muss vorhanden sein. Entsprechendes Hilfs- und Überwachungsmaterial (z. B. elektronische Dosimeter, Schutzmaterial analog Isolation) muss zur Verfügung stehen.		

Tabelle 2.3 Patientinnen und Patienten

2.3.1	In der Regel sollten nur Patientinnen und Patienten therapiert werden, die während ihres stationären Aufenthaltes voraussichtlich nicht auf eine enge Betreuung und Pflege angewiesen sind. Bei Abweichungen von diesem Grundsatz sind in Absprache und Zustimmung mit der Aufsichtsbehörde zusätzliche Strahlenschutzmassnahmen für das Personal und andere Betreuungspersonen vorzusehen.																
2.3.2	Die Patientin/der Patient muss vor Therapieantritt über den Therapieablauf durch eine strahlenschutz-sachverständige Ärztin/einen strahlenschutz-sachverständigen Arzt (mit eidg. Weiterbildungstitel in Nuklearmedizin) informiert und instruiert werden. Zusätzlich werden ihr/ihm vor der Entlassung Informationen und Verhaltensmassnahmen in schriftlicher Form abgegeben.																
2.3.3	Bei geplanten therapeutischen nuklearmedizinischen Expositionen bei stillenden Patientinnen ist insbesondere das Risiko durch die zu erwartende Strahlenbelastung der Mamma gegen den zu erwartenden therapeutischen Nutzen abzuwägen ([7], Seite 343: Empfehlung der «American Thyroid Association Taskforce on Radioiodine Safety»).																
2.3.4	Die Patientin/der Patient wird vorgängig informiert, dass die Anzahl persönlicher Gegenstände, welche ins Therapiezimmer mitgebracht und während der Therapie benutzt werden, möglichst zu beschränken ist. Wenn persönliche Gegenstände bei der Entlassung Kontaminationen aufweisen, kann eine Kontaminationsverschleppung durch Verpacken oder den ausschliesslichen Gebrauch durch die Patientin/den Patienten bis zum vollständigen Abklingen vermieden werden.																
2.3.5	Ein Besuch der Patientinnen und Patienten durch Angehörige kann in begründeten Fällen bei I-131 frühestens 48 h und bei Lu-177 frühestens 12 h nach Applikation durch die strahlenschutz-sachverständige Person autorisiert werden. Besucherinnen und Besucher müssen über die notwendigen Strahlenschutzmassnahmen instruiert werden. Ausnahmen von dieser Regel (z. B. Therapie von Kindern) sind mit dem BAG abzusprechen.																
2.3.6	Patientinnen und Patienten dürfen das Therapiezimmer während ihres Aufenthaltes frühestens 48 h bei I-131 resp. 12 h bei Lu-177 nach Applikation mit Zustimmung der/des Strahlenschutz-Sachverständigen kurzzeitig verlassen. Durch eine detaillierte Instruktion der Patientin/des Patienten wird sichergestellt, dass dadurch keine Personen unzulässig bestrahlt oder kontaminiert werden können.																
2.3.7	Ambulanten und nach einer Stationierung entlassenen Patientinnen/Patienten werden Informationen zu Verhaltensregeln abgegeben, die während der Nachsorge über eine empfohlene Mindestdauer, wie nachfolgend beschrieben, zu beachten sind, damit Angehörige und Dritte keiner unnötigen Strahlung ausgesetzt werden: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Mindestdauer zur Einhaltung der Verhaltensregeln nach der Entlassung</th><th>Bezogen auf diese Entlassungswerte</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I-131: Hyperthyreose und Struma</td><td>12 Tage *</td><td>10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)</td></tr> <tr> <td>I-131: Schilddrüsenkarzinom</td><td>4 Tage *</td><td>10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)</td></tr> <tr> <td>Lu-177: neuroendokrine Tumore</td><td>3 Tage</td><td>48 h nach Applikation</td></tr> <tr> <td>Lu-177: Metastasiertes Prostatakarzinom</td><td>6 Tage</td><td>48 h nach Applikation</td></tr> </tbody> </table> In Begründeten Fällen kann von der empfohlenen Mindestdauer abgewichen werden, wenn sich die effektiven Halbwertszeiten deutlich von den hier angenommenen Werten unterscheiden. * Grundlage zur Berechnung: Effektive Halbwertszeit 5 Tage (Hyperthyreose), 1,5 Tage (SD-Karzinom), Aufhebung der Massnahmen, wenn DL < 2 µSv/h in 1 m Abstand			Mindestdauer zur Einhaltung der Verhaltensregeln nach der Entlassung	Bezogen auf diese Entlassungswerte	I-131: Hyperthyreose und Struma	12 Tage *	10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)	I-131: Schilddrüsenkarzinom	4 Tage *	10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)	Lu-177: neuroendokrine Tumore	3 Tage	48 h nach Applikation	Lu-177: Metastasiertes Prostatakarzinom	6 Tage	48 h nach Applikation
	Mindestdauer zur Einhaltung der Verhaltensregeln nach der Entlassung	Bezogen auf diese Entlassungswerte															
I-131: Hyperthyreose und Struma	12 Tage *	10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)															
I-131: Schilddrüsenkarzinom	4 Tage *	10 µSv/h in 1 m Abstand (Restaktivität 200 MBq)															
Lu-177: neuroendokrine Tumore	3 Tage	48 h nach Applikation															
Lu-177: Metastasiertes Prostatakarzinom	6 Tage	48 h nach Applikation															

Tabelle 2.4 Schutz des Personals

2.4.1	Personal, welches mit der Betreuung von Patientinnen und Patienten beauftragt ist, gilt als beruflich strahlenexponiert und muss dosimetriert werden. Reinigungs- und technisches Personal, welches sich regelmässig innerhalb von Kontrollbereichen aufhält, gilt ebenfalls als beruflich strahlenexponiert und muss dosimetriert werden. (siehe Wegleitung «Dosimetrie (offene Stoffe)» [8])
2.4.2	Die Betreuung und Pflege der Patientinnen und Patienten muss zeitlich möglichst minimiert werden. Falls im Zimmer während des Aufenthalts der Patientin/des Patienten längere Arbeiten ausgeführt werden müssen, werden zur Reduktion der Strahlenbelastung mobile Abschirmungen verwendet und vorhandene Pflegemauern genutzt.
2.4.3	Werden Patientinnen und Patienten während ihrer Hospitalisierung durch Angehörige betreut, muss sichergestellt werden, dass diese den geltenden Dosisgrenzwert von 5 mSv/Jahr nicht überschreiten können. Die/der Strahlenschutz-Sachverständige sorgt dabei für eine angemessene Instruktion und Überwachung (elektronisches Dosimeter).
2.4.4	Böden, Wände und Einrichtungsgegenstände in Therapieziimmern können nach einer Radionuklidtherapie kontaminiert sein. Zur Vermeidung der Verschleppung von Kontaminationen ist es angebracht, dass das Personal vor dem Betreten der Zimmer Überschuhe und Schutzhandschuhe anzieht.
2.4.5	Therapiezimmer ohne künstliche Lüftung müssen täglich gründlich gelüftet werden, damit die Inkorporationsgefahr für das Personal minimiert wird.
2.4.6	Das Betreuungspersonal wird durch die strahlenschutz-sachverständige Person aus- und regelmässig fortgebildet. Das Betreuungspersonal ist in der Lage, Kontaminationen zu messen, zu beurteilen und die richtigen Massnahmen (Dekontamination, Zwischenlagerung, Entsorgung als radioaktiver Abfall) zu treffen.

Tabelle 2.5 Radioaktive Abfälle und kontaminierte Materialien

2.5.1	Abfall aus dem Therapiezimmer wird vor Abgabe in den Hauskehricht nach Artikel 106 StSV [4] freigemessen.
2.5.2	Gebrauchsgegenstände aus dem Therapiezimmer (Bett- und Toilettenwäsche, Möbel) werden auf Kontamination geprüft, bevor sie dieses verlassen. Sind Kontaminationen vorhanden, muss dekontaminiert oder zum Abklingen zwischengelagert werden.
2.5.3	Essgeschirr und Speisereste der Patienten/Patientinnen können kontaminiert sein. Vor der Rückgabe an die Küche muss das Geschirr auf Kontamination überprüft und gegebenenfalls dekontaminiert werden. Wird Wegwerfgeschirr verwendet, wird dieses wie radioaktiver Abfall behandelt.

Abwasserkontrollanlage

Für den Betrieb einer Therapiestation mit Therapieziimmern muss zwingend eine Abwasserkontrollanlage vorhanden sein, welche sicherstellt, dass nach der Abgabe kontaminierter Abwässer in öffentlich zugänglichen Gewässern keine Immissionsgrenzwerte nach Anhang 7 StSV [4] überschritten werden. Die bewilligte Abgabeaktivität wird von der Aufsichtsbehörde festgelegt und ist Teil der Bewilligung. Die Abklinganlage muss die nachfolgenden Punkte erfüllen:

Bauliche Anforderungen an die Anlage

Anschlüsse

Eine Abwasserkontrollanlage muss sämtliche Abwässer des angeschlossenen Kontrollbereichs aufnehmen, die kontaminiert sein können. Dazu gehören Abwässer aus z. B.

- WC und Duschen
- Lavabos
- Waschmaschinen

Abwasserleitungen

Die Abwasserleitungen sind so zu führen bzw. abzuschirmen, dass die Ortsdosisleistungsrichtwerte nach Anhang 2 UraM [5] eingehalten werden. Die folgenden

Abschirmdicken sind als Richtwerte für I-131 zu verstehen und beruhen auf Erfahrungswerten aus diversen gemessenen Abwasserleitungen.

- Leitungen im Bereich von Patientenzimmern (Daueraufenthalt): 12 mm Blei oder 22 cm Beton, bei einem Mindestabstand von 0,5 m zur Leitung
- Leitungen im Bereich von Büros (Daueraufenthalt Personal): 4 mm Blei oder 8 cm Beton, bei einem Mindestabstand von 0,5 m zur Leitung
- Leitungen im Bereich von Korridoren, Lagerräumen usw. (kein Daueraufenthalt von Personen): Falls ein Abstand von mehr als 0,5 m eingehalten wird, kann auf eine Abschirmung verzichtet werden

Anlagespezifikationen

1. Sie verfügt über mindestens 2 Sammel tanks, die abwechselnd gefüllt werden können
2. Freistehende Sammel tanks müssen jederzeit auf Dichtheit kontrolliert werden können
3. Unterbodensammel tanks müssen mindestens alle 3 Jahre auf Dichtheit überprüft werden
4. Die Auffangwanne ist so auszulegen, dass die voraussichtlichen Leckage-Ströme erfasst werden

5. Die Entleerung der Sammel tanks darf nicht automatisch ausgelöst werden können. Sie muss durch eine aktive, nicht automatisierte Handlung erfolgen
6. Die einzelnen Sammel tanks müssen mindestens über folgende Einrichtungen verfügen:
 - natürlicher Überlauf in einen weiteren Tank oder in die Auffangwanne
 - Füllstandsanzeige
 - Alarmsystem für den Füllstand 4/5 voll
 - Durchmischungseinrichtung
 - Probenahmeeinrichtung zur Entnahme einer repräsentativen Probe
 - Sicherheitsventile gegen Über- und Unterdruck
 - Sie müssen in einer Auffangwanne stehen, welche den Inhalt mindestens eines Sammel tanks aufnehmen kann

Dimension und Abschirmung der Abwasserkontrollanlage

Für die Auslegung des Volumens und der notwendigen Abschirmung der Abwasserkontrollanlage sind folgende Parameter zu berücksichtigen

- Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Patient
- Fülldauer
- Anzahl Patienten, Statistik oder Prognose der applizierten Aktivitäten
- Maximal mögliche Aktivität pro Tank am Ende der Fülldauer
- Notwendige Abklingdauer bis die vom BAG bewilligte wöchentliche Abgabeaktivität erreicht ist
- Raumgeometrie und Belegung

Damit Ortsdosisleistungsrichtwerte in angrenzenden Räumen eingehalten werden können, ist es unter Umständen nötig, Abschirmungen einzuplanen. Für deren einfache und konservative Berechnung können folgende Annahmen verwendet werden:

- Abzuschirmende Aktivität pro Tank:

$$A = 2 \cdot \frac{\text{maximal applizierbare Aktivität pro Woche}}{\text{Anzahl parallel verwendete Tanks}}$$

(für I-131).

- Es gilt die Annahme einer Punktquelle ohne Abschirmwirkung des Tankinhalts.
- Die Quelle mit der berechneten Aktivität wird in der jeweiligen Tankmitte platziert.
- Die Quelle wird hypothetisch einzeln in jeden Tank gelegt, es muss keine Summe der Aktivitäten aller Tanks gebildet werden.
- Die kürzesten Distanzen zu den abzuschirmenden Bereichen werden von der entsprechenden Tankmitte aus berechnet.

Beispiel

Abwasserkontrollanlage mit 6 parallel verwendeten und nicht leeren Tanks. In einer Woche werden 2 Patienten mit je maximal 8 GBq I-131 behandelt. Die abzuschirmende Aktivität A pro Tank ergibt sich somit aus

$$A = 2 \cdot \frac{2 \cdot 8 \text{ GBq}}{6} = 5,33 \text{ GBq}$$

Für jede Wand wird nun mit der am nächsten gelegenen Aktivität von 5,33 GBq in Tankmitte gerechnet.

Sei im Beispiel die Distanz von Tankmitte zu einem angrenzenden Korridor 3,6 m und die dort zulässige Dosisleistung 2,5 µSv/h.

Die Aktivität im Tank von 5,33 GBq I-131 führt als Punktquelle in einer Distanz von 3,6 m zu einer Dosisleistung von 25,5 µSv/h gemäss Anhang 3 der StSV [4]. Die Strahlung muss also um einen Faktor $F = 25,5/2,5 = 10,2$ abgeschwächt werden. Dieser Schwächungsfaktor 10,2 entspricht gemäss Anhang 1 dieser Wegleitung zum Beispiel einer Betondicke von ca. 23 cm oder einer Bleidicke von 1,1 cm.

Tankentleerung

Vor der Entleerung muss die im Tank enthaltene Aktivität bekannt sein. Die Aktivität ist entweder per Messung oder per konservativer Hypothese rechnerisch zu bestimmen. Bei letzterer Methode ist ein vollständiger Aktivitätszufluss der im Füllzeitraum umgesetzten Aktivitäten anzunehmen. In beiden Fällen muss die Methode von der Aufsichtsbehörde geprüft und genehmigt werden. Die Entleerung muss protokolliert werden (Abgabezeit, Volumen und nuklidspezifische Aktivität) dabei sind die in der Betriebsbewilligung spezifizierten maximalen Abgabeaktivitäten einzuhalten.



Beispiel einer Abwasserkontrollanlage. Foto: P. Koch

Therapiezimmer

Bauliche Anforderungen

Therapiezimmer müssen mindestens den Anforderungen an einen Arbeitsbereich des Typs C genügen. Diese richten sich nach Artikel 9–18 und Anhang 5 der UraM [5].

- Böden und Wände müssen gut dekontaminierbar sein (mindestens abwaschbarer Anstrich).
- Die einzelnen Arbeitsbereiche sind als voneinander getrennte Brandabschnitte einzurichten.
- Bei der Verankerung von Geräten oder Einrichtungen auf dem Boden müssen Vorkehrungen getroffen werden, damit keine Flüssigkeiten unter Geräte ohne Bodenfreiheit oder unter den Bodenbelag gelangen können.
- Beim Ausgang von Arbeitsbereichen müssen Waschgelegenheiten zur Dekontamination der Hände zur Verfügung stehen.
- Arbeitsbereiche müssen nach den Anforderungen nach Anhang 5 UraM [5] ausreichend passiv belüftet werden oder mit einer Lüftungsanlage ausgerüstet sein. Diese ist so auszulegen und einzustellen, dass der Druck in Räumen mit grösserer Kontaminationsgefahr niedriger ist als in Räumen mit geringerer Kontaminationsgefahr, insbesondere gegenüber normalen Räumen im übrigen Gebäudeteil.
- Zimmer für stationäre Therapiepatientinnen und -patienten der Nuklearmedizin müssen mit eigenen sanitären Einrichtungen (Lavabo, Dusche, WC) ausgerüstet sein, oder diese müssen in unmittelbarer Nähe innerhalb des Kontrollbereichs zur Verfügung stehen.

Abschirmungen für Therapiezimmer

Die Ausstattung und Abschirmung von Therapie-Patientenzimmern richtet sich nach den Artikeln 27–29 der UraM [5].

Berechnungsgrundlagen

Bei der Bemessung der Abschirmungen müssen nach der Erfahrung und nach dem Stand von Wissenschaft und Technik die zur Anwendung gelangenden Aktivitäten, die Abstände gegenüber zugänglichen Bereichen, die Dauer einer möglichen Exposition von Personen sowie nuklidspezifische und physiologische Parameter (Ausscheidungsraten) berücksichtigt werden. Die Strahlenschutzberechnungen für Therapiezimmer, welche für I-131- und hier beschriebene Lu-177-Therapien verwendet werden, basieren auf folgenden Grundlagen:

- Die Abschirmung der Therapiezimmer (Wände, Boden, Decke, Türen, etc.) muss für eine Dauerbelegung ausgelegt sein, d. h. 168 h pro Woche.
- Die Abschirmungen der Räume könne mit der Hälfte der für Applikationen verwendeten Höchst-

aktivitäten berechnet werden (z. B. 4 GBq bei der max. Applikation von 8 GBq).

- Ausserhalb von abgeschirmten Räumen muss die Schutzwirkung der Abschirmungen bis auf eine Höhe von mindestens 200 cm über Boden gewährleistet sein.
- Die zulässigen Ortsdosisleistungen in den benachbarten Räumen richten sich nach Anhang 2 der UraM [5] und den daraus abgeleiteten Ausführungen im Abschnitt «Zulässige Ortsdosisleistungen» dieser Wegleitung.
- Der Quellenbezugspunkt und die damit für die Strahlenschutzberechnungen relevanten Abstände werden vom Zentrum des Patientenbettes in 1 m Höhe bis zur äusseren Raumbegrenzung des zu schützenden Bereichs gemessen (gilt für Bereiche neben und oberhalb). Für Bereiche unterhalb wird eine Höhe von 2 m über Boden des jeweiligen Bereiches angenommen.
- Für Therapiezimmer müssen geeignete mobile Abschirmungen zur Verfügung stehen. Falls bettlägerige Patientinnen und Patienten während der Therapie betreut werden müssen, ist im Therapiezimmer entlang des Patientenbettes eine stationäre Abschirmung von mindestens 110 cm Höhe anzubringen. Die Ortsdosisleistung hinter dieser Abschirmung darf den Wert von 25 µSv/h gemäss Anhang 2 UraM [5] nicht übersteigen.

Allgemeines Berechnungsschema

Schwächungsfaktor

$$\text{Schwächungsfaktor } F = h_{10} \cdot \frac{0,5 \cdot A_{\max}}{\text{ODL} \cdot r^2}$$

Dabei gilt

h_{10} 62 (µSv/h)/GBq für I-131 resp. 6 (µSv/h)/GBq für Lu-177 in 1 m Abstand von der Strahlenquelle (Anhang 3 StSV [4])

$A_{\max}$ maximal applizierte Aktivität

ODL zulässige Ortsdosisleistung (siehe Kapitel «Zulässige Ortsdosisleistungen» dieser Wegleitung oder Anhang 2 UraM [5])

r Abstand Strahlenquelle gegenüber dem zu schützenden Ort

Der Schwächungsfaktor F von üblichen Baumaterialien kann als Funktion der Dicke den Tabellen oder Grafiken in Anhang 1 dieser Wegleitung entnommen werden. Werden mehrere Materialien verwendet, so ergibt sich der gesamte Schwächungsfaktor F aus dem Produkt der Schwächungsfaktoren der einzelnen Materialien.

Berechnungsbeispiel

Berechnung des erforderlichen Schwächungsfaktors für einen Korridor ausserhalb des Kontrollbereiches.

Es gilt:

h_{10} (I-131) 62 (μSv/h)/GBq in 1 m

$A_{\max}$ 8 GBq

ODL 2,5 μSv/h

r 3 m

$$F = 62 \frac{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \cdot \frac{0,5 \cdot 8 \text{ GBq}}{2,5 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \cdot (3 \text{ m})^2} = 11,02$$

Herleitung der notwendigen Abschirmdicken d_F

Je nach Abschirmmaterial kann aus den Tabellen A1 bis A4 in Anhang 1 dieser Wegleitung aufgrund des erforderlichen Schwächungsfaktors F die entsprechende Materialdicke bestimmt werden. In diesem Beispiel wird Blei verwendet. Ein Schwächungsfaktor F = 11,02 entspricht für Blei gemäss Tabelle A1 einer Dicke zwischen $d_1 = 1,1$ cm ($F_1 = 9,80$) und $d_2 = 1,3$ cm ($F_2 = 13,78$). Angenommen, der gleiche Schwächungsfaktor F = 11,02 wäre auch für eine Abschirmung von Lu-177 nötig, dann entspräche dies einer Dicke

zwischen $d_1 = 0,22$ cm ($F_1 = 8,49$) und $d_2 = 0,31$ cm ($F_2 = 18,27$). Für die näherungsweise Bestimmung der notwendigen Dicken kann zwischen den aufgeführten Werten linear interpoliert werden.

$$d_F = d_1 + \frac{d_2 - d_1}{F_2 - F_1} \cdot (F - F_1)$$

Abschirmdicke I-131 (Blei)

$$d_{F(11,02)} = 1,1 \text{ cm} + \frac{1,3 \text{ cm} - 1,1 \text{ cm}}{13,78 - 9,80} \cdot (11,02 - 9,80) = 1,16 \text{ cm}$$

Abschirmdicke Lu-177 (Blei)

$$d_{F(11,02)} = 0,22 \text{ cm} + \frac{0,31 \text{ cm} - 0,22 \text{ cm}}{18,27 - 8,49} \cdot (11,02 - 8,49) = 0,24 \text{ cm}$$

Bei der Verwendung der materialabhängigen Schwächungskurven (Abbildungen A1 und A2 in Anhang 1 dieser Wegleitung) ist der für den berechneten Schwächungsfaktor F entsprechende Wert auf der Kurve abzulesen (Wert auf x-Achse). Dieser Wert (d_p) ist durch die entsprechende Materialdichte ρ zu teilen, um die notwendige Dicke d zu erhalten.

Zulässige Ortsdosisleistungen

Tabelle 3 Auszug zulässiger Ortsdosisleistungen angepasst nach Anhang 2 UraM [5]

Nutzung des benachbarten Bereiches von Therapieziimmern	Zulässige Ortsdosisleistung in μSv/h (netto)	Bemerkungen
Allgemeines Patientenzimmer	0,1	Exposition nicht beruflich strahlenexponierter Personen während 168 h/Woche
Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume ausserhalb des Betriebsareals	0,1	Exposition nicht beruflich strahlenexponierter Personen während 168 h/Woche
nicht für Daueraufenthalt vorgesehene Orte ausserhalb des Spitals wie Grünflächen, Wege	0,5	Zeitlich begrenzte Exposition nicht beruflich strahlenexponierter Personen in nicht kontrollierbaren Bereichen.
Büro, Aufenthaltsräume innerhalb des Spitals	0,5	Exposition nicht beruflich strahlenexponierter Personen während 40 h/Woche (beruflich bedingter Aufenthalt).
Korridor innerhalb des Spitals, ausserhalb des Kontrollbereichs	2,5	Zeitlich begrenzte Exposition nicht beruflich strahlenexponierter Personen während der Ausübung der beruflichen Tätigkeit.
Korridor innerhalb des Kontrollbereichs	25	Zeitlich begrenzte Exposition beruflich strahlenexponierter Personen während der Ausübung der beruflichen Tätigkeit (kurzzeitiger Aufenthalt)
Therapiezimmer untereinander	25	Zugänglicher Ort innerhalb eines Arbeitsbereichs ohne spezielle Aufenthaltsbeschränkungen (alle Personen, welche sich regelmässig innerhalb des Therapiezimmers aufhalten wie z. B. Reinigungspersonal, gelten als beruflich strahlenexponiert und müssen dosimetriert werden). Ebenfalls Richtwert bei Mehrbettzimmern, d. h. einzuhaltender Richtwert an den häufigsten Aufenthaltsorten (Bett, Stuhl) bei gegenseitiger Bestrahlung durch die Patientinnen/Patienten.
Hinter fest eingerichteter Abschirmung am Patientenbett	25	Kurzzeitiger Aufenthalt beruflich strahlenexponierter Personen im Therapiezimmer während der Ausübung der beruflichen Tätigkeit.

Literaturverzeichnis/Referenzen

1. DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie) Radioiodtest (Version 4) Stand 10/2014, Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin, 2015
2. DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie) Radioiodtherapie bei benignen Schilddrüsenerkrankungen (Version 5) Stand 10/2015, Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin, 2015
3. DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie) Radioiodtherapie beim differenzierten Schilddrüsenkarzinom (Version 4) Stand 10/2015, Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin, 2015
4. Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501) vom 26. April 2017
5. Verordnung des EDI über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM, SR 814.554) vom 26. April 2017
6. Wegleitung: Zugang und Kennzeichnung von Kontrollbereichen und Zonen, www.bag.admin.ch/str-wegleitungen
7. The American Thyroid Association Taskforce on Radioiodine Safety, «Radiation Safety in the Treatment of Patients with Thyroid Diseases by Radioiodine I-131: Practice Recommendations of the American Thyroid Association» Thyroid, pp. 335–345, 5 April 2011.
8. Wegleitung: Dosimetrie beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen, www.bag.admin.ch/str-wegleitungen
9. Wegleitung: Wegleitung zur Erstellung von betriebsinternen Weisungen für den Strahlenschutz, www.bag.admin.ch/str-wegleitungen

Glossar

Kontrollbereich Der Kontrollbereich einer Therapiestation umfasst die Therapiezimmer, die durch Patientinnen und Patienten benutzten sanitären Einrichtungen, Vorbereitungs-, Applikations- und Lagerräume, welche der Lagerung radioaktiver Abfälle und kontaminierter Gegenstände dienen.

Kontamination, radioaktiv Verunreinigung eines Materials durch radioaktive Stoffe oberhalb des geltenden Kontaminationsrichtwertes nach Anhang 3 Spalte 12 StSV [4].

Therapiezimmer Zimmer zur Hospitalisierung von Patientinnen und Patienten, welchen zuvor radioaktive Stoffe zu therapeutischen Zwecken appliziert wurde.

Abfälle, radioaktiv Radioaktive Abfälle sind radioaktive Materialien, die nicht weiterverwendet werden und nicht nur NORM enthalten. Bei festen Abfällen gilt die Befreiungsgrenze (Anhang 3 Spalte 9 StSV [4]) in [Bq/g], eine Dosisleistung von mehr als 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ in 10 cm Abstand und eine maximale Kontamination über dem Richtwert (Anhang 3 Spalte 12 StSV [4]).

Rechtlicher Stellenwert

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

Anhang 1

Schwächungsfaktoren

Die Zahlen und Grafiken entstammen den Tabellen für die Schwächungsfaktoren von Photonenstrahlung der DIN 6844-3 2006-12

Tabelle A1 Schwächungsfaktoren von Photonenstrahlung für Blei

Blei ($\rho = 11 \text{ g/cm}^3$)		
Dicke (cm)	F für I-131	F für Lu-177
0.00	1.00	1.00
0.05	1.13	1.75
0.10	1.26	2.87
0.22	1.64	8.49
0.31	2.00	18.27
0.51	3.09	85.58
0.60	3.74	156.89
0.70	4.59	286.67
0.80	5.60	487.52
0.90	6.79	780.82
1.00	8.19	1197.00
1.10	9.80	1782.37
1.30	13.78	3770.60
1.50	18.86	7732.76
1.70	25.25	1.57E+04
2.00	37.74	4.48E+04
2.30	54.68	1.29E+05
3.00	122.10	1.51E+06
3.80	291.63	2.52E+07
5.00	1057.23	1.75E+09
6.00	3068.61	6.00E+10

Tabelle A2 Schwächungsfaktoren von Photonenstrahlung für Normalbeton

Normalbeton ($\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$)		
Dicke (cm)	F für I-131	F für Lu-177
0.0	1.00	1.00
0.5	1.00	0.96
1.0	0.99	0.95
2.0	1.00	0.97
4.0	1.06	1.14
6.0	1.21	1.45
8.0	1.43	1.93
10.0	1.77	2.68
12.0	2.23	3.81
14.0	2.87	5.51
16.0	3.75	8.13
18.0	4.96	12.11
20.0	6.64	18.23
22.0	8.94	27.66
24.0	12.15	42.27
28.0	22.79	100.49
34.0	60.32	381.88
42.0	228.59	2381.80
50.0	884.33	15295.90

Tabelle A3 Schwächungsfaktoren von Photonenstrahlung für Barytbeton

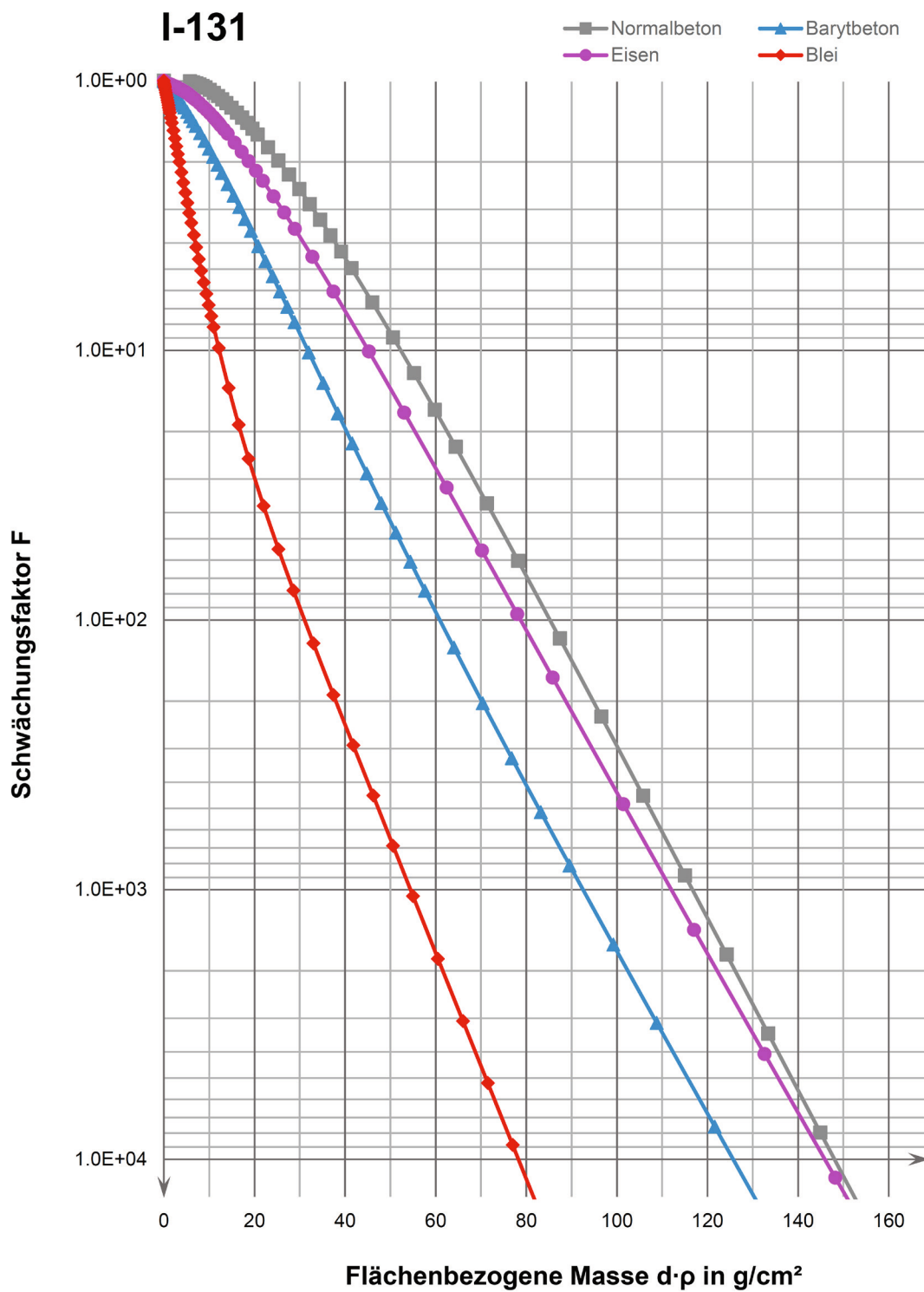
Barytbeton ($\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$)		
Dicke (cm)	F für I-131	F für Lu-177
0.0	1.00	1.00
0.5	1.09	1.61
1.0	1.17	2.21
2.0	1.41	4.04
3.1	1.79	7.76
4.0	2.20	13.30
6.0	3.61	45.07
8.0	6.05	148.22
10.0	10.19	455.93
12.0	17.12	1289.99
14.0	28.60	3358.18
15.0	36.87	5277.88
17.0	60.79	12522.38
20.0	126.41	4.30E+04
22.0	203.64	9.55E+04
24.0	325.33	2.11E+05
26.0	516.13	4.63E+05
28.0	814.07	1.02E+06
38.0	7562.01	5.21E+07
50.0	1.07E+05	6.16E+09

Tabelle A4 Schwächungsfaktoren von Photonenstrahlung für Eisen

Eisen ($\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$)		
Dicke (cm)	F für I-131	F für Lu-177
0.00	1.00	1.00
0.10	1.02	1.12
0.20	1.03	1.21
0.50	1.08	1.44
0.70	1.12	1.63
1.00	1.21	1.97
1.50	1.41	2.79
2.00	1.70	3.98
2.40	1.99	5.38
3.10	2.68	9.22
4.20	4.50	22.32
5.80	10.08	84.82
6.80	17.01	198.42
8.00	32.27	555.03
9.00	55.30	1308.44
10.00	95.00	3075.03
13.00	481.21	3.84E+04
15.00	1408.35	1.97E+05

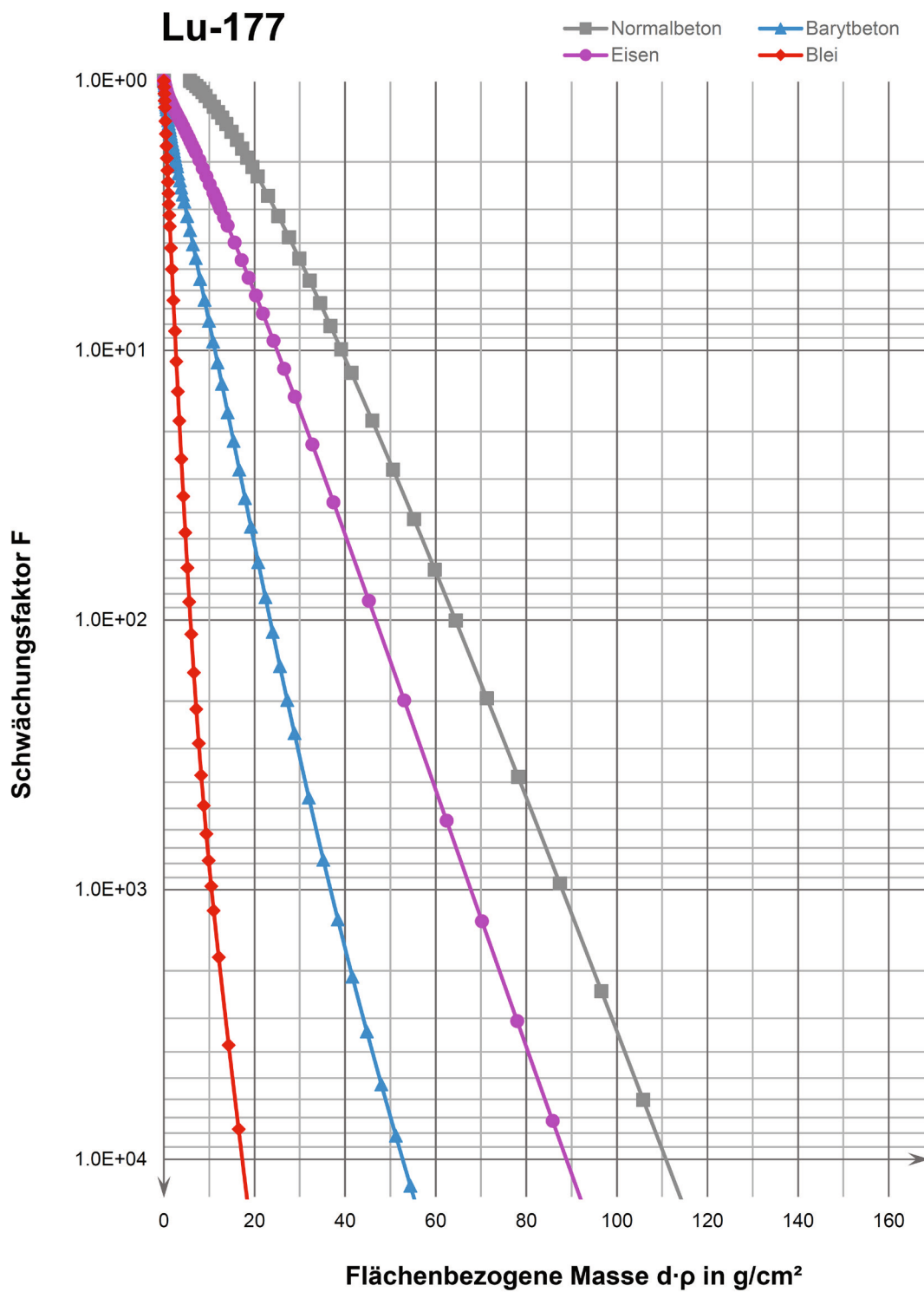
Anhang 1

Abbildung A1 Schwächungsfaktor F für I-131 als Funktion der Flächenbezogenen Masse des Abschirmmaterials d_p in g/cm^3



Anhang 1

Abbildung A2 Schwächungsfaktor F für Lu-177 als Funktion der Flächenbezogenen Masse des Abschirmmaterials $d \cdot \rho$ in g/cm^2



Interne Weisung für den Strahlenschutz

Die betriebsspezifische interne Weisung [9] für den Strahlenschutz regelt technische und operationelle Massnahmen im Strahlenschutz. In der Regel wird darin folgendes beschrieben:

1. Vorgehen bei der Abgabe radioaktiver Abfälle an die Umwelt (Abwasser, Kehrrecht)
 - Verantwortlichkeit/Zuständigkeit
 - verwendete Messgeräte und Messverfahren
 - Kriterien zur Freigabe (Einhaltung der Grenzwerte für Aktivität, Dosisleistung, Kontamination)
 - Protokollierung/Freigabeprozedur
2. Vorgehen zur Freimessung von Material und Einrichtungsgegenständen, Massnahmen bei der Entlassung der Patientinnen und Patienten
 - Verantwortlichkeit/Zuständigkeit
 - verwendete Messgeräte und Messverfahren
 - Kriterien zur Freimessung und Entlassung (Dosisleistung, Kontamination)
 - Zu protokollierende Grössen (vgl. 2.2.5–2.2.7)
 - Massnahmen bei erhöhter Kontamination von Material und Einrichtungsgegenständen
 - Umfang der Instruktion und Informationen für Patientinnen, Patienten und Angehörige
3. Verhalten bei Zwischenfällen mit offenen radioaktiven Stoffen und aussergewöhnlichen Ereignissen
 - Verantwortliche Personen und Erreichbarkeit
 - Vorgehensweise bei Kontaminationszwischenfällen
 - Massnahmen bei Personenkontamination
 - Massnahmen bei medizinischen Komplikationen bei Therapiepatientinnen und -patienten
4. Vorgehensweise und Verhaltensregeln für Patientinnen und Patienten beim kurzzeitigen Verlassen der Therapiezimmer, Regelung zum Verhalten für Besucherinnen und Besucher
 - Kriterien zum kurzzeitigen Verlassen des Therapiezimmers
 - Beschreibung der Massnahmen, mit welchen eine unzulässige Bestrahlung Dritter vermieden werden kann
 - Instruktion der Patientin/des Patienten
 - Kriterien für die Zulassung von Besucherinnen und Besuchern
 - Beschreibung der Massnahmen, mit welchen eine unzulässige Bestrahlung der Besucherinnen und Besucher ausgeschlossen werden kann
 - Instruktion zum Verhalten der Besucherinnen und Besucher