

## Schlussbericht

Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle  
Juli 2024

<https://www.bag.admin.ch/radabf>

## Kontakt

Tel.: 058 462 96 14

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

# Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle beim Umgang mit offenen radioaktiven Quellen

## Schlussbericht der BAG-Audits

### Zusammenfassung

Zwischen 2020 und 2024 führte das BAG rund 200 Audits über die Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle in Betrieben durch, die Umgang haben mit offenen radioaktiven Quellen in Medizin und Forschung. Dabei handelt es sich hauptsächlich um nuklearmedizinische Zentren, Forschungslabore und Betriebe mit Zyklotronen.

Die Herausforderungen in diesen drei Bereichen unterscheiden sich relativ stark. In der Nuklearmedizin haben die meisten der verwendeten Radionuklide eine sehr kurze Halbwertszeit, sodass in der Regel ein Abklingen innerhalb von zwei bis drei Tagen möglich ist. Abfälle werden daher meist nicht eingelagert, sondern nach dieser Abklingzeit kontrolliert und freigegeben. Nur Abfälle aus Therapien oder Spezialanwendungen erfordern eine längere Lagerung und somit eine entsprechend umfassende Organisation der Abfallbewirtschaftung. Obwohl der Umgang mit radioaktiven Abfällen in den nuklearmedizinischen Abteilungen meist unproblematisch ist und im Allgemeinen auch gut funktioniert, wurden von den Bewilligungsinhaberinnen nach den Audits häufig Verbesserungsmaßnahmen gefordert. Dabei sollten insbesondere die Dokumentation, die systematischen Kontrollen

aller Abfälle (insbesondere der Abfallbehälter, deren Inhalt als nicht radioaktiv betrachtet wird) und die Freimessung der Abfälle verbessert werden. Vereinzelt waren auch unkritische Problempunkte wie das Ansammeln von Abfällen oder Altlasten Gegenstand von Forderungen des BAG.

In Forschungslabors (Universitäten und Hochschulen) werden Radionuklide hauptsächlich in geringen Mengen und für einfache Anwendungen in Typ-C-Laboren verwendet (vor allem H-3, C-14, P-32, S-35 und U-nat). Einige Bewilligungsinhaberinnen führen komplexere Arbeiten mit Tieren, Pflanzen oder infektiösem Material durch, was die Abfallentsorgung etwas erschwert. Im Allgemeinen ist ein Rückgang der Verwendung dieser Anwendungen zu beobachten. Dies hängt vor allem mit der Umstellung auf neue Methoden und besseren Nachweismöglichkeiten zusammen. Angesichts der geringen Mengen und des vorsichtigen Umgangs der Verantwortlichen ist das Risiko für unzulässige Abgaben von Radioaktivität in diesen Betrieben sehr gering. Es wurden jedoch mehrfach Verbesserungen in Bezug auf die Sortierung der Abfälle direkt am Ort der Entstehung, die Dokumentation und eine regelmässige Überprüfung gefordert, um das Ansammeln von Abfall in den Lagerräumen zu vermeiden.

Ausserhalb der beiden grossen Forschungseinrichtungen PSI und CERN werden in der Schweiz fünf Zyklotrone betrieben. Diese Zyklotrone werden einerseits für die Herstellung von Radiopharmazeutika, andererseits für die Forschung eingesetzt. Die Abfallbewirtschaftung ist in diesen Betrieben komplexer als in der Nuklearmedizin und den kleineren Forschungslabors. Dies liegt einerseits an den aktivierten Materialien, die durch den Betrieb des Zyklotrons entstehen, andererseits an den Produktionsabfällen, die häufig mehrere Radionuklide enthalten. Zyklotrone erzeugen auch gasförmige Nuklide, die über die Luft abgegeben werden und eine Überwachung erfordern. Die Abgabe an die Umwelt, sowohl über die Luft als auch in Form von Feststoffen, ist im Allgemeinen sehr gut geregelt, sodass keine wesentlichen Probleme festgestellt wurden. Allerdings haben die meisten Bewilligungsinhaberinnen bis heute nur sehr wenige aktivierte Materialien entsorgt, sondern lediglich zwischengelagert; manchmal unter nicht optimal Bedingungen. Diesen Betrieben steht nun eine erhebliche Sortier-, Charakterisierungs- und Entsorgungsarbeit bevor, die seitens des BAG aufmerksam verfolgt werden sollte.

Die BAG-Audits haben keine gravierenden oder systematischen Probleme bei der Bewirtschaftung von radioaktiven Abfällen aus dem Umgang mit offenen radioaktiven Quellen aufgezeigt. Von den Nutzerinnen und Nutzern wurden jedoch eine Vielzahl punktueller Verbesserungen gefordert, damit ihre Abfallbewirtschaftung den gesetzlichen Anforderungen entspricht sowie unkontrollierte Abgaben an die Umwelt und die Entstehung künftiger radioaktiver Altlasten vermieden werden.



**Abbildung 1:** Lagerraum für radioaktiven Abfall

# Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	4
2 Gesetzliche Grundlagen und Vollzugshilfen	4
2.1 Grundlegende Prinzipien	5
3 Durchführung der Audits	7
4 Ergebnisse der Audits	8
4.1 Nuklearmedizin	8
4.2 Forschungslabors	11
4.3 Zyklotrone	13
4.4 Spezifische Themen	15
5 Erkenntnisse und Konsequenzen für die Aufsicht durch die Behörden	18
6 Allgemeine Schlussfolgerung	18

# 1 Einleitung

Nach dem Inkrafttreten der revidierten [Strahlenschutzverordnung \(StSV; SR 814.501\)](#) im 2018 haben sich mehrere Grundsätze für die Bewirtschaftung von radioaktiven Abfällen, und auch die Befreiungsgrenzen (LL) selbst geändert. Um die Einhaltung dieser neuen Bestimmungen zu überprüfen, führte das BAG eine Reihe von Audits bei allen Inhabern einer Bewilligung für den Umgang mit offenen radioaktiven Quellen in seinem Aufsichtsbereich (Medizin und Forschung) durch.

Eine verantwortungsvolle Bewirtschaftung beim Umgang mit offenen radioaktiven Quellen anfallenden der radioaktiven Abfälle ist entscheidend für den Schutz der Arbeitnehmenden, der Bevölkerung und der Umwelt. Zwischenfälle und un gerechtfertigte Expositionen müssen durch technische und organisatorische Massnahmen vermieden werden.

Bei jedem Umgang mit offenen radioaktiven Quellen entsteht radioaktiver Abfall. Die Verwendung solcher radioaktiven Stoffe kann in drei wesentliche Kategorien eingeteilt werden:

- **Nuklearmedizin:** Zubereitung von Radiopharmazeutika, welche Patientinnen und Patienten als sogenannte Tracer (bildgebende Diagnostik) oder als therapeutische Mittel appliziert werden.
- **Forschungslabors:** Verwendung von Radioisotopen als Tracer, hauptsächlich im Rahmen von In-vitro-Experimenten in verschiedenen Bereichen der Biologie, Chemie oder bei Tierversuchen.
- **Zyklotrone:** Ein Teil der Radiopharmazeutika wird in der Schweiz direkt in Zyklotronen durch Beschuss von festen oder flüssigen Targets hergestellt. Anschliessend erfolgt eine Synthese, um reine Radiopharmazeutika für den Versand an verschiedenen Anwender (z. B. Spitäler) zu erhalten. Diese Zyklotrone werden auch für Forschung genutzt.

Die verschiedenen Anwendungen unterscheiden sich stark, sowohl in Bezug auf die eingesetzten Mengen als auch auf die Komplexität der Abfallbewirtschaftung. Die Abfallbewirtschaftung in einem kleinen nuklearmedizinischen Institut, in welchem ein bis zwei Radionuklide verwendet werden, ist nicht dieselbe wie in einem Universitätsspital, das täglich mit einem Dutzend verschiedener Radionuklide umgeht und über Therapiezimmer und Sammel tanks für radioaktive Abwässer (Abkling tanks) verfügt. Ähnlich verhält es sich in der Forschung: Einige Labors arbeiten mit Aktivitäten unterhalb der Bewilligungsgrenze LA und mit einem einzigen Radionuklid mit kurzer Halbwertszeit, während andere bei komplexen Experimenten grosse Mengen an Radioaktivität handhaben.

Die vom BAG durchgeführten Audits zielten auf eine umfassende Prüfung aller Arten der Nutzung ab und deckten die gesamte Abfallbewirtschaftung ab, von der Produktion (Produktreste, verunreinigtes Material, Aktivierung usw.) bis zur Entsorgung. Die wichtigsten Schritte waren:

- Abfallerzeugung
- Charakterisierung und Trennung (zwischen radioaktiven und nicht radioaktiven Abfällen).
- Lagerung (kurz- oder langfristig)
- Entsorgung (Abgabe, Freimessung oder Ablieferung als radioaktiver Abfall)

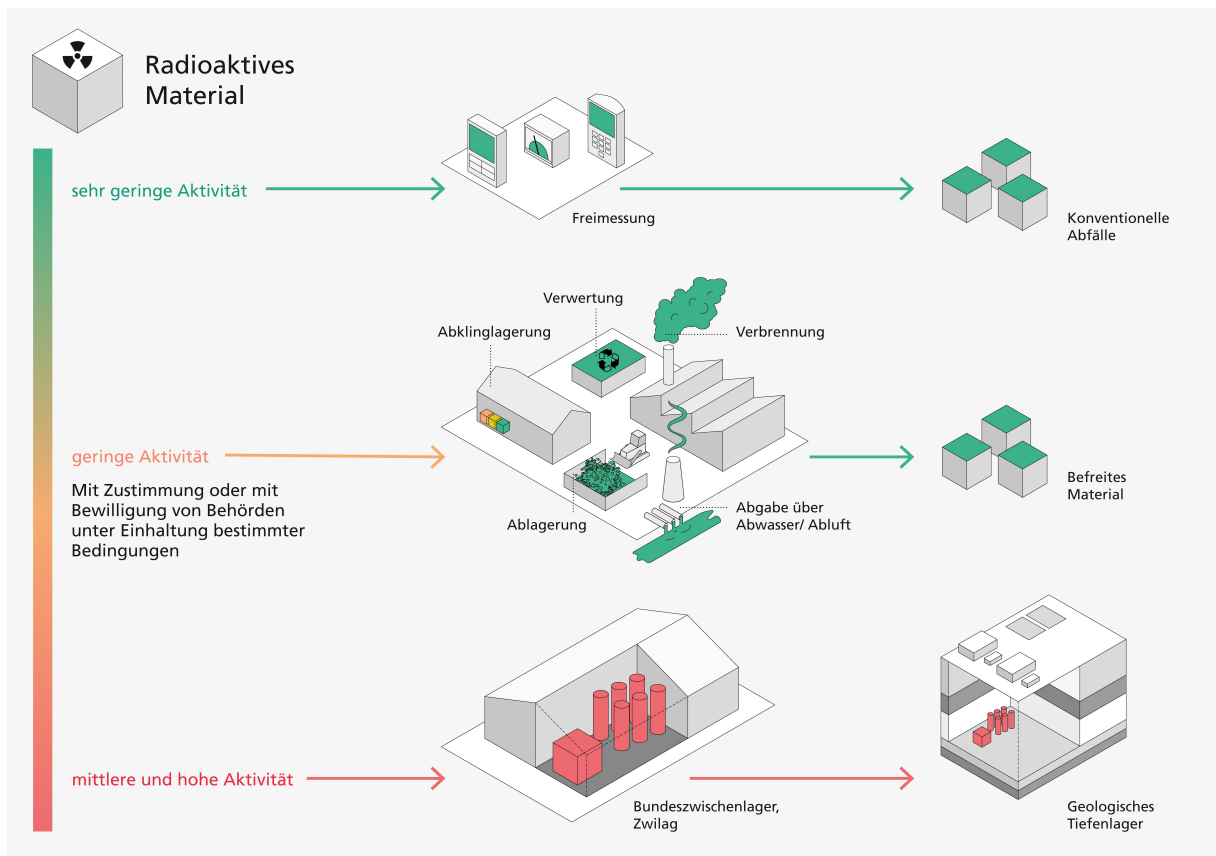
Bei allen Schritten bewertete das BAG die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften, den Schutz der Arbeitnehmenden und der Bevölkerung sowie die Aspekte der Ausbildung, Qualitätssicherung, Methodik, Dokumentation etc.

## 2 Gesetzliche Grundlagen und Vollzugshilfen

Die Grundlagen für den Umgang mit radioaktiven Abfällen sind in erster Linie im [Strahlenschutzgesetz \(StSG; SR 814.50\)](#) geregelt. Darin ist insbesondere die Pflicht zur Abfallminimierung und zur Minimierung der Abgabe von radioaktiven Abfällen an die Umwelt festgelegt. In der Schweiz erzeugte radioaktive Abfälle dürfen nur in der Schweiz entsorgt werden. Das Paul Scherrer

Institut (PSI) betreibt die Sammelstelle des Bundes für alle radioaktiven Abfälle, die nicht aus dem Bereich der Kernenergie stammen.

Die verschiedenen Entsorgungswege für radioaktive Abfälle sind in der StSV festgelegt und in der folgenden Grafik zusammengefasst.



**Abbildung 2:** Entsorgungswege für radioaktives Material in der Schweiz.

Weitere Anforderungen sind in der [Verordnung über den Umgang mit radioaktivem Material \(UraM; 814.554\)](#) festgelegt, beispielsweise bezüglich Lagerung oder baulicher Massnahmen.

Auf der Website des BAG sind Erläuterungen zur gesamtheitlichen Bewirtschaftung von radioaktiven Abfällen verfügbar: [Entsorgung radioaktiver Abfälle](#).

Als Vollzugshilfe hat das BAG eine Wegleitung veröffentlicht, in der die Anforderungen und typischen Entsorgungswege festgelegt sind: [«Entsorgung radioaktiver Abfälle in Betrieben»](#).

## 2.1 Grundlegende Prinzipien

### Was ist radioaktiver Abfall?

Radioaktive Abfälle sind radioaktive Materialien, die nicht mehr verwendet werden und nicht nur NORM<sup>1</sup> enthalten (Art. 108 StSV).

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Quellen besteht immer die Gefahr einer Kontamination. Deshalb findet diese Art der Handhabung in so

genannten Arbeitsbereichen statt (Labors des Typs A, B oder C). Arbeitsbereiche werden manchmal zu Kontrollbereichen zusammengefasst oder bilden selbst den Kontrollbereich. Jegliches Material, das einen Kontrollbereich verlässt, wird aufgrund des Kontaminationsrisikos bis zum Beweis des Gegenteils als radioaktiv betrachtet. Daraus folgt, dass jegliches Material, das als radioaktiv identifiziert wurde oder aus einem Kontrollbereich stammt, als radioaktiv behandelt werden muss. Wenn dieses Material nicht mehr verwendet wird, kann es nach einem festgelegten Verfahren befreit oder als radioaktiver Abfall eingestuft werden. Bei einigen Materialien ist klar, dass sie nicht mehr verwendet werden (Verbrauchsmaterial, Laborabfälle usw.). In anderen Fällen ist die Frage, ab wann ein Gegenstand oder Material zu Abfall wird, schwieriger zu beantworten (Teile von Beschleunigern, wiederverwendbares Material). Ohne ein klares Vorhaben zur Wiederverwendung wird eine Frist von maximal drei Jahren gewährt, nach deren Ablauf der Gegenstand oder das Material als Abfall gilt und entsorgt werden muss.

<sup>1</sup> Natürlich vorkommende radioaktive Materialien (NORM): Materialien mit natürlich vorkommenden Radionukliden, die aber keine künstlichen radioaktiven Stoffe enthalten (Art. 2, Bst. h StSV).

## Hierarchie der Entsorgungswege

Das StSG definiert die Pflicht zur Abfallminimierung. Ebenso müssen die Dosen für das Personal, die Umwelt und die Bevölkerung minimiert werden, sowie die finanzielle oder soziale Belastung für zukünftige Generationen und die Gesellschaft im Allgemeinen. Daraus lässt sich eine Hierarchie der Entsorgungswege ableiten:

1. *Minimierung an der Quelle:* Abfall lässt sich am besten minimieren, indem man ihn gar nicht erst produziert. Daher soll die Nutzung von Radioaktivität bereits in der Planungsphase eines Projekts minimiert und die eingesetzte Aktivität auf das tatsächlich erforderliche Mass beschränkt werden (z. B. entsprechend den Nachweisgrenzen der Analysegeräte). Zudem sollte die Menge an kontaminierbaren (Verbrauchs-)Materialien auf das absolute Minimum beschränkt werden. In Situationen, in welchen mit Aktivierung gerechnet werden muss, kann die Wahl der Materialien und deren Platzierung entscheidend sein. Die konsequente Materialtriage bei Experimenten durch die Nutzer verhindert die Vermischung von nicht kontaminiertem Material mit radioaktivem Abfall.
2. *Abklingen:* Zu den grossen Vorteilen der Radioaktivität gehört, dass sie mit der Zeit abnimmt. Die StSV schreibt eine Abklinglagerung für alle Abfälle mit Radionukliden vor, deren Halbwertszeit 100 Tagen oder weniger beträgt. Dies trifft auf die meisten in Nuklearmedizin und Forschung eingesetzten Nuklide zu (Tc-99m, F-18, P-32, S-35 usw.). Für Nuklide mit einer längeren Halbwertszeit ist eine langfristige Abklinglagerung erforderlich. Diese kann von den Aufsichtsbehörden für bis zu 30 Jahre bewilligt werden, wenn die Bedingungen und die Infrastruktur dies zulassen (Zustimmung erforderlich). Die Abklinglagerung ermöglicht eine Volumenminimierung und reduziert die Auswirkungen der radioaktiven Abfälle auf die Bevölkerung und die Umwelt.
3. *Abgabe an die Umwelt oder geologische Tiefenlagerung:* Nicht freimessbare Abfälle (mit oder ohne Abklinglagerung), können in gewissen Fällen an die Umwelt abgegeben werden, wenn sie bestimmte Kriterien erfüllen und ihre Aktivität gering genug ist. Andernfalls müssen sie als radioaktiver Abfall an die Sammelstelle des Bundes abgeliefert werden, wo sie konditioniert und für die spätere Einlagerung in einem geologischen Tiefenlager zwischengelagert werden<sup>2</sup>. Obwohl dieser Entsorgungsweg auf den ersten Blick

als die umweltfreundlichste Variante erscheint, ist dies nicht immer der Fall. Insbesondere der enorme Aufwand, der mit der Konditionierung, der jahrzehntelangen Zwischenlagerung und dem Bau eines geologischen Tiefenlagers verbunden ist, muss beachtet werden. Bei der Tiefenlagerung zählt zudem jeder Kubikmeter. Für Abfälle, welche die Kriterien für eine Abgabe an die Umwelt erfüllen und deren Aktivität gering ist, stellt dies in manchen Fällen die bessere Lösung dar. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die heute vorhandene Aktivität lange vor der Inbetriebnahme des Tiefenlagers, die für die 2050er Jahre angestrebt wird, abgeklungen ist, oder wenn die spezifische Aktivität der Radionuklide sehr gering, das Abfallvolumen aber sehr gross ist.

## Befreiung

Die Freimessung ist ein wesentlicher Teil der Abfallbewirtschaftung. Sie erlaubt es festzustellen, ob ein Material nicht (oder nicht mehr) als radioaktiv gilt. Jegliches Material, das aus einem Kontrollbereich stammt, muss einer Freimessung unterzogen werden. In vielen Fällen kann diese durch eine einfache und schnelle Messung (z. B. mit einem Kontaminationsmonitor) erfolgen. In manchen Fällen ist die Messmethode weniger offensichtlich, insbesondere für schwer messbare Nuklide wie H-3 oder für Nuklidgemische, die durch eine Aktivierung entstanden sind.

Eine gute Planung der Tätigkeiten (Planung, Sortierung bereits an der Quelle) ist entscheidend, um die Freimessung so einfach wie möglich zu gestalten. Insbesondere sollte darauf geachtet werden, dass die Verwendung unterschiedlicher Nuklide sowohl zeitlich als auch räumlich getrennt erfolgt (Experimente an verschiedenen Tagen, dedizierte Kapellen usw.). Eine Befreiung von gemischtem Material ist viel komplexer und erfordert weitaus mehr Ressourcen als eine konsequente Sortierung zu Beginn. Dasselbe gilt für Räume und Flächen. Ein Kontrollbereich kann erst nach einer Freimessung und Freigabe durch die Aufsichtsbehörde für andere Zwecke genutzt werden. Die Freimessung eines Raumes, bei welchem die Vorgeschichte und die verwendeten Nuklide genau bekannt sind, ist viel einfacher als die eines Raumes mit unbekannter potenzieller Kontamination. Es ist daher entscheidend, die Rückverfolgbarkeit bei der Verwendung von offenen radioaktiven Quellen in Kontrollbereichen jederzeit sicherzustellen.

---

<sup>2</sup> Die angelieferten Abfälle werden nicht nach möglicher Abklinglagerung oder Befreiung sortiert. Sie werden konditioniert und am PSI gelagert. Eine spätere Sortierung oder Rückgewinnung wäre nur mit erheblichem Aufwand möglich.

### 3 Durchführung der Audits

Die ersten Audits des BAG wurden im Jahr 2020 durchgeführt, die letzten im Jahr 2024. Um die Ressourcen der auditierten Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber sowie der Inspektoren zu optimieren, wurden die Audits basierend auf der in den Betrieben vorhandenen Dokumentation vorbereitet. Die Betriebe wurden vor dem Audit gebeten, ihre internen Weisungen zur Abfallbewirtschaftung sowie eine oder mehrere

Übersichtstabellen über ihre Abfallbewirtschaftung nach Abfalltypen vorzulegen (Abbildungen 3 und 4). Diese Unterlagen ermöglichten es den Inspektoren, sich im Vorfeld über die von den Betrieben angewandten Methoden zu informieren und sich während des Audits auf die relevanten Fragen zu konzentrieren, ohne Zeit für das aufwändige Studium der Unterlagen aufwenden zu müssen.

<b>Abfallart:</b>	Beschreibung der Abfälle (Nuklid, physischer Zustand oder Eigenschaften), eine Tabelle pro Abfalltyp ausfüllen				
<b>Labor:</b>	Name oder ID des Labors				
<b>BewilligungsID</b>	XX-XXXX-XX-X, A-XXXX-XX				
	<b>Labor / Betrieb</b>	<b>Lagerung</b>		<b>Entsorgung</b>	
<b>Charakterisierung:</b>		<b>Raumbez.:</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Verantwortung:</b>	<b>Verantwortliche Person für die Abgabe</b>
<b>Messgerät:</b>	Welche Messgeräte werden dazu benutzt (Modell, Typ)	<b>Verantwortung:</b>	Verantwortlich für die Lagerung	<b>Entsorgungsweg:</b>	Ablauf, Abwasser, feste Abfälle, Verbrennungsanlage
<b>Verantwortung:</b>	Wer triagiert den rad. Abfall im Labor?	<b>durchschnittliche Verweilzeit:</b>	<b>durchschnittliche Lagerzeit der Abfälle</b>	<b>Abgabeort:</b>	Ausguss, Kehricht, Abwasserkontrollanlage
<b>Abfalltrennung:</b>	Wie werden die rad. Abfälle im Labor separiert (Behältnis, Beschriftung)	<b>Behälter:</b>	verwendeter Lagerbehälter	<b>Charakterisierung / Befreiung:</b>	
<b>Inventarisierung / Rückverfolgung:</b>	Informationsübergabe: Abfalltyp, Produzent, Aktivität, sonst. Wichtige Parameter	<b>Bem.:</b>		<b>Messgerät:</b>	Welcher Instrumententyp oder -Modell wird benutzt.
<b>Bem.:</b>	Beschreibung der Charakterisierung oder andere wichtige Etappen im Labor			<b>Bem.:</b> Beschreibung der Abgabeart und dessen Dokumentation	

Abbildung 3: Abfalltabelle, wie sie vor einem Audit an die Betriebe verteilt wurde.

<b>Abfallart:</b>	H-3 wässrig				
<b>Labor:</b>	Labor 35, Gruppe Muster				
<b>BewilligungsID</b>	XX-XXXX-XX-X, A-XXXX-XX				
	<b>Labor / Betrieb</b>	<b>Lagerung</b>		<b>Entsorgung</b>	
<b>Charakterisierung:</b>	Berechnung	<b>Raumbez.:</b>	Abfallraum U245	<b>Verantwortung:</b>	Hans Muster, Sachverständiger
<b>Messgerät:</b>	keine Messung, Quantifizierung durch Ausgangsaktivität	<b>Verantwortung:</b>	Hans Muster	<b>Entsorgungsweg:</b>	Abgabe ans Abwasser 10 kg x LL pro Woche (Art. 111 Abs.4)
<b>Verantwortung:</b>	Laborpersonal	<b>durchschn. Verweilzeit:</b>	2-3 Monate	<b>Abgabeort:</b>	Ausguss im Abfallraum
<b>Abfalltrennung:</b>	Kanne mit "H-3 flüssig" beschriftet	<b>Behälter:</b>	Lagerung in Kanne mit Aufwangeanne	<b>Charakterisierung / Befreiung:</b>	Berechnung
<b>Inventarisierung / Rückverfolgung</b>	Verbrauchsprotokoll, Datierung	<b>Bem.:</b>		<b>Messgerät:</b>	
<b>Bem.:</b>	Bei jedem Versuch wird Datum und Verbrauch protokolliert. Ist die Kanne gefüllt, wird die Summe der Aktivitäten berechnet und auf der Abfallkette vermerkt. Gefüllte Kannen werden im			<b>Bem.:</b> Zulässige Abgabeaktivität wird aufgrund des Verbrauchsprotokoll festgelegt	

Abbildung 4: Beispiel einer ausgefüllten (anonymisierten) Abfalltabelle.

Für die Durchführung der Audits wurde ein Auditprotokoll erarbeitet, welches alle relevanten Aspekte abdeckt. Es enthielt im Wesentlichen die folgenden Punkte:

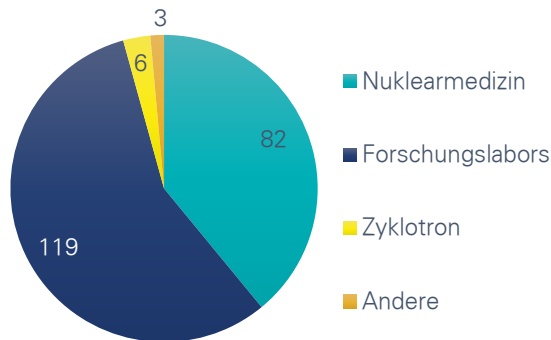
- Allgemeine Fragen: Erfassung der Tätigkeiten des Betriebs
- Organisatorische Fragen: Bewilligung, interne Weisungen usw.
- Organisation der Abfallbewirtschaftung: Zuständigkeiten, Methoden, Rückverfolgbarkeit, Freimessung usw.
- Umgang mit ambulanten PatientInnen: Kontaminationskontrollen, stationäre Aufnahme von PatientInnen der Nuklearmedizin in andere Abteilungen, Abfallbewirtschaftung...
- Umgang mit stationären PatientInnen (Therapien): Bewirtschaftung der Patientenzimmer und der von den PatientInnen verursachten Abfälle, Abwassersammlung usw.
- Schutz des Personals: Dosimetrie, Kontaminationskontrolle, Reinigungspersonal, Zugang, interner Transport usw.

- Abfalllagerung: bauliche Anforderungen, Inventar, Abklinglagerung, weitere Gefahren
- Abfallentsorgung: Verschiedene Entsorgungswege, Abläufe und Qualitätssicherung.

Je nach Betrieb wurden bestimmte Themen nicht behandelt oder andere spezifische Themen hinzugefügt. Nach dem Audit erhielt jeder Betrieb einen detaillierten Bericht. Bei Mängeln oder Bereichen mit Verbesserungspotential wurden Auflagen zuhanden der Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber mit Fristen von üblicherweise ein bis drei Monaten erteilt, abhängig von der Schwere und der Komplexität der Umsetzung. Die Erfüllung der Auflagen musste dem BAG schriftlich nachgewiesen werden. Das BAG entschied dann, ob ein Folgeaudit erforderlich war oder nicht. In seltenen Fällen erforderten umfangreichere Nachbesserungen eine regelmässige, längerfristige Nachverfolgung durch das BAG bis zur Erfüllung.

## 4 Ergebnisse der Audits

Zwischen 2020 und 2024 hat das BAG mehr als 200 Abfallaudits durchgeführt. Die folgende Grafik fasst die Anzahl der betroffenen Bewilligungen zusammen.



**Abbildung 5:** Anzahl Bewilligungen für die verschiedenen Anwendungsbereiche von offenen Quellen

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden rund 90% der Bewilligungen auditiert. Einige Audits sind aus organisatorischen Gründen noch ausstehend (Umsätze, Bauarbeiten vor Ort usw.), einige Betriebe werden nicht auditiert (kürzlich durchgeführtes Audit, keine Erzeugung von Abfall oder ähnliches).

Die Ergebnisse der Audits werden nachfolgend zusammenfassend dargelegt. Die Konformität der praktischen Umsetzung der einzelnen bei den Audits angesprochenen Themen wird in den Berichten als in «In Ordnung», «Teilweise erfüllt» und «Nicht erfüllt» klassifiziert.

Die festgestellten Abweichungen sind jedoch sehr vielfältig und reichen von einem zu aktualisierenden Datum in einer internen Weisung bis hin zu groben Fehlern bei der Klassifizierung. Der Schweregrad einer Abweichung wurde in den Bemerkungen und Auflagen in den einzelnen Berichten näher erläutert. Eine Darstellung der Anzahl der Abweichungen bei einem bestimmten Thema gibt daher nur wenig Aufschluss über den tatsächlichen Schweregrad der Abweichungen. Die Zahlenangaben beschränken sich daher auf einzelne aussagekräftige Indikatoren.

### 4.1 Nuklearmedizin

In der Nuklearmedizin hat das BAG 48 Spitäler, Kliniken und Institute mit insgesamt über 70 Bewilligungen auditiert. Einige Betriebe umfassen mehrere Abteilungen (Nuklearmedizin, Rheumatologie usw.) und verfügen daher über mehrere Bewilligungen. 15 Spitäler und Kliniken verfügen ausserdem über Therapiezimmer.



**Abbildung 6:** PET-CT in einer nuklearmedizinischen Abteilung

Im Bereich der Nuklearmedizin wird hauptsächlich mit radioaktiven Produkten mit kurzen Halbwertszeiten gearbeitet, sodass die Abfallentsorgung dank der kurzen Abklingzeit relativ einfach ist. Probleme bei der Charakterisierung und der Lagerung können jedoch auftreten, wenn Verunreinigungen mit längeren Halbwertszeiten vorhanden sind. Dies ist insbesondere der Fall bei:

- Lu-177m als Verunreinigung in Lu-177
- Ac-227 als Verunreinigung in Ra-223
- verschiedenen Eu- und Ba-Isotopen in Sm-153.

In den auditierten Betrieben wurden keine schwerwiegenden Mängel festgestellt, und abgesehen von Einzelfällen, die hauptsächlich die Freimessung von Material betrafen, wird der Abfall aus nuklearmedizinischen Abteilungen gut bewirtschaftet. In zwei Dritteln der Abteilungen wurden jedoch Verbesserungen der internen Weisungen gefordert. Da die Abfallbewirtschaftung in der Nuklearmedizin relativ einfach ist, wird sie häufig nur unzureichend dokumentiert.

Es wurde festgestellt, dass einige Abteilungen nicht systematisch den gesamten Abfall aus den Kontrollbereichen überprüften. Während die Abfälle aus den Labors ziemlich konsequent kontrolliert werden, werden die für als «sauber» (nicht radioaktiv) geltendes Material vorgesehenen Abfallbehälter nicht immer einer Freimessung unterzogen, wie es eigentlich der Fall sein sollte (z. B. Abfallbehälter im Gang oder in den Untersuchungsräumen). Mehrere derartige Vorkommnisse haben in der Vergangenheit bereits zu Alarmen in Kehrlichtverbrennungsanlagen geführt.





**Abbildung 7:** Abgeschirmte Behälter für die aktivsten Abfälle in der Nuklearmedizin

Ein wiederkehrendes Problem hängt mit der stationären Aufnahme von Patientinnen und Patienten nach einer nuklearmedizinischen Untersuchung oder Therapie zusammen. Patientinnen oder Patienten, die nach einer nuklearmedizinischen Untersuchung in anderen Abteilungen des Spitals stationär aufgenommen werden, bleiben je nach Art der Untersuchung oder Therapie für einen Zeitraum von einigen Stunden bis zu einigen Tagen radioaktiv; gleiches gilt für ihre Körperflüssigkeiten (Blut, Urin). Da diese Personen die nuklearmedizinische Abteilung nach der Untersuchung verlassen, wird Material, welches mit diesen Flüssigkeiten verunreinigt ist, nicht unbedingt kontrolliert. Dies führt regelmässig zu Alarmen mit Spitalabfällen in den Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), die inzwischen alle mit Portalen zur Messung der Radioaktivität an Einfahrten ausgestattet sind. Das verunreinigte Material unterliegt jedoch nicht der Freimesspflicht wie in einem Kontrollbereich und fällt auch bei Patientinnen und Patienten an, die nach einer metabolischen Therapie mit I-131 oder Lu-177 nach Hause gehen.

Es müssen dennoch angemessenen Massnahmen ergriffen werden, um diese radioaktiven Abgaben zu begrenzen, da sie in den KVAs Alarme und Kosten verursachen. Eine gute Praxis im Spital, die auch die Exposition des Personals anderer Abteilungen, insbesondere schwangerer Frauen, begrenzt, besteht darin, die betroffenen Abteilungen zu informieren und möglicherweise verunreinigtes Material einzusammeln. In den Betrieben

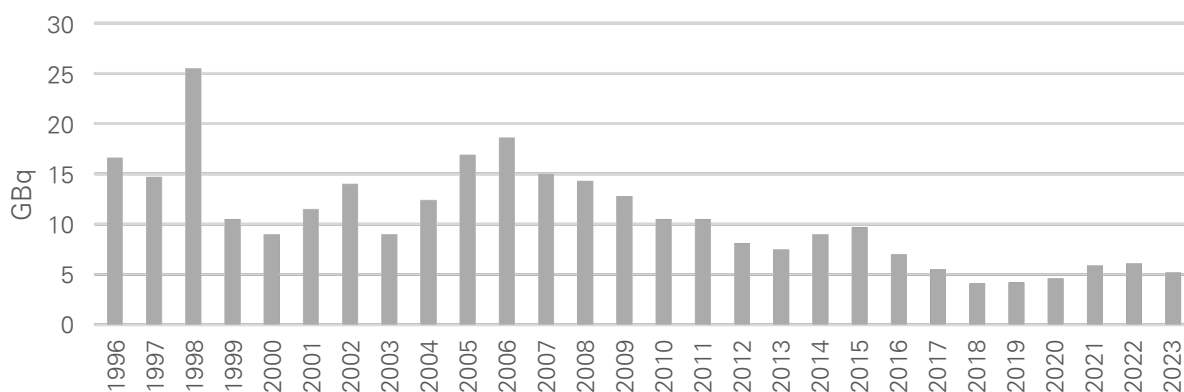
wurden verschiedene Massnahmen ergriffen, um eine korrekte Informationsweitergabe zwischen den verschiedenen Abteilungen zu gewährleisten. Das Endergebnis hängt jedoch von vielen Faktoren ab, und die Umsetzung der Massnahmen ist in einem Spital nicht immer einfach. Die Information, dass eine Patientin oder ein Patient eine nuklearmedizinische Untersuchung oder Therapie erhalten hat, wird nicht systematisch aufgezeichnet und den anderen Abteilungen bekannt gemacht.

Um Alarme in KVA zu vermeiden haben einige Spitäler ihre eigenen Messanlagen installiert, um den gesamten Abfall des Spitals auf Radioaktivität zu überprüfen. So kann Abfall, der Alarm auslöst, zur Abklinglagerung aussortiert werden.

In einigen Fällen wurde ein Defizit bei der Überprüfung von Arbeitsbereichen auf Kontamination festgestellt, wenn die Räumlichkeiten für andere Aufgaben freigegeben werden. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn der CT einer Hybridanlage für andere Zwecke verwendet wird (Diagnose oder Simulation bei radioonkologischen Therapien) oder um dem Reinigungspersonal, das nicht beruflich strahlenexponiert ist, die Arbeit zu ermöglichen. In solchen Fällen muss immer eine Kontaminationskontrolle des Raumes durch qualifiziertes Personal durchgeführt werden, bevor der Zugang freigegeben wird. In einigen Betrieben wurde diese Kontrolle nicht so durchgeführt, wie es die Vorschriften verlangen.

In den Therapieziimmern ist die Bewirtschaftung der Abfälle und Kontaminationen eine wichtige und wiederkehrende Aufgabe, welche im Allgemeinen gut geregelt ist. In einigen Betrieben wurde ein Platzmangel bei der Lagerung festgestellt, da das Abfallvolumen aufgrund der steigenden Anzahl an Therapien, insbesondere mit Lu-177, zugenommen hat. Das Vorhandensein von Lu-177m in einigen Produkten (*carrier added Lu-177*) verlängert zudem die Abklingzeit bis zu einer möglichen Entsorgung, wodurch sich das benötigte Lagervolumen zusätzlich erhöht. An mehreren Standorten ist daher eine Erhöhung der Lagerkapazitäten erforderlich.

Die Abgaben an das Abwasser (Duschen, WCs) aus Therapieziimmern sind relativ hoch (Abbildung 8), die Bewirtschaftung ist insgesamt aber zufriedenstellend. Es kommt allerdings immer noch zu häufig zu unerwünschten Abgaben von Abwasser aus Abklingtanks. Eine systematische Überprüfung der Abwasseranlagen sowie der internen Abläufe ist daher weiterhin erforderlich. Der Umgang mit kontaminiertem Material aus Therapieziimmern ist im Allgemeinen sehr professionell und gut etabliert.



**Abbildung 8:** Abgaben von I-131-Äquivalent an das Abwasser in der Schweiz in GBq



**Abbildung 9:** Abwasserkontrollanlage für Therapieziimmer

In Bezug auf die Abfallentsorgung wurde vor allem in grösseren Zentren festgestellt, dass gewisse Abfälle nicht innerhalb der vorgeschriebenen Frist (max. 3 Jahre) entsorgt, sondern mangels eines einfachen und klar definierten Entsorgungswegs eingelagert wurden. Dabei handelt es sich insbesondere um Generatoren (z. B. Rubidium), die noch langlebige Verunreinigungen enthalten, oder um nicht charakterisiertes Material, das seit mehreren Jahren ohne Angaben zur Herkunft oder zum Inhalt lagert. Den betroffenen Betrieben wurde eine Frist zur Entsorgung dieser Abfälle gesetzt und sie müssen Massnahmen ergreifen, um eine Wiederholung einer solchen Situation zu verhindern. Das BAG unterstützt die

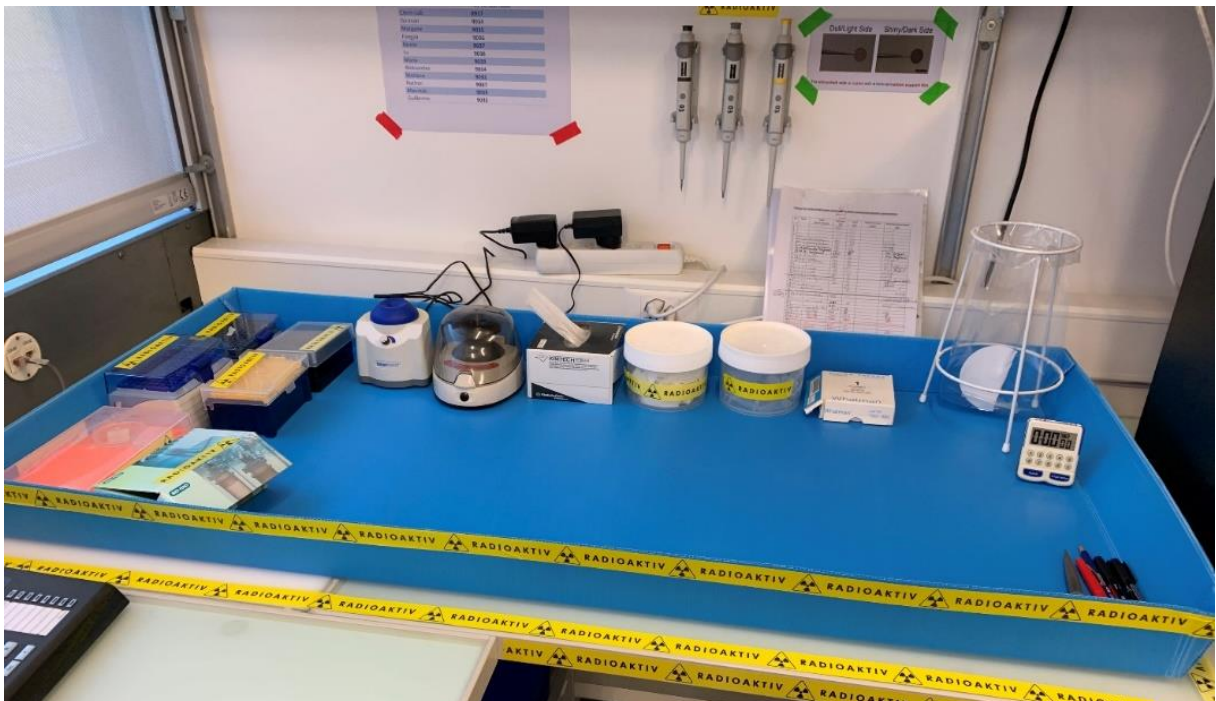
Betriebe ausserdem bei der Suche nach Lösungen, um die Charakterisierung der Materialien zu erleichtern und potenzielle Entsorgungswege zu finden.

Die Bewirtschaftung und Entsorgung von geschlossenen Quellen, die zur Kalibrierung von Bildgebungssystemen verwendet werden und regelmässig ausgewechselt werden müssen, war nicht in allen Institutionen klar geregelt. Die meisten dieser Quellen können innerhalb eines angemessenen Zeitraums zum Abklingen gelagert werden (z. B. Co-57, Ge-68). Wenn die Betriebe dies vor Ort tun möchten, ist die Etablierung eines zuverlässigen Inventarisierungs- und Monitoringsystems unerlässlich, damit die Quellen nicht vergessen werden und die Informationen nicht verloren gehen. Quellenlieferanten bieten auch die Rücknahme dieser Quellen an, die dann zum Abklingen in speziellen Einrichtungen gelagert werden, was eine bessere Kontrolle und Nachverfolgung dieser Abfälle ermöglicht. Es ist zu beachten, dass jeder Quellenwechsel innerhalb von zwei Wochen den Behörden über das Bewilligungsportals RPS gemeldet werden muss. Dabei muss auch die Bewilligungsnummer des Abnehmers angegeben werden. Das BAG nutzte die Abfallaudits, um die Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber an diese neue Verpflichtung und die geltenden Verfahren zu erinnern (siehe Kap.4.4).

**Zusammenfassend** lässt sich festhalten, dass die Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle in den nuklearmedizinischen Abteilungen wenig problematisch und insgesamt gut gewährleistet ist. In einigen Betrieben waren Verbesserungen bei der Dokumentation und der Systematik der Kontrollen und Freimessungen notwendig; einzelne, nicht kritische Problembereiche erfordern die Aufmerksamkeit der Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber und des BAG. Ein Beispiel ist die Nachverfolgung und Entsorgung der Abfälle von Patientinnen und Patienten, nachdem diese die nuklearmedizinische Abteilung verlassen haben, insbesondere nach einer Therapie.

## 4.2 Forschungslabors

Offene radioaktive Quellen werden in vielen Labors an Universitäten und Fachhochschulen verwendet. An den Fachhochschulen (FH) sind diese Tätigkeiten jedoch eher selten und betrifft nur einzelne Fachrichtungen. Universitätsspitäler verfügen ebenfalls häufig über Forschungslabors, in welchen mit offenen radioaktiven Quellen gearbeitet wird.



**Abbildung 10:** Forschungslabor und Verwendungsort von Isotopen

Insgesamt führte das BAG in 26 Betrieben Audits zur Abfallbewirtschaftung durch, was etwa 120 Bewilligungen und Labors entspricht. In grossen Betrieben können Dutzende von Labors in verschiedenen Abteilungen untergebracht sein, in der eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeiten durchgeführt werden. Es kann sich dabei sowohl um kleine Labors handeln, in denen gelegentlich mit geringen Mengen an Radioaktivität gearbeitet wird, als auch um grössere Labors, in denen täglich mit grossen Mengen an verschiedenen Radionukliden umgegangen wird.

Die am häufigsten verwendeten Nuklide sind S-35, P-32, H-3 und C-14, aber auch U-nat, insbesondere für die Elektronenmikroskopie. Insgesamt ist ein deutlicher Rückgang der Verwendung von Radioaktivität an Universitäten zu beobachten, was zum einen mit dem Aufkommen alternativer Technologien ohne Radioaktivität zusammenhängt, zum anderen mit der Verbesserung der Nachweismethoden,

insbesondere mit der zunehmenden Empfindlichkeit (gleiches Ergebnis bei geringerer Aktivität). Diese grundsätzlich positive Entwicklung hat jedoch zur Folge, dass die Entsorgung der radioaktiven Abfälle häufig nur noch sporadisch erfolgt und weniger Aufmerksamkeit erhält; aufgrund fehlender Routine sind bestimmte Kompetenzen in den Betrieben nicht mehr vorhanden.



**Abbildung 11:** Abklinglagerung von festen und flüssigen Abfällen aus einem Forschungslabor. Die Behälter für flüssigen Abfall stehen in Auffangwannen.

In den meisten Forschungsbetrieben wurden Verbesserungen bei den internen Weisungen gefordert. Diese sind oft sehr knapp gehalten und die Verfahren darin ungenügend beschrieben, weil viele Labors nur von wenigen Personen genutzt werden und die Abfälle und deren Entsorgung direkt von der Strahlenschutz-Sachverständigen Person verwaltet werden. Eine einfache Dokumentation ist jedoch unerlässlich, um den Wissenstransfer, die Instruktion der Anwenderinnen und Anwender und die Kontinuität der Betriebsabläufe bei Abwesenheit der Sachverständigen Person zu gewährleisten. Es ist zu beachten, dass eine hohe Personalfuktuation im akademischen Bereich besonders ausgeprägt ist. Dies erhöht das Risiko des Informationsverlusts, mangelnder Kenntnisse bei neuen Mitarbeitenden und Lücken bei der Nachverfolgung, Inventarisierung und Charakterisierung von Abfällen zusätzlich.



**Abbildung 12:** Ansammlung und unsachgemässe Lagerung von Abfällen in einem Abfallraum einer Universität (fehlende Angaben auf den Behältern, keine Auffangbehälter, poröse, nicht dekontaminierbare Oberflächen in Kontakt mit den Abfällen usw.)

In vielen Betrieben wurde festgestellt, dass die Abfälle durch die Sachverständigen nicht nach und nach entsorgt worden sind. So wurden in den Lagerräumen Abfälle gefunden, welche sich über Jahre hinweg angesammelt haben, weil den Sachverständigen das Interesse, die Ressourcen oder das Wissen fehlten. Manchmal waren die verfügbaren Informationen über die gelagerten Abfälle sehr lückenhaft und den Betrieben entstand ein grosser Aufwand bei der Sortierung mit den damit verbundenen Herausforderungen bei der Charakterisierung und Entsorgung. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts konnte der Grossteil der bei den Audits beanstandeten Abfälle jedoch bereits fachgerecht entsorgt werden. Die geforderten Verbesserungen bei der Charakterisierung der Abfälle direkt bei ihrer Entstehung durch die Nutzerinnen und Nutzer sowie bei der Rückverfolgbarkeit der Informationen dürften diese Problematik in Zukunft verringern. Es ist anzumerken, dass die Nutzerinnen und Nutzer eher dazu neigen, alle Abfälle als radioaktiven Abfall zu

entsorgen, statt das Material zu sortieren und sauber zu trennen. Dies verringert zwar das Risiko einer unbeabsichtigten Abgabe oder Entsorgung, erhöht jedoch das Volumen des radioaktiven Abfalls und verschärft die Problematik der Lagerung, Überwachung und Charakterisierung.



**Abbildung 13:** Alte, schlecht bewirtschaftete Abfälle nach ihrer Sortierung und Charakterisierung im Anschluss an ein Audit.

Die baulichen Anforderungen an die Lagerräume für radioaktive Abfälle wurden mehrheitlich eingehalten. Es wurden jedoch regelmässig mangelhafte Kontrollen bei der Inventarisierung der Abfälle festgestellt (vgl. Punkt zur Lagerung in Kapitel 4.4). Auch die Zugangsregelung zu den Räumen, in denen die Radioaktivität gelagert wird, muss in einigen Fällen verbessert werden.

Im Hinblick auf die Abgaben an die Umwelt konnte das BAG feststellen, dass die Bewirtschaftung in den Betrieben ordnungsgemäss erfolgt. Hierbei ist zu beachten, dass nur bei rund 40 % der Labors Material an die Umwelt abgegeben wird; bei den anderen kann der gesamte Abfall abgeklungen werden oder es wird nur radioaktiver Abfall produziert, der an die Sammelstelle des Bundes abgeliefert werden kann. Es werden überwiegend geringe Mengen H-3, C-14 oder U-nat gemäss den Bestimmungen von Artikel 111 StSV an die Umwelt abgegeben. Darin ist die Möglichkeit festgehalten, 10 kg x LL pro Woche abzugeben, wobei Bilanz über die abgegebenen Stoffe und Aktivitäten geführt werden muss. Abgaben an das Abwasser, an die Luft oder an

eine dafür vorgesehene Verwertungsanlage (mit Zustimmung) sind nur bei weniger als zehn der insgesamt 120 Bewilligungen vorgesehen.

In einigen Fällen wurden geringfügige Nachbesserungen bei Abwasserkontrollanlagen (bewilligten Abgaben an das Abwasser) gefordert, insbesondere in den Bereichen Qualitätssicherung und Infrastruktur; die festgestellten Mängel hatten jedoch keine Auswirkungen auf die abgegebenen Mengen. Nur bei den Abgaben gemäss Artikel 111 StSV (10kg x LL / Woche) wurden regelmässig Nachbesserungen gefordert, hauptsächlich in Bezug auf deren Dokumentation; Jede dieser Abgaben muss dokumentiert werden, wobei dies nicht in allen Betrieben erfolgte. Auch war die Frage der Summierung von Abgaben, wenn mehrere Bewilligungen an einem Standort vorhanden sind, sowie des betrachteten Zeitraums, nicht überall geklärt. So ist insbesondere eine kumulierte Abgabe der Aktivität mehrerer Wochen (z. B. 1 Abgabe von 40 kg x LL nach 4 Wochen statt 10 kg x LL jede Woche) nicht erlaubt, um Peaks der Aktivitätskonzentrationen in den Abwässern zu vermeiden. Zudem müssen z. B. bei Universitäten mit mehreren Bewilligungen am gleichen Standort (gleiches Gebäude oder gleiche Entsorgungsstelle) die Abgaben gemäss Artikel 111 StSV entweder so koordiniert werden, dass der Grenzwert von 10kg x LL / Woche für den gesamten Standort eingehalten wird oder sie müssen zentral von einem einzigen Bewilligungsinhaber verwaltet werden.

**Zusammenfassend** lässt sich festhalten, dass angesichts der geringen Aktivitäten und der generell umsichtigen Handhabung durch die Abfallbewirtschafter das Risiko einer unbeabsichtigten Abgabe oder Entsorgung von Radioaktivität bei den Forschungslabors gering ist. In den wenigen Labors, in denen mit höheren Aktivitäten umgegangen wird, ist die Abfallbewirtschaftung in der Regel angemessen verwaltet, wodurch die Risiken begrenzt werden. Die Qualität der Abfallbewirtschaftung ist somit insgesamt gut geregelt und steht in einem angemessenen Verhältnis zum Risiko.

Die korrekte Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle in den auditierten Labors verhindert eine unsachgemässe Entsorgung oder Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Die mit der Abfallbewirtschaftung verbundene Exposition des Personals ist sehr gering bzw. vernachlässigbar. Verbesserungen sind jedoch bei der Sortierung direkt bei der Entstehung, der Dokumentation und der

regulären Nachverfolgung erforderlich, um Abfallansammlungen und den Verlust von Informationen zu den gelagerten Abfällen zu vermeiden. Die bedeutendsten Probleme, die angetroffen wurden, betreffen vor allem die mangelnde Nachverfolgbarkeit, lückenhafte Inventare und fehlende Kompetenzen bezüglich der Organisation innerhalb der Hochschulen. Die Neubesetzung von Stellen, die Pensionierung von Professorinnen und Professoren oder andere Wechsel kommen in diesem Bereich recht häufig vor und führen mitunter dazu, dass Materialien oder Räumlichkeiten ohne verantwortliche Person hinterlassen werden und sich nicht charakterisierter und schwer zu entsorgender Abfall ansammelt. Dieses Problem kann durch die Schaffung von Koordinations- oder Fachstellen (z. B. durch den Gesundheits-, Umwelt- oder Sicherheitsdienst) erheblich entschärft werden. Solche Stellen ermöglichen eine Zusammenführung von Wissen, was sowohl die Nachverfolgbarkeit verbessert als auch die Anwenderinnen und Anwender bei administrativen Aufgaben entlastet. Das Bewilligungsportal RPS des BAG ermöglicht es einer Koordinationsstelle zudem, alle Bewilligungen eines Betriebes zentral zu verwalten. Die Schaffung einer solchen Stelle wird vom BAG daher ausdrücklich empfohlen, da es sich gezeigt hat, dass die Abfallbewirtschaftung und der Strahlenschutz im Allgemeinen in der Regel besser geregelt sind.

### 4.3 Zyklotrone

In der Schweiz werden ausserhalb der beiden grossen Forschungseinrichtungen PSI und CERN fünf Zyklotrone betrieben, welche einerseits für die Herstellung und den Vertrieb von Radiopharmazeutika, andererseits für Forschungszwecke genutzt werden. Dabei sind die Bewilligungen für die Produktion beziehungsweise die Forschung an einigen Standorten getrennt. Insgesamt wurden sechs Bewilligungen auditiert.



Abbildung 14: Ansicht eines Zyklotrons

Die in diesen Betrieben anfallenden radioaktiven Abfälle lassen sich in drei wesentliche Kategorien unterteilen:

- **Abfälle von Radiopharmazeutika:** Hierzu gehören F-18, N-13, Cu-64 und andere Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit, die in Zyklotronen hergestellt werden. Sie können auf einfache Weise analog zur Nuklearmedizin entsorgt werden: durch Abklingen.
- **Produktionsabfälle:** Radiopharmazeutika werden über eine Reihe von Synthese- und Reinigungsschritten hergestellt. Rückstände der produzierten Radionuklide, aber auch Verunreinigungen mit anderen Radionuklide, verbleiben zum Teil in den verwendeten Produktionsmaterialien (Schläuche, Synthesekassetten usw.). Die eindeutige Charakterisierung dieser Abfälle ist nicht immer problemlos möglich, da sie verschiedene Radionuklide enthalten können, von denen einige schwer messbar sind. In den meisten Fällen können die Abfälle jedoch nach einer detaillierten Charakterisierung für einige Wochen bis Jahre zum Abklingen gelagert und dann nach einer Kontrollmessung befreit werden.
- **Aktivierungsabfälle:** Die verschiedenen Teile des Zyklotrons, das Material im Bunker sowie der Raum selbst (Beton usw.) können durch Neutronen aktiviert werden. Einige Teile werden regelmässig im Rahmen der Wartungen ausgetauscht und es kommt vor, dass defekte Komponenten ersetzt werden

müssen. Bevor sie entsorgt werden können, müssen sie charakterisiert werden. Die Charakterisierung dieser Materialien erfordert anspruchsvolle Analysemethoden, die den Betreiberinnen und Betreibern der Zyklotrone nicht immer zur Verfügung stehen. In der Regel können diese Abfälle entweder zum Abklingen gelagert oder als radioaktiver Abfall über die Sammelstelle des Bundes entsorgt werden.

Die Bewirtschaftung der laufend anfallenden Abfälle in den Zyklotronen kann im Allgemeinen als gut bezeichnet werden. Sie werden bereits an der Quelle charakterisiert, zum Abklingen gelagert und dann freigemessen. Ähnlich wie in Forschungslabors neigen die Anwenderinnen und Anwender jedoch dazu, Abfälle, bei denen der Entsorgungsweg nicht offensichtlich ist, einfach zu lagern und anzusammeln. Das Risiko einer unsachgemässen Entsorgung war daher zwar gering, jedoch wurde eine Ansammlung von Produktions- und Aktivierungsabfällen festgestellt, die häufig nicht ausreichend dokumentiert und charakterisiert waren. Die Abfälle waren oft nicht als solche gekennzeichnet und wurden an dafür ungeeigneten Orten gelagert. Das BAG forderte daher Nachbesserungen, die teilweise bereits umgesetzt werden konnten. Die detaillierte Charakterisierung und Entsorgung des über Jahre angesammelten Materials wird jedoch eine längerfristige Aufgabe sein.

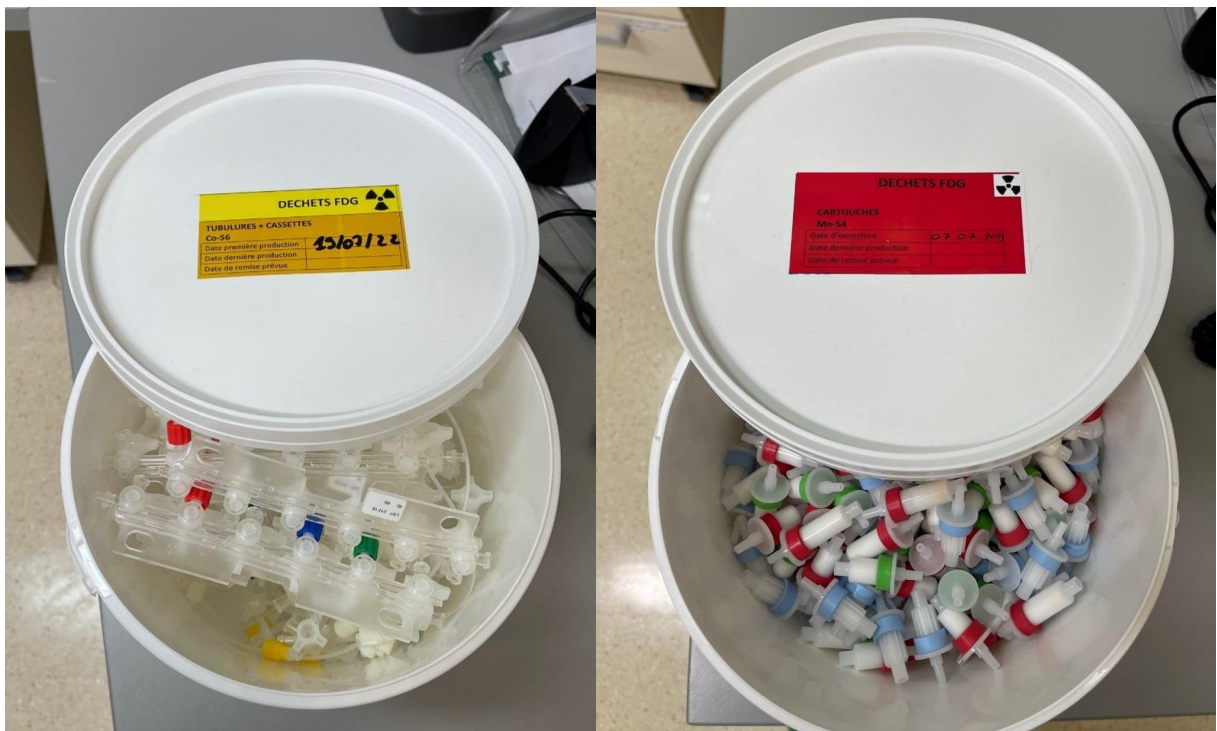


Abbildung 15: Sortierte Produktionsabfälle eines Zyklotrons

Des Weiteren wurde in mehreren Betrieben festgestellt, dass Aktivierungsabfälle (Targetfenster, Zyklotronteile usw.) innerhalb des Bunkers gelagert wurden statt an einem strahlungsarmen Ort. Dadurch wurden sie ständig durch Neutronen aktiviert und konnten nicht abklingen. Diese Praxis, die eine ständige Aktivierung zur Folge hat, sollte daher unterlassen werden.

Die bedeutendsten Abgaben aus Zyklotronen erfolgen an die Luft, indem während des Betriebs des Zyklotrons und während der Synthesen die Abluft über einen Kamin abgeleitet wird. Bis auf einige Einzelfälle werden die in den Bewilligungen festgelegten Abgabegrenzen eingehalten. Es sind jedoch noch Anstrengungen im Bereich der Qualitätssicherung der Überwachungssysteme für diese Abgaben und der periodischen Prüfungen der Messinstrumente erforderlich. Das BAG beabsichtigt, das Thema der Überwachung der Abgaben sowie der Qualitätskontrollen im Rahmen eines Aufsichtsschwerpunktes in den kommenden Jahren ausführlicher zu analysieren.

**Zusammenfassend** lässt sich festhalten, dass die Abfallbewirtschaftung durch die Betreiberinnen und Betreiber der Zyklotrone weitgehend zufriedenstellend ist und das Risiko einer nicht konformen Abgabe gering ist. Gleichwohl gilt es für die Betreiberinnen und Betreiber nun, aktiv die Charakterisierung und Entsorgung der radioaktiven Abfälle anzugehen, die durch die Aktivierung von Beschleunigerteilen entstehen, wie z. B. Targetfenster oder Teile, die bei der Wartung ausgetauscht wurden. Um diesen Bestrebungen zu unterstützen, hat das BAG einen Workshop mit den betroffenen Sachverständigen organisiert, um einen Erfahrungsaustausch zu bewährten Verfahren (*good practices*) über die Bewirtschaftung, Charakterisierung und Entsorgung solcher radioaktiven Abfälle zu ermöglichen. Diese Initiative wurde von den Betrieben begrüsst, es sind jedoch noch weitere Anstrengungen und Ressourcen erforderlich, um die Situation kurz- und langfristig zu verbessern.

#### 4.4 Spezifische Themen

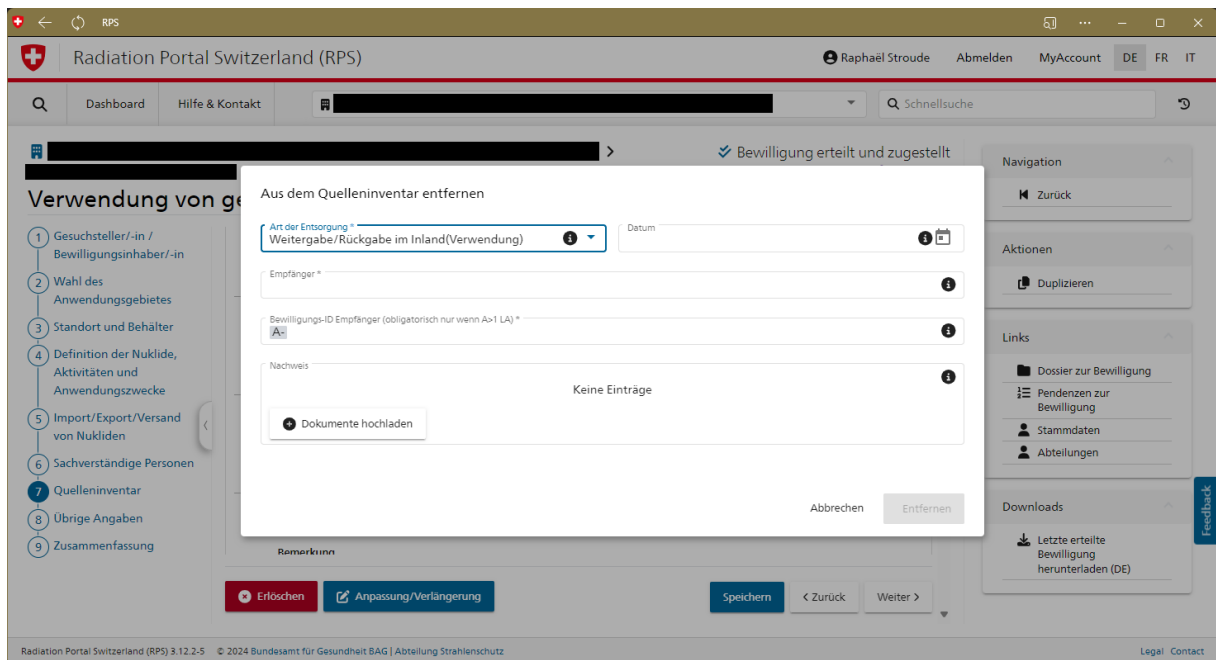
In diesem Kapitel werden spezifische Problembereiche behandelt, die bei den Audits regelmässig hervorgehoben wurden. Zudem werden die *good practices* und Empfehlungen für die Optimierung der angesprochenen Problematiken aufgezeigt.

#### Geschlossene Quellen

Die Audits fokussierten nicht die Entsorgung geschlossener Quellen, sondern konzentrierten sich auf die Betriebe mit Bewilligungen für den Umgang mit offenen Quellen. Eine Mehrheit dieser Betriebe verfügt jedoch auch über geschlossene Quellen, unter anderem für die Kalibrierung von Geräten.

Die Entsorgung geschlossener Quellen mit langer Halbwertszeit (z. B. Co-60, Cs-137) erfolgt in der Regel einmalig und durch Ablieferung an die Sammelstelle des Bundes oder durch Rückgabe an einen Lieferanten, der in der Lage ist, die Quelle wiederzuverwenden oder zu rezyklieren. Viele Kalibrierquellen enthalten jedoch Nuklide mit einer mittleren Halbwertszeit (z. B. Co-57, Ge-68), weshalb eine Entsorgung als radioaktiver Abfall nicht die optimale Lösung ist. Eine Abklinglagerung ist stattdessen zu bevorzugen. Wenn die Infrastruktur es zulässt, kann die Abklinglagerung direkt vor Ort bei den Anwenderinnen oder Anwendern erfolgen; meistens werden solche Quellen jedoch von den Lieferanten eingesammelt und gegen neue Quellen ausgetauscht. In diesen Fällen sind es die Lieferanten, die die Abklinglagerung der radioaktiven Quellen bis zu ihrer Entsorgung verwalten und überwachen.

Seit der Einführung des neuen Bewilligungsportals RPS durch das BAG müssen alle geschlossenen Quellen individuell in diesem Portal inventarisiert werden, mit Angaben zu ihrer Herkunft und ihren Eigenschaften (Aktivität, Seriennummer usw.). Jede Änderung muss innerhalb von zwei Wochen durch die Bewilligungsinhaberin oder den -inhaber direkt in das RPS-Inventar eingepflegt werden. Eine Änderung der Bewilligung selbst ist nicht erforderlich, solange die Änderungen innerhalb des bewilligten Rahmens (maximale Anzahl Quellen, maximale Aktivität, Standorte) erfolgen. Beim Austausch von geschlossenen Quellen muss die alte Quelle aus dem Inventar entfernt und die neue hinzugefügt werden. Der Verbleib der alten Quelle muss erfasst werden, bei einer Rücknahme durch den Lieferanten muss unbedingt die Bewilligungsnummer des Lieferanten angegeben werden. Damit wird die Quelle direkt aus dem Inventar des Inhabers in das Inventar des Lieferanten überführt. Dieses Vorgehen ist auch umgekehrt möglich, z. B. beim Verkauf einer Quelle vom Lieferanten an den zukünftigen Besitzer.



**Abbildung 16:** Übergabe einer geschlossenen Quelle an den Lieferanten und Entfernung aus dem Inventar in RPS

### Interne Weisungen

Viele Anmerkungen des BAG betrafen die internen Weisungen zur Abfallbewirtschaftung in den Betrieben. Die festgestellten Mängel reichten von einem vollständigen Fehlen von Weisungen bis hin zu ungeeigneten Weisungen (zu kompliziert, den Benutzerinnen und Benutzern unbekannt oder in der Praxis unbrauchbar). Es ist wichtig, dass interne Weisungen direkt in der Praxis anwendbar, der Komplexität der anfallenden Aufgaben angemessen und verständlich sind. Sie müssen zudem so geschrieben sein, dass Ihr Inhalt der Ausbildung und den Kompetenzen der Benutzerinnen und Benutzer entspricht. Sie sollten für die Benutzerinnen und Benutzer leicht zugänglich und ihnen bekannt sein. Es soll eine einfache Sprache mit klaren Anweisungen verwendet werden.

Das BAG empfiehlt, dass die internen Weisungen für die Abfallbewirtschaftung mindestens die folgenden Themen abdecken sollen:

- Allgemeine Beschreibung der gesamten Abfallbewirtschaftung (wer, wo, wann, wie);
- Beschreibung der Verfahren für die Sortierung an der Quelle und die kurzfristige Lagerung (dedizierte Abfallbehälter, Trennung);
- Definition der Charakterisierungskriterien (Bestimmung der Aktivität und anderer Eigenschaften);
- Beschreibung des Verfahrens für eine angemessene Rückverfolgbarkeit (z. B. Begleitblatt, zentrale Datei);
- Festlegung der Verantwortlichkeiten und Verfahren für die Sammlung und Lagerung der Abfälle (Anlieferung oder Abholung, Kennzeichnung der Abfälle usw.).

- Vorgaben für die Lagerung der Abfälle (Standort, Inventar, Nachverfolgbarkeit, besondere Anforderungen für bestimmte Abfallarten (flüssig, biologisch, über lange Zeit abklingender Abfall usw.)).
- Festlegung der Entsorgungswege (nach Nuklid, nach Abfallart).
- Beschreibung der Verfahren zur Freisetzung und der Befreiung von Abfällen, die als inaktiv eingestuft werden. Dies betrifft zum einen Abfälle, die abgeklungen sind, aber auch alle Abfälle, die aus den Kontrollbereichen herauskommen.
- Informationen zur Überwachung und Beschreibung des Verfahrens für Abgaben an die Umwelt und Ablieferungen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Je nach Art der Abgaben (Luft, Wasser, Verbrennung) unterscheiden sich diese Verfahren in ihrer Komplexität, insbesondere bezüglich der Qualitätssicherung; sie müssen aber in jedem Fall klar dokumentiert werden.

### Entsorgung von H-3 und C-14

H-3 und C-14 gehören zu den am häufigsten verwendeten Nukliden in Forschungsinstituten und Universitäten. Ihre jeweiligen Halbwertszeiten lassen jedoch eine Abklinglagerung zur Befreiung nicht zu. Seit 2018 erfolgen die Abgaben dieser Nuklide an die Umwelt gemäss Artikel 111 StSV und es wurde ein wöchentlicher Grenzwert von 10 kg x LL / Woche festgelegt. Die LL-Werte (Befreiungsgrenzen) wurden bei der Revision der StSV im Jahr 2018 überarbeitet und deutlich gesenkt. Die seitdem geltenden Abgabegrenzwerte verunmöglichen eine kontinuierliche Entsorgung



der anfallenden Abfälle, wodurch diese sich in den Einrichtungen ansammeln.

Die Abgabemöglichkeiten für H-3 und C-14 nach Artikel 111 StSV sind relativ beschränkt, hingegen sind die Grenzwerte für die Abgabe ans Abwasser oder an eine Verbrennungsanlage angesichts ihrer geringen Radiotoxizität vergleichsweise wenig restriktiv. Eine Entsorgung über diese beiden Entsorgungspfade (Abwasser oder Verbrennung) bedürfen jedoch einer spezifischen Bewilligung des BAG, welches die Einhaltung der in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerte überprüft. Die von dieser Thematik betroffenen Betriebe sollten diesen Weg in Betracht ziehen und prüfen, ob er praktikabel wäre. Es ist zu beachten, dass es sich bei solchen Abfällen oft um biologische Substanzen oder um Chemikalien handelt; Die Verbrennung dieser Art von Sonderabfällen ist daher häufig die beste Entsorgungslösung. Alternativ können diese Abfälle nach ihrer biologischen bzw. chemischen Inaktivierung auch als radioaktiver Abfall an die Sammelstelle des Bundes oder an spezialisierte Unternehmen geliefert werden; dies ist in der Regel jedoch mit höheren Kosten verbunden.

### Lagerung

Im Rahmen der Audits hat das BAG festgestellt, dass in den Betrieben zahlreiche Abfälle mit lückenhaften Informationen über ihre Zusammensetzung und Charakterisierung gelagert wurden, mit offensichtlich mangelhaften Plänen für ihre Entsorgung. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. In vielen Betrieben können die Anwenderinnen und Anwender ihre Abfälle selbstständig im Abfallraum deponieren. Wenn die Bedingungen hierfür nicht klar festgelegt, kommuniziert und umgesetzt werden, kommt es immer wieder vor, dass Anwenderinnen und Anwender ihren Pflichten nicht nachkommen und Abfälle anliefern, die nicht charakterisiert sind oder keine Angaben enthalten. Eine nachträgliche Charakterisierung solcher Abfälle ist sehr aufwendig und erfordert ein hohes Mass an Fachwissen. Insbesondere bestimmte Abfälle aus Zyklotronen können nur mit anspruchsvollen Analysemethoden charakterisiert werden. Aufgrund fehlender Mittel oder unzureichender Infrastruktur lagern die Betreiberinnen oder Betreiber die Abfälle daher mit lückenhaften Informationen. Es kommt auch regelmässig vor, dass die Verantwortlichkeiten für Abfälle, die vor längerer Zeit für einen langen Abklingprozess eingelagert wurden, in der Zwischenzeit gewechselt haben. Die Informationen und Inventare sind dabei verlorengegangen und die Abfälle können nicht mehr zurückverfolgt werden.

In der Schweiz besteht eine Pflicht zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen innerhalb von drei

Jahren nach ihrer Entstehung. Zudem gelten Bedingungen für die Abklinglagerung (obligatorisch für Abfälle mit einer Halbwertszeit von weniger als 100 Tagen; empfohlen für Abfälle, die in weniger als 30 Jahren befreit werden können). Vor diesem Hintergrund weist das BAG auf folgende Punkte hin:

- Keine Lagerung von Abfällen mit sehr kurzer Halbwertszeit (z. B. F-18, Tc-99m), sondern direkte Befreiung der Abfallbehältern nach dem Abklingen. Die Dauer der Abklingzeit muss in der internen Weisung festgelegt sein;
- Charakterisierung und Lagerung aller anderen Abfälle mit klaren Angaben zu ihrer späteren Entsorgung und der dafür nötigen Abklingzeit. Grundsätzlich sollten für alle gelagerten Abfälle der Entsorgungsweg sowie der Zeitpunkt der Entsorgung von vornherein bekannt sein. Für festen Abfall mit P-32 kann zum Beispiel der Zeitpunkt der Freimessung basierend auf Ausgangsaktivität berechnet werden, der Entsorgungsweg richtet sich nach der Zusammensetzung des Abfalls.
- Für Aktivierungsabfälle hingegen ist eine detailliertere Charakterisierung erforderlich. Dabei muss eine Frist festgelegt werden, in der die Charakterisierung erfolgen soll. Es müssen zudem direkt die nötigen Angaben gemacht werden, um diese Charakterisierung durchführen zu können (z. B. Standort in der Anlage, Bestrahlungszeit, Abklingzeit, Materialzusammensetzung usw.);
- Für alle Abfälle, die länger als sechs Monate gelagert werden müssen, muss ein Inventar geführt werden. Das Inventar muss laufend aktualisiert werden und ermöglicht unter anderem die Kontrolle der Einhaltung der Aktivitätsgrenzwerte für die Lagerung (Anzahl LA);
- Alle gelagerten Abfälle müssen innerhalb von drei Jahren nach ihrer Entstehung entsorgt werden, mit Ausnahme der Abfälle, die zum Abklingen gelagert werden. Die Abklingzeit muss vor Beginn der Lagerung basierend auf der Ausgangsaktivität und der Halbwertszeit der vorhandenen Nuklide festgelegt werden. Bei Nukliden mit einer Halbwertszeit von mehr als 100 Tagen, die aber innerhalb von maximal 30 Jahren abklingen können, muss vor einer Einlagerung die Aufsichtsbehörde konsultiert werden. Die Behörde kann zusätzlich zu einer detaillierten Charakterisierung und der Garantie einer uneingeschränkten Freigabe nach 30 Jahren Überwachungsmaßnahmen verlangen, um die langfristige Sicherheit einer solchen Lagerung zu gewährleisten (regelmässige Aktualisierung des Inventars, administrative Massnahmen, finanzielle Garantien usw.).

## 5 Erkenntnisse und Konsequenzen für die Aufsicht durch die Behörden

Das BAG hat durch diesen Aufsichtsschwerpunkt feststellen können, dass die Risiken im Zusammenhang mit der Entsorgung von radioaktiven Abfällen bei der Verwendung von offenen radioaktiven Quellen in der Medizin und der Forschung insgesamt gering sind. Der generell umsichtige Umgang der Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber bei der Entsorgung dieser Abfälle schränkt diese Risiken weiter ein.

Mit dem Rückgang der Nutzung von radioaktiven Stoffen an Universitäten und Hochschulen verringert sich die Bedeutung der Abfallentsorgung, die damit verbundenen Aufgaben werden für die Strahlenschutz-Sachverständigen mitunter zu sehr gelegentlichen und nebensächlichen Tätigkeiten. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Abfallbewirtschaftung nicht mehr regelmässig überwacht wird. Gewisse Infrastrukturen, die in der Vergangenheit häufig genutzt wurden, werden heute nicht mehr benötigt und sind veraltet. Eine Anpassung der Infrastruktur und der organisatorischen Strukturen sind häufig nötig, damit sie wieder mit der aktuellen Nutzung in Einklang sind. Eine mangelnde Überwachung führt auch zu einer Ansammlung von gelagerten Abfällen. Dies erhöht das Risiko einer falschen Entsorgung.

Die Aufsicht durch das BAG muss entsprechend den Risiken abgestuft sein (*graded approach*). In diesem Sinne müssen die Kontrollen des BAG in

den Bereichen mit hohen Risiken stärker sein. Die meisten der geprüften Tätigkeiten fallen in die Kategorie der geringen Risiken. Das BAG stellt jedoch fest, dass dennoch eine regelmässige Überwachung notwendig ist, um im Bereich der Abfallbewirtschaftung ein hohes Niveau mit einer lückenlosen Nachverfolgbarkeit zu gewährleisten. Als Behörde muss das BAG daher seine regelmässige Präsenz in den Einrichtungen aufrechterhalten, insbesondere um eine gute Verwaltung der Inventare zu gewährleisten und die riskante Ansammlung von Abfällen zu vermeiden. Die Schaffung von Koordinations- oder Fachstellen für den Strahlenschutz in grösseren Betrieben hat viele Vorteile und ermöglicht eine bessere Begleitung der Nutzerinnen und Nutzer. Sie werden vom BAG daher ausdrücklich empfohlen,

Mit Blick auf die Aktivierungsabfälle in Zyklotronen hat das BAG mit der Organisation eines Workshops bereits einen ersten Schritt unternommen, um den Umgang mit diesen speziellen Abfällen zu optimieren. Die Aufarbeitung ist jedoch aufwendig und wird einige Zeit in Anspruch nehmen. Die Überwachung der Fortschritte bei der Aufarbeitung wird in erster Linie direkt bei den jeweiligen Betrieben erfolgen. Falls sinnvoll oder notwendig, kann das BAG Betreiberinnen und Betreiber dabei unterstützen, das Thema umfassender anzugehen.

## 6 Allgemeine Schlussfolgerung

Der Aufsichtsschwerpunkt des BAG zur Bewirtschaftung der radioaktiven Abfälle in der Medizin und der Forschung umfasst mehr als 200 Audits in der gesamten Schweiz im Zeitraum von 2020 bis 2024. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse verhalfen dem BAG zu einem Überblick über die Situation. Das BAG stellte fest, dass das Risiko unzulässiger oder unkontrollierter Abgaben und deren potenzielles Ausmass sehr gering sind. Betriebe mit höheren radiologischen Risiken, insbesondere solche mit einer Bewilligung für die Abgabe an das Abwasser oder an die Luft (hauptsächlich Nuklearmedizinische Institute mit Abklingtanks oder Zyklotrone), weisen auch ein dem Risiko angepasstes, höheres Mass an Organisation und Kontrolle auf.

Gleichwohl sind vielerorts Verbesserungen in der Dokumentation und Überwachung erforderlich, zudem müssen die häufig angetroffenen An-

sammlungen von radioaktiven Abfällen in den Lagerräumen in Zukunft vermieden werden. Sie erschweren nicht nur die Charakterisierung und Entsorgung der Abfälle, sondern erhöhen auch das Risiko einer unbeabsichtigten Abgabe. Das BAG beabsichtigt deshalb, die Umsetzung der nach den Audits individuell geforderten Massnahmen systematisch zu überprüfen und die regelmässige Präsenz in den Betrieben beizubehalten. Zudem soll die Schaffung von zentralen Koordinations- oder Fachstellen gefördert werden. Zudem werden die Erkenntnisse in die Revision der bestehenden Wegleitungen des BAG zur Abfallbewirtschaftung in den Betrieben einfließen.