

**Methoden zur Freigabe in der Nuklearmedizin**  
**Schriftenreihe, Heft 8/2023**  
**– Anlage 1 –**

Qualifizierung von Methoden  
zur Vereinfachung der Freigabeentscheidung in der Nuklearmedizin  
unter Gewährleistung der Übertragbarkeit  
auf andere Anwendungsgebiete

Bericht zu Arbeitspaket 1 (AP 1):  
Analyse der Randbedingungen

M. Sc. R. Gehr, Dr. S. Thierfeldt, Dr. O. Sobolev, Dr. M. Rossbach  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>AP1: Analyse der Randbedingungen</b> .....	<b>6</b>
3.1	Radionuklide .....	6
3.1.1	Relevante Nuklide .....	6
3.1.2	Halbwertszeiten und Freigabewerte der Nuklide .....	7
3.1.3	Befragte nuklearmedizinische Einrichtungen .....	8
3.1.4	Rücklauf .....	9
3.1.5	Radionuklide .....	9
3.1.6	Radiopharmakahersteller .....	11
3.1.7	Abfalldaten .....	15
3.1.8	Verpackungen/Sortierungen .....	16
3.1.9	Messgeräte .....	17
3.1.10	Generelle Eignung von Messgeräten .....	18
3.1.11	Eigenschaften ausgewählter Messgeräte .....	28
3.1.12	Nachrüstung / Beschaffung von Messgeräten .....	34
3.2	Beobachtete Trends .....	35
3.2.1	Radiopharmakaentwicklung .....	35
3.2.2	Nuklearmedizinische Einrichtungen .....	35
3.3	Einteilungsschema für Radionuklide .....	36
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>39</b>
5.1	Fragebogen .....	39
5.2	Anfrage an Landessammelstelle .....	43
5.3	Kontaktierte Einrichtungen .....	44
5.4	Entscheidungsschema .....	50

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1: Entscheidungsschema, Teil 1 von 6.....	50
Abbildung 5-2: Entscheidungsschema, Teil 2 von 6.....	51
Abbildung 5-3: Entscheidungsschema, Teil 3 von 6.....	52
Abbildung 5-4: Entscheidungsschema, Teil 4 von 6.....	53
Abbildung 5-5: Entscheidungsschema, Teil 5 von 6.....	54
Abbildung 5-6: Entscheidungsschema, Teil 6 von 6.....	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Nuklide gemäß Aufstellung des LfULG .....	6
Tabelle 2: Umfrageergebnis der eingesetzten Wirknuklide .....	6
Tabelle 3: Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 StrlSchV (2018) [SSV 18] der relevanten Nuklide.....	8
Tabelle 4: Rücklauf der Fragebögen .....	9
Tabelle 5: Nuklidspezifische Aktivitätsverteilung aus Umfrage .....	10
Tabelle 6: Radiopharmakahersteller .....	11
Tabelle 7: Daten zu Radiopharmakaherstellern aus der Umfrage .....	12
Tabelle 8: Verwendete Radiopharmaka aus der Umfrage.....	14
Tabelle 9: Übliche Abfallgebinde und deren Eigenschaften .....	16
Tabelle 10: Messgerätetypen in nuklearmedizinischen Einrichtungen.....	17
Tabelle 11: In Umfrage genannte zur Freigabemessung geeignete Messgeräte und deren Hersteller ...	18
Tabelle 12: Übersicht grundsätzliche Eignung von Messmethoden für Wirk- und Verunreinigungsnuklide.....	20
Tabelle 13: Übersicht über Kontaminationsmonitore .....	29
Tabelle 14: Übersicht über Freigabemessplätze.....	31
Tabelle 15: Übersicht über Laborgeräte .....	33
Tabelle 16: Kontaktierte Einrichtungen.....	44

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) führt in Kooperation mit der Brenk Systemplanung GmbH (BS) ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Qualifizierung von Methoden zur Vereinfachung der Freigabeentscheidung in der Nuklearmedizin unter Gewährleistung der Übertragbarkeit auf andere Anwendungsgebiete“ durch. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die wissenschaftlich-technische Qualifizierung, bei Bedarf auch Entwicklung von Vorgehensweisen, mit denen über Freigabeanträge aus der Nuklearmedizin entschieden werden kann. Diese Zielsetzung ist vor dem im Folgenden dargestellten Hintergrund zu sehen.

Eine große Zahl von Radiopharmaka enthält nur Radionuklide mit hinreichend kurzen Halbwertszeiten (HWZ), deren Aktivität in wenigen Tagen oder Wochen unter die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe gem. Anl. 4 Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV [SSV 18] oder unter die Freigabewerte für die Freigabe zur Beseitigung gem. Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8-11 StrlSchV [SSV 18] abgeklungen sind. Die Freigabe dieser Stoffe kann daher bei bekannter Ausgangsaktivität gemäß Spezifikation (z. B. Gesamtaktivität pro Anwendung) und einer bekannten Menge an Abfällen (z. B. Rückstände aus einer bestimmten Anzahl von Anwendungen) allein über die Einhaltung einer ausreichend langen Abklingzeit erzielt werden.

Demgegenüber gibt es einige Radiopharmaka, die aufgrund der Herstellungsprozesse neben dem eigentlichen Wirknuklid weitere Nuklide (Verunreinigungs-nuklide) enthalten. Dabei können die Halbwertszeiten der Verunreinigungs-nuklide bedeutend länger als die des Wirknuklids sein. In diesem Fall können innerhalb einer praktikablen Zeitspanne die Freigabewerte nicht durch alleinige Abklinglagerung erreicht werden. Die Freigabe ist demnach nur durch einen messtechnischen Nachweis oder einem kombinierten Ansatz aus rechnerischen und messtechnischen Verfahren möglich.

Alternativ zur Freigabe können die radioaktiven Reststoffe aus der Anwendung von Radiopharmaka mit langlebigen Verunreinigungen als radioaktiven Abfall an eine Landessammelstelle abgegeben werden. Dies ist jedoch mit hohen Kosten und erheblichem verwaltungstechnischen Aufwand verbunden, sodass insbesondere kleinere Praxen Therapien mit solchen Radiopharmaka nicht anbieten können. Hierdurch kann die Situation entstehen, dass Therapien mit bestimmten Radiopharmaka, die keinen stationären Aufenthalt des Patienten (siehe [SSV 11]) erfordern, zukünftig nur noch in großen zentralen Einrichtungen verfügbar wären, obwohl sie aus medizinischer Sicht auch in kleineren Praxen und damit flächendeckend angeboten werden könnten. Eine solche Entwicklung wäre nicht zum Wohle der Patienten. Aus medizinischer Sicht sollte sich die Auswahl einer geeigneten Behandlungsmethode primär an der medizinischen Indikation orientieren, und die Frage, in wie weit eine praktikable Entsorgungsmöglichkeit für die hierbei erzeugten Abfälle besteht nur von sekundärer Bedeutung sein.

Gegenstand dieses Vorhabens ist daher die Entwicklung von Freigabeverfahren bzw. Freigabemessverfahren unter Berücksichtigung der messtechnischen und organisatorischen Durchführbarkeit speziell für Radiopharmaka mit einem produktionsbedingten Anteil langlebiger Radionuklide. Diese Verfahren sollen die Möglichkeit einer Freigabe auch für kleinere Anwender eröffnen und somit die hohen, für eine kleine nuklearmedizinische Einrichtung u. U. betriebswirtschaftlich nicht tragbaren Kosten für die Entsorgung bei einer Landessammelstelle vermieden werden.

## 2 Aufgabenstellung

Der Inhalt des Vorhabens umfasst gemäß der Leistungsbeschreibung die folgenden Punkte [LFU 19]:

### AP 1: Analyse der Randbedingungen

- Zusammenfassen der in nuklearmedizinischen Praxen vorhandenen Messtechnik incl. deren physikalischer Charakterisierung bzgl. der Nachweiseigenschaften. Ermittlung von Möglichkeiten zur technisch sinnvollen Nachrüstung oder Neuanschaffung, beispielsweise anhand der in radiobiologischen Laboratorien genutzten Messtechnik.
- Einteilung einer vom LfULG bereitgestellten Nuklidliste in Gruppen anhand ihrer Detektionseigenschaften und Erstellung eines Schemas zur Einsortierung neuer Nuklide.
- Erfassung der in der Nuklearmedizin üblicherweise anfallenden zu entsorgenden radioaktiven Stoffe mit ihren stofflichen und strahlungsphysikalischen Eigenschaften.

### AP 2: Bestimmung eines optimierten und rechtskonformen Freigabemessverfahrens

- Erstellen realisierbarer Messszenarien unter Bedingungen, wie sie in nuklearmedizinischen Praxen gegeben sind.
- Festlegung eines optimierten Freigabemessverfahrens mit der Option, dass ggf. eine realisierbare Nachrüstung der Messtechnik in Betracht gezogen werden kann.

### AP 3: Charakterisierung des Freigabemessverfahrens

- Das in AP 2 festgelegte Messverfahren ist für die Anwendung zur Freimessung zu charakterisieren. Die Charakterisierung ist zu verifizieren.
- Abzuschließen ist das Projekt mit einem Gesamtbericht über die Ergebnisse der drei Arbeitspakete. Zusätzlich ist die Qualifizierung des in den AP 2/3 entwickelten Messverfahrens beizufügen.“

Hierzu werden im Arbeitspaket 1 (AP 1) die erforderlichen Ausgangsdaten bei nuklearmedizinischen Einrichtungen sowie Landessammelstellen und Messgerätherstellern recherchiert, die in den daran anschließenden AP 2 und AP 3 benötigt werden.

Zur Abstimmung der Vorgehensweise erfolgte am 28. Januar 2020 das Startgespräch zu diesem Vorhaben beim LfULG in Dresden. Bei diesem Startgespräch wurde der Entwurf des vorbereiteten Fragebogens, mit dem die Daten zu AP1 erfasst werden sollten, sowie die generelle Vorgehensweise präsentiert. In den darauffolgenden Tagen erfolgte die Detailabstimmung zum Fragebogen mit dem LfULG, sodass der Versand vorbereitet und in der 2. Februarwoche 2020 durchgeführt werden konnte.

Aufgrund der allgemeinen Zielsetzung des Vorhabens, sichere und praktikable Freigabeverfahren bzw. Freigabemessverfahren für möglichst viele Radiopharmaka mit Anteilen langlebiger Radionuklide zu entwickeln, wodurch die kostenintensive Abgabe der Rückstände und Abfälle als radioaktiver Abfall an die zuständige Landessammelstelle vermieden werden kann, und des Fokus auf nuklearmedizinische Praxen und Einrichtungen enthält der Fragebogen Fragen zu den Themenfeldern

1. Radiopharmaka bzw. Radionuklide,
2. verfügbare Messtechnik, die zu Freigabemessungen prinzipiell geeignet ist,
3. aktuelles mittleres Abfallaufkommen, das durch die in Punkt □ genannten Radiopharmaka oder Radionuklide kontaminiert ist.

Die Datenabfrage ist so ausgelegt, dass die erhobenen Daten pseudonymisiert in Statistiken verarbeitet werden und daher in den veröffentlichten Unterlagen des Vorhabens keine Rückschlüsse auf Einzelne getroffen werden können. Die Datenverarbeitung erfolgt entsprechend den Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) [DSG 16].

### 3 AP1: Analyse der Randbedingungen

#### 3.1 Radionuklide

##### 3.1.1 Relevante Nuklide

Die in der Nuklearmedizin relevanten radioaktiven (Wirk-)Nuklide samt ihrer Verunreinigungen hat das LfULG in einer Liste zur Verfügung gestellt, die in Tabelle 1 wiedergegeben ist.

**Tabelle 1: Relevante Nuklide gemäß Aufstellung des LfULG**

Wirknuklid	Bekannte Verunreinigungsnuklide
Sm-153	Eu-154
Ra-223+	Th-227, Ac-227+
Lu-177	Yb-175, Lu-177m
In-111	In-110, In-114m+
I-123	I-125, Te-121
Y-90	Sr-90+, Y-91, Y-88, Cr-51
Ga-68	Ge-68+

Neben den in Tabelle 1 aufgeführten Nukliden werden die aus der Umfrage (siehe Anhang) ermittelten Nuklide, die in der Diagnostik und Therapie eingesetzt werden, in Tabelle 2 zusammengefasst. Darüber hinaus erfolgt eine Einteilung nach der nuklearmedizinischen Einrichtung und dem ambulanten oder erforderlichen stationären Aufenthalt.

**Tabelle 2: Umfrageergebnis der eingesetzten Wirknuklide**

Wirknuklid	Art der Einrichtung	Verwendungszweck	Behandlungsort <sup>1</sup>
Er-169	Med. Versorgungszentrum., Privatpraxis	Therapie	ambulant <sup>2</sup>
F-18	Universitätsklinik	Diagnostik	ambulant
Ga-68	Klinik	Diagnostik	ambulant/stationär
I-123	Med. Versorgungszentrum, Klink, Privatpraxis	Diagnostik	ambulant
I-125	Privatpraxis	Diagnostik <sup>3</sup> /Therapie	ambulant/stationär
I-131	Med. Versorgungszentrum, Klink, Privatpraxis	Diagnostik <sup>3</sup> /Therapie	ambulant/stationär
In-111	Med. Versorgungszentrum, Klink, Universitätsklinik	Diagnostik	ambulant
Lu-177	Med. Versorgungszentrum, Klink, Universitätsklinik	Therapie	stationär

<sup>1</sup> Der Behandlungsort wurde nicht in der Umfrage abgefragt, sondern nachträglich auf Basis von Fachliteratur und öffentlich einsehbaren Leistungsverzeichnissen und Patienteninformationen von nuklearmedizinischen Einrichtungen ergänzt.

<sup>2</sup> Radiosynoviorthese (RSO) (vgl. [SSV 11])

<sup>3</sup> Der diagnostische Einsatz ist abhängig von der verabreichten Aktivität.

Wirknuklid	Art der Einrichtung	Verwendungszweck	Behandlungsort <sup>1</sup>
Ra-233	Med. Versorgungszentrum, Klinik, Universitätsklinik	Therapie	ambulant
Re-186	Privatpraxis	Therapie	ambulant <sup>2</sup>
Sm-153	Klinik, Universitätsklinik	Therapie	ambulant <sup>2</sup> /stationär
Tc-99m	Versorgungszentrum, Privatpraxis	Diagnostik	ambulant
Tl-201	Klinik	Diagnostik	ambulant
Y-90	Med. Versorgungszentrum, Klinik, Privatpraxis, Universitätsklinik	Therapie	ambulant <sup>2</sup> /stationär

Damit sind die meisten der üblicherweise in der Nuklearmedizin verwendeten Stoffe aufgeführt: In der Fachliteratur werden die Nuklide Tc-99m, In-111, I-123, I-124, Cr-51, F-18, N-13, O-15, Ga-68 und I-125 dem Bereich der SPECT-, PET- und In-vitro-Diagnostik zugeordnet, während I-131, Y-90, Sm-153, Er-169 und Ra-223 im Bereich der nuklearmedizinischen Therapie zum Einsatz kommen [CHO 96]. Die in Tabelle 2 aufgeführten Nuklide I-125 und I-131 werden abhängig von der Aktivität sowohl für diagnostische als auch für therapeutische Zwecke in der Nuklearmedizin eingesetzt.

### 3.1.2 Halbwertszeiten und Freigabewerte der Nuklide

Die folgende Tabelle 3 listet die derzeit in der Nuklearmedizin eingesetzten Nuklide und die produktionsbedingten Rückstandsnuklide samt ihrer Halbwertszeit und der aktuell gültigen Freigabewerte auf. Neben den Werten zur uneingeschränkten Freigabe nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV [SSV 18] sind auch die Grenzwerte für die Oberflächenkontamination (Sp. 5) angeführt. Aufgrund der im medizinischen Bereich gültigen Hygienevorschriften und der für medizinische Abfälle anzuwendenden Abfallschlüssel [LAG 15] müssen Abfälle in einer Müllverbrennungsanlage oder einer anderen Anlage für eine zugelassene thermische Behandlung entsorgt werden. Vor diesem Hintergrund sind in Tabelle 3 auch die Freigabewerte nach Sp. 9 und Sp. 11 aufgeführt, die für Stoffe bis zu 100 Mg/a bzw. 1000 Mg/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen gelten.

**Tabelle 3: Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 StrISchV (2018) [SSV 18] der relevanten Nuklide**

Typ	Nuklid	Halbwertszeit gem. StrISchV (2018)	Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Spalte 3 StrISchV (2018) [Bq/g]	Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Spalte 9 StrISchV (2018) [Bq/g]	Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Spalte 11 StrISchV (2018) [Bq/g]
Wirknuklid	Er-169	9,4 d	1000	10.000	10.000
Wirknuklid	F-18	109,7 min	10	k. A.4	k. A.
Wirknuklid	Ga-68	67,7 min	10	k. A.	k. A.
Wirknuklid	I-123	13,2 h	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	I-124	4,2 d	10	k. A.	k. A.
Wirknuklid	I-125	59,4 d	100	1000	100
Wirknuklid	I-131	8,0 d	10	70	9
Wirknuklid	In-111+	2,8 d	10	k. A.	k. A.
Wirknuklid	Lu-177	6,6 d	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	N-13	< 10 min	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	O-15	2 min	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	Ra-223+	11,4 d	100	60	20
Wirknuklid	Sm-153	46,3 h	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	Tc-99m	6,0 h	100	k. A.	k. A.
Wirknuklid	Y-90	64,1 h	1000	k. A.	k. A.
Verunreinigung	Ac-227+	21,8 a	0,01	0,1	0,1
Verunreinigung	Cr-515	27,7 d	100	900	100
Verunreinigung	Eu-154	8,6 a	0,1	10	4
Verunreinigung	Ge-68+	270,1 d	0,1	10	2
Verunreinigung	In-110m	69,1 m	10	k. A.	k. A.
Verunreinigung	In-114m+	50,0 d	10	100	20
Verunreinigung	Lu-177m+	160,3 d	0,1	k. A.	k. A.
Verunreinigung	Sr-90+	28,8 a	1	40	4
Verunreinigung	Tc-99	2,1·10 <sup>5</sup> a	1	6	0,6
Verunreinigung	Te-121	19,2 d	10	k. A.	k. A.
Verunreinigung	Te-121m	154,0 d	1	k. A.	k. A.
Verunreinigung	Te-123m	119,5 d	1	100	30
Verunreinigung	Th-227	18,7 d	10	10	10
Verunreinigung	Y-88	106,6 d	0,1	7	2
Verunreinigung	Y-91	58,5 d	100	1000	1000
Verunreinigung	Yb-175	4,2 d	100	k. A.	k. A.

Soweit für Radionuklide keine Werte angegeben sind, aber benötigt werden, sind diese im Einzelfall zu berechnen. Anderenfalls können für die Oberflächenkontamination die Werte 0,1 Bq/cm<sup>2</sup> (für Alpha-Strahler oder Radionuklide, die durch Spontanspaltung zerfallen), 1 Bq/cm<sup>2</sup> (für Beta- und Gammastrahler) bzw. 100 Bq/cm<sup>2</sup> für Elektroneneinfang und Betastrahler mit einer max. Betagrenzenergie von 0,2 MeV) angenommen werden [SSV 18].

### 3.1.3 Befragte nuklearmedizinische Einrichtungen

Sowohl für Teil 2 und Teil 3 des AP1 wird auf Informationen von Betreibern nuklearmedizinischer Einrichtungen zurückgegriffen. Um eine weitgehend repräsentative Übersicht zu erhalten, wurden in der 2. Februarwoche 2020 206 Einrichtungen per E-Mail sowie auf dem Postweg kontaktiert. Dabei wurde darauf



geachtet, dass die kontaktierten Einrichtungen, das Spektrum der nuklearmedizinischen Einrichtungen abdecken, sodass 41 Universitätskliniken, 63 Kliniken/Krankenhäusern mit nuklearmedizinischer Abteilung, 27 Medizinische Versorgungszentren (MVZ) und 75 Privatpraxen angeschrieben wurden. Weiterhin wurde die Fragebogenaktion mittels gezielter telefonischer Nachfragen unterstützt.

Die Einrichtungen sind dabei durch die Bundesrepublik Deutschland verteilt, wie Tabelle 16 in Abschnitt 5.3 auf S. 44 zeigt.

### 3.1.4 Rücklauf

Von den kontaktierten Einrichtungen erfolgte der Rücklauf an ausgefüllten Fragebögen gemäß Tabelle 4. In dieser Tabelle sind dabei nur diejenigen Einrichtungen berücksichtigt, die Daten übergeben haben. Unter allen Rückmeldungen befinden sich auch einige Praxen, die sich telefonisch oder per E-Mail gemeldet haben, dass sie nicht von der Umfrage betroffen seien, da bei ihnen keine Nuklide mit einer HWZ von > 100 Tagen zum Einsatz kämen. Diese Praxen werden in der nachfolgenden Tabelle 4 unter den „Rückmeldungen“ nicht mitgezählt. Weiterhin kam speziell von einigen nuklearmedizinischen Einrichtungen im Freistaat Sachsen die Rückmeldung, dass die Teilnahme an der Umfrage verweigert wird. Als Hintergrund wurde angeführt, dass das LfULG im Jahr 2019 bereits eine inhaltlich sehr ähnliche Umfrage durchgeführt hat, bei der nahezu identische Fragen gestellt wurden und an welcher die betreffenden Einrichtungen teilgenommen haben.

**Tabelle 4: Rücklauf der Fragebögen**

Typ	Anzahl	Rückmeldungen Anzahl	Rückmeldungen Prozent [%]
Universitätsklinik	41	3	7,3
Klinik	63	7	11,1
Med. Vers. Zentr.	27	3	11,1
Privatpraxis	75	5	6,7
Gesamt	206	18	8,7

### 3.1.5 Radionuklide

Im Rahmen der Umfrage kommen bei den nuklearmedizinischen Einrichtungen in Summe 15 Wirknuklide zum Einsatz, die in Tabelle 5 aufgeführt sind. Bei den Werten handelt es sich um die im Durchschnitt pro Quartal verbrauchten Aktivitäten, für die keine Unterscheidung nach Typ der nuklearmedizinischen Einrichtung erfolgt. Wie in Tabelle 5 zu sehen, dominieren die Untersuchungen mit Tc-99m, die einen Anteil von 98,1 % an der verbrauchten Aktivität pro Quartal haben. Einzelne Kliniken geben einen Verbrauch von bis zu ca. 4,3 TBq pro Quartal an und auch bei Privatpraxen in Großstädten, die z. T. ausschließlich Tc-99m-Untersuchungen anbieten, können ~ 100 GBq pro Quartal benötigt werden. In der Umfrage wurde von einigen Einrichtungen Mo-99 als Wirknuklid angegeben, das real jedoch nur in Form des Tochternuk-

<sup>4</sup> Nicht für alle in Anlage 4, Tab. 1 StrlSchV aufgeführten Nuklide wurden die Freigabewerte der Spalten 4-14 berechnet, sodass diese Spalten in der Verordnung leer geblieben sind. Entsprechende Leerstellen sind in Tabelle 3 mit der Angabe „k. A.“ gekennzeichnet.

<sup>5</sup> Für Cr-51 gibt es die Besonderheit, dass dieses Nuklid sowohl als Wirknuklid (In-vivo-/In-vitro-Diagnostik für rote Blutkörperchen) als auch als Verunreinigung (bei Y-90) vorkommt.

lids Tc-99m eingesetzt wird. Aus der Aktivitätsangabe zu Mo-99 kann jedoch nicht eindeutig auf die eingesetzte Tc-99m-Aktivität geschlossen werden, sodass die Aktivitätsangaben zu Mo-99 (ca. 1,9 TBq im Vergleich zu 238,95 TBq an Tc-99m) nicht in die Auswertung der Umfrage einfließen. Da Tc-99m auch ohne die nicht berücksichtigten Mo-99-Aktivitäten den mit Abstand höchsten Aktivitätsbeitrag hat, führt diese Nichtberücksichtigung zu keiner relevanten Veränderung der nuklidspezifischen Aktivitätsverteilung.

Die zweit- und dritthäufigsten Nuklide sind F-18 (1,5 TBq) und I-131 (1,4 TBq), die jedoch bezogen auf Tc-99m zwei Größenordnungen niedriger liegen. Der Anteil sämtlicher anderer, verwendeter Nuklide ist nochmals eine Größenordnung niedriger. Aus Tabelle 5 werden alle Nuklide in (Universitäts-)Kliniken genutzt, wobei F-18, Ga-68, Sm-153, Ra-223 und Lu-177 ausschließlich in (Universitäts-)Kliniken bzw. teilweise auch in Medizinischen Versorgungszentren zum Einsatz kommen, die aber an ein großes Krankenhaus angebunden sind. Die Nuklide Er-169 und Re-186 werden laut Umfrage von Medizinischen Versorgungszentren und privaten Praxen genutzt, wobei diese Rückmeldungen von Einrichtungen stammen, die ebenfalls an große Krankenhäuser angebunden sind. Private Praxen hingegen bieten in erster Linie Untersuchungen mit Tc-99m, Y-90 und allen in Tabelle 5 genannten Iod-Isotopen an. Die meisten Praxen haben zwei, einzelne Praxen maximal vier Wirknuklide im Einsatz. Bei den großen Einrichtungen können es bis zu neun Wirknuklide sein.

**Tabelle 5: Nuklidspezifische Aktivitätsverteilung aus Umfrage**

Nuklid	Menge [TBq]	Prozentualer Anteil
Tc-99m	238,9538	98,09
I-125	0,0002	< 0,01 %
Tl-201	0,0001	< 0,01 %
Lu-177	0,7880	0,32
Ra-233+	0,0402	0,02
Y-90	0,5118	0,21
I-123	0,0795	0,03
I-131	1,4241	0,58
Sm-153	0,0127	< 0,01 %
Er-169	0,0016	< 0,01 %
Re-186	0,0018	< 0,01 %
F-18	1,4603	0,60
Ga-68	0,0350	0,01
In-111	0,2884	0,12
Summe	243,5974	100,0

### 3.1.6 Radiopharmakahersteller

Ebenso wie in der Umfrage bei den nuklidspezifischen Aktivitäten Tc-99m mit einem Anteil von > 95 % die medizinisch genutzte Aktivität dominiert, ist bezogen auf die Aktivitätsmenge der mit Abstand größte Lieferant GE Healthcare, der die Umfrageteilnehmer mit den Nuklide Tc-99m, I-123 und I-131 versorgt (siehe Tabelle 6). Der stofflich vielseitigste Hersteller ist CURIUM, der gemäß Umfrage sieben verschiedene Wirknuklide im Angebot hat (Y-90, Tc-99m, I-123, I-131, Sm-153, Er-169 und Re-186). Für Ra-223 (Bayer), In-111 (Mallinckrodt), F-18 (Eckert & Ziegler), Er-169 und Re-186 (CURIUM) sowie für im Reaktor produziertes und damit Lu-177m-freies Lu-177 (ITG) gibt es gemäß der Umfrage Monopole, für alle anderen Wirknuklide wurden mehrere Hersteller genannt.

**Tabelle 6: Radiopharmakahersteller**

Hersteller	TBq	Prozentualer Anteil
Wechselnde Hersteller oder ohne Herstellangabe	0,830	0,34 %
AAA	0,450	0,18 %
Bayer Vital GmbH	0,040	0,02 %
Boston Scientific: BTG PLC	0,060	0,02 %
CURIUM	7,439	3,03 %
Eckert & Ziegler	1,460	0,60 %
PerkinElmer, Euroimmun	0,000	0,00 %
GE Healthcare	233,489	95,10 %
AAA: GIPHARMA	0,046	0,02 %
HDZ-NRW Bad Oeynhausen	0,053	0,02 %
AAA: IDB Holland	0,050	0,02 %
IRE ELiT Radiopharmaka	0,035	0,01 %
ITG	0,235	0,10 %
Mallinckrodt	0,289	0,12 %
ROTOP	1,008	0,41 %
Sirtex Medical	0,032	0,01 %
ThermoFisher Scientific	0,000	0,00 %
Summe	245,516	100,0 %

Die folgende Tabelle 7: Daten zu Radiopharmakaherstellern aus der Umfrage enthält alle in der Umfrage genannten Hersteller von Radiopharmaka sowie den Firmensitz und die jeweiligen Produktionsstätten. Bei den Herstellern sind z. T einzelne Firmennamen genannt, bei denen das Impressum der Herstellerwebseiten zeigt, dass die Hersteller zu einer Firmengruppe gehören. Dies betrifft z. B. GIPHARMA und IDB Holland, die zu AAA gehören, die wiederum Teil der Novartis Group sind und damit ein Quasi-Monopol für beschleunigerproduziertes Lu-177 besitzen (3 von 4 Herstellern). Bei der Curium Germany GmbH sowie der CIS bio GmbH handelt es sich um zwei deutsche 100 %-Tochtergesellschaften des französischen Herstellers Curium. Weiterhin sind die – soweit über die Herstellerwebseiten auffindbaren – Produktionsstätten der Hersteller genannt. Dabei zeigt sich, dass auch bei im juristischen Sinne deutschen Herstellern sich die Produktionsstätten oftmals im europäischen Ausland befinden.

**Tabelle 7: Daten zu Radiopharmakaherstellern aus der Umfrage**

<b>Hersteller</b>	<b>Wirk-nuklid</b>	<b>Firmensitz (sofern keine dt. Niederlas- sung, europ. Firmensitz)</b>	<b>Produktionsstandorte</b>
Novartis: Advanced Accelerator Applications (AAA)	Lu-177	Advanced Accelerator Applications SA 20 Rue Diesel 01630 Saint-Genis-Pouilly Frankreich	Insg. 19 Standorte in 8 Ländern, darunter insb. für Lu-177: Bonn/Deutschland Baale-Nassau/Niederlande Meldola/Italien
Bayer Vital GmbH	Ra-223	Bayer Vital GmbH Geschäftsbereich Pharma Kaiser-Wilhelm-Allee Geb. K 56 51368 Leverkusen	Leverkusen/Deutschland
Boston Scientific Corporation: BTG PLC	Y-90	International: Boston Scientific Peripheral Interventions 300 Boston Scientific Way Marlborough, MA USA Deutschland: Boston Scientific Medizintechnik GmbH Daniel-Goldbach-Straße 17 – 27 40880 Ratingen	Insg. 12 Produktionsstandorte in 5 Ländern: USA Malaysia Irland Costa Rica Puerto Rico
CURIUM: CIS bio GmbH CURIUM Germany GmbH	Y-90	Curium Global Headquarter 63 avenue des Champs-Élysées 75008 Paris Frankreich CIS bio GmbH Alt-Moabit 91 d 10559 Berlin Curium Germany GmbH Alt-Moabit 91 d 10559 Berlin	USA: Maryland Heights/Missouri Noblesville/Indiana Petten/Niederlande Saclay/Frankreich
	Tc-99m		
	I-123		
	I-131		
	Sm-153		
	Er-169		
	Re-186		
Eckert & Ziegler f-con Deutschland GmbH	F-18	Eckert & Ziegler Strahlen- und Medizintechnik AG Robert-Rössle-Str. 10 13125 Berlin	Braunschweig/Deutschland
PerkinElmer, Inc: Euroimmun	I-125	EUROIMMUN Medizinische Labordiagnostika AG Seekamp 31 23560 Lübeck	Deutschland: Lübeck, Dassow, Groß Grönau, Herrnhut (OT Rennersdorf), Pegnitz, Bernstadt, Selmsdorf

Hersteller	Wirk-nuklid	Firmensitz (sofern keine dt. Niederlas- sung, europ. Firmensitz)	Produktionsstandorte
GE Healthcare	I-123	Europa: GE Healthcare Europe GmbH Industriepark Höchst 65926 Frankfurt am Main  Deutschland: GE Healthcare GmbH Beethovenstr. 239 42655 Solingen	Für I-123/I-131 und Tc-99m: Braunschweig/Deutschland Eindhoven/Niederlande Petten/Niederlande
	I-131		
	Tc-99m		
AAA: GIPHARMA	Tc-99m	Gipharma S.r.l. Strada Crescentio 13040 Saluggia (VC) Italien	Gehört seit 2009 zu AAA, In Saluggia Produktion von SPECT/PET-Nukliden
HDZ-NRW Bad Oeynhausen	Lu-177	Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen Universitätsklinik der Ruhr- Universität Bochum Krankenhausbetriebsgesell- schaft Bad Oeynhausen mbH (öffentlich-rechtliche Träger- schaft) Georgstr. 11 32545 Bad Oeynhausen	Bad Oeynhausen/Deutschland
AAA: IDB Holland	Lu-177	AAA: s. oben IDB Holland bv Advanced Accelerator Ap- plications company Weverstraat 17 5111 PV Baarle-Nassau Niederlande	Baarle-Nassau/Niederlande
IRE ELiT Radiopharmaka	Ga-68	IRE ELiT Radiopharmaka Avenue de l'Espérance 1 B-6220 Fleurus Belgien	Fleurus/Belgien
ITG Isotope Techno- logies Garching GmbH	Lu-177	ITG Isotope Technologies Garching GmbH Lichtenbergstr. 1 85748 Garching b. München	Garching/Deutschland
Mallinckrodt Pharmaceuticals	In-111	Global Headquater 3 Lotus Park, The Causeway, Staines-upon-Thames TW18 3AG Vereinigtes Königreich	Dublin/Irland
	I-123		
ROTOP Pharmaka GmbH	Tc-99m	ROTOP Pharmaka GmbH Bautzner Landstr. 400 01328 Dresden	Otwock/Polen
Sirtex Medical	Y-90	Sirtex Medical Europe GmbH Joseph-Schumpeter-Allee 33 53227 Bonn	Frankfurt/Deutschland Boston/USA Singapur/Singapur

Hersteller	Wirk-nuklid	Firmensitz (sofern keine dt. Niederlas- sung, europ. Firmensitz)	Produktionsstandorte
Thermo Fisher Scientific Inc.	I-125	International: Thermo Fisher Scientific Pierce Biotechnology P.O. Box 117 Rockford, IL 61105 USA Deutschland: Thermo Fisher Scientific GmbH Im Steingrund 4-6 63303 Dreieich	Erembodegem/Belgien NN Bleiswijk/Niederlande

In Tabelle 8: Verwendete Radiopharmaka aus der Umfrage sind die verwendeten Radiopharmaka, die sich aus den Umfrageergebnissen ergeben, und die jeweiligen Darreichungsformen aufgeführt.

**Tabelle 8: Verwendete Radiopharmaka aus der Umfrage**

Radiopharmakon/Wirkstoff	Produktname	Darreichungsform <sup>6</sup>
F-18-Cholin	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
F-18-FDG	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
F-18-PSMA	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
Ga-68-DOTATATE	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
I-123-loflupan	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
Ortho-I-123-Hippursäure	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
Natrium-(I-125)-Iodid-Beads	Thermo Scientific™ Pierce Jodierungs-Beads	Markierungskit in Durchstechflasche
I-125 für Radioimmunassay	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
I-131-MIBG	Keine Angabe	Infusionslösung in Durchstechflasche
I-131-Therapiekapsel	Keine Angabe	Hartkapsel
In-111-Octreotid	Octreoscan®	Markierungskit in Durchstechflasche
Lu-177-Oxodotreotid	Lutathera®	Infusionslösung in Einzeldosis-Durchstechflasche
Ra-223-Dichlorid	Xofigo®	Injektionslösung in Durchstechflasche
Sm-153-EDTMP	Quadramet®	Injektionslösung in Durchstechflasche
Tc-99m-DMSA	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-DTPA	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-HDP	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-HMPAO	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-MAA	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche

<sup>6</sup> Die Darreichungsform wurde nicht in der Umfrage abgefragt, sondern nachträglich auf Basis von Fachliteratur und öffentlich einsehbaren Leistungsverzeichnissen von nuklearmedizinischen Einrichtungen ergänzt.

Tc-99m-MAG3	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-MDP	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-Nanokolloid	Nanocoll	Markierungskit in Durchstechflasche
Tc-99m-Sestamibi	Keine Angabe	Markierungskit in Durchstechflasche
Tl-201-Chlorid	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
Y-90- Mikrosphären	TheraSphere™	Markierungskit in Durchstechflasche
Y-90-Citrat YMM-1	Keine Angabe	Injektionslösung in Durchstechflasche
Y-90-Harz-Mikrosphären	SIR-Spheres®	Markierungskit in Durchstechflasche
Y-90-Ibritumomab-Tiuxetan	Zevalin®	Markierungskit in Durchstechflasche
Y-90-Trichlorid	Ytracis®	Markierungskit in Durchstechflasche

### 3.1.7 Abfalldaten

Der Begriff des „Abfalls“ bezieht sich in diesem Bericht ausschließlich auf konventionelle medizinische Abfälle mit einer Aktivitätsmenge, die vor dem Gesetz keinen radioaktiven Stoff mehr darstellen. Sofern sich der Text auf radioaktive, abgabepflichtige Abfälle im Sinne § 5, Absatz 4 AtEV [AEV 18] bezieht, wird durchgängig die Bezeichnung „radioaktiver Abfall“ verwendet. Im Fragebogen an die nuklearmedizinischen Einrichtungen, vgl. Kapitel 5.1, werden die folgenden Informationen erfasst:

- Art der Abfälle (z. B. Papierhandtücher, Kanülen, Vials, etc.)
- Verunreinigt mit: Radiopharmakon bzw. wesentliches Wirknuklid
- Sammelbehälter (z. B. Tonne, Wäschesack)
- Menge pro Quartal (z. B. Gebindeanzahl oder in kg)

Anhand der Rückmeldungen ergeben sich folgende feste Abfälle:

- Vials, Kanülen
- Einmalhandschuhe / Papierhandtücher / Einmalunterlagen
- Abdeckungen
- Mess-/Blutröhrchen
- Tupfer
- Schlauchsysteme
- Feste Abfälle (Radioimmunassay(RIA)-Labor)
- Glasbehälter
- Wäsche

Als flüssige Abfälle wurden Abfälle aus dem RIA-Labor genannt. Flüssige Abfälle sind dabei nur in (Universitäts-)Kliniken und einem Medizinischen Versorgungszentrum angefallen, da unter den teilnehmenden Privatpraxen keine Diagnostik- und/oder Therapieformen mit einem notwendigen stationären Aufenthalt angeboten werden, durch die flüssige Abfälle entstehen.

Die Mengen an radioaktiven Abfällen schwanken in der Umfrage stark, wobei der größte Einflussfaktor die Art der Einrichtung ist. So entstehen pro Quartal an (Universitäts-)Kliniken im Mittel ca. 1.176 kg an festen Abfällen, ca. 177 kg in Medizinischen Versorgungszentren und in Privatpraxen im Durchschnitt 54 kg. Eine präzise Auflösung, wie hoch die das Abfallaufkommen je Nuklid ist, kann auf Basis der Antworten im Fragebogen nicht durchgeführt werden, da bei 11 von 18 Einrichtungen im Fragebogen Summenmassen für mehrere Nuklide angegeben wurden, z. B. 2,0 kg an Kanülen mit Lu-177 und Y-90.

Während in den festen Abfällen sämtliche Nuklide aus den Radiopharmaka vorhanden sind, wurden für die flüssigen Abfälle nur I-131, I-125 und Lu-177 bzw. Lu-177m angegeben.

### 3.1.8 Verpackungen/Sortierungen

In der Umfrage wurde zudem nach den Behältnissen gefragt, in denen die entstehenden Abfälle gesammelt werden. Dabei zeigt sich ein sehr homogenes Bild, bei dem die folgenden Verpackungen genannt wurden:

- Kunststoffbehälter / Kanülenabwurfbehälter
- Karton mit integriertem Kunststoffsack (Produktname: „Halipac“)
- Kunststoffsack
- Kunststoffflasche mit Weithals (Produktname: „Kautexflasche“)
- 60-l-Tonne mit Kunststoffsack und
- Wäschesack

Bei ausnahmslos allen Einrichtungen erfolgt die Sammlung des Abfalls in durchstichsicheren Kunststoffbehältern (PE-Behälter, zu denen auch die sog. Kautex-Flaschen gehören). Alle anderen Abfälle, für die keine Sicherung gegen Durchstich erfolgen muss, werden in Säcken gesammelt, die z. T. in Metall- oder Kunststofftonnen aufbewahrt werden. Die Kartonverpackungen (Halipac) wurden nur von zwei Einrichtungen genannt. Generell sind zwar unterschiedliche Größen, aber wenig unterschiedliche Verpackungstypen im Einsatz. Die meisten Einrichtungen verwenden zwei Verpackungstypen (Kunststoffbehälter und Säcke). Die maximal bei einer Einrichtung genannte Anzahl an Verpackungstypen beträgt 3 (Säcke, Tonnen, Halipac oder Säcke, Kunststoffbehälter, Tonne).

In Tabelle 9 sind zu den in der Umfrage genannten Gebinden die erhältlichen Größen sowie üblichen Materialien und Wandstärken aufgeführt.

**Tabelle 9: Übliche Abfallgebinde und deren Eigenschaften**

Behältnis	Beispiel	Volumen	Material	Wandstärke
Kunststoffbehälter	Septobox Safe® Euromatic der Firma Hammerlit	0,5 - 6,0 Liter	Polyethylen (PE), Polypropylen (PP)	min. 1,7 mm
Kanülenabwurfbehälter	Halibox® - flüssigkeitsdicht von der Firma Hammerlit	0,5 - 2,3 Liter	Polypropylen	min. 1,7 mm
Kartons mit integriertem Kunststoffsack	Halipac® von der Firma Hammerlit	45 Liter	Spezialkarton mit PE-Sack	Karton: ca. 2 mm PE-Sack: 0,08 - 0,12 mm
Kunststoffsäcke	-	1 - 70 Liter	Vernetztes Polyethylen (VPE, auch als PE-X bzw. XLPE bezeichnet)	0,06 mm
Kunststoffflaschen mit Weithals	Weithalsflaschen von KAUTEX®	50 ml - 2 Liter	Polyethylen mit niedriger/hohere Dichte (LDPE/HDPE)	1-1,5 mm
60-l-Tonnen mit Foliensack	-	Genannt 60 Liter, erhältlich in 30 - 120 Liter	Tonne: Metall (Stahlblech) oder HDPE Foliensack: Polyethylen	Tonne: ca. 1 mm Stahlblech bzw. ca. 5 mm HDPE Foliensack: 0,06 mm



Die detaillierten Verpackungsinformationen sind für die Messung von Gamma-emittierenden Wirk- und Verunreinigungsnucliden mit notwendig, da bei Gamma-Emission grundsätzlich auch eine messtechnische Aktivitätsbestimmung des Abfalls innerhalb der Verpackung möglich ist. Hierzu müssen jedoch die Abstände von Messgut zu Detektor sowie die Abschirmung durch Verpackungsmaterial berücksichtigt werden.

Auf Nachfrage bei einer großen Klinik wird beschrieben, dass für Abfälle ein Sortierungssystem vorliegt, dass sich allerdings nur an der HWZ der Wirknuclide orientiert: dabei werden alle Abfälle mit HWZ < 100 Tagen gemeinsam gesammelt, da ausreichend große Lagerkapazitäten zur Abklinglagerung vorhanden sind. Alle Nuclide mit HWZ > 100 Tagen werden wirknuclidrein gesammelt, wobei für Kanülen eine Ausnahme gemacht wird. Aufgrund der Erfahrung, dass Kanülen häufig versehentlich in den nicht dafür vorgesehenen Abwurfbehälter gegeben und die falsch eingeworfenen Kanülen in Hinblick auf das Verletzungsrisiko auch nicht mehr aus dem Abwurfbehälter herausgeholt werden sollen, wird bei den Kanülenabwurfbehältern nicht mehr nach Nuklid sortiert, sondern alle Abwurfbehälter als radioaktiver Abfall an die Landessammelstelle abgegeben.

### 3.1.9 Messgeräte

Im Rahmen der Umfrage werden die folgenden Messgeräte genannt, wobei mit Ausnahme der Dosisleistungsmessgeräte, Hand-Fuß-Kleider-Monitore und Bohrlochmessplätze alle Messgeräte grundsätzlich – d. h. bei Vernachlässigung des konkreten Messguts – für die Durchführung von Freigabemessungen geeignet sind.

**Tabelle 10: Messgerätetypen in nuklearmedizinischen Einrichtungen**

Messgerätetyp	Vorhanden in	Mittlere Stückzahl	Zur Freimessung grundsätzlich geeignet
Kontaminationsmonitor	alle	5	Ja
LSC	Nur Universitätskliniken	2	Ja
Freimessanlage (NaI- oder Plastikszintillatoren)	Kliniken, Universitätskliniken	1	Ja
Gammastrahlenspektrometrie-Messplatz	Nur Universitätskliniken	2	Ja
Dosisleistungsmessgerät	alle	4	Nein <sup>1)</sup>
Hand-Fuß-Kleider-Monitor	alle	k. A. <sup>7</sup>	Nein
Bohrlochmessplatz	alle		Nein <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Ungeeignete Detektorgeometrie bzw. Bauart und/oder falscher Messbereich*

In Tabelle 11 sind die aus der Umfrage zur Messtechnik ausgewerteten Angaben dargestellt. Nicht in allen Umfrageergebnissen wurden Gerätetypen angegeben. Daher werden in der nachfolgenden Tabelle die Umfrageantworten zu den vorhandenen Geräten, Messplätzen oder Detektoren zusammengefasst.

<sup>7</sup> Die mittlere Anzahl der Hand-Fuß-Kleider-Monitore und Bohrlochmessplätze kann nicht angegeben werden, da insb. beim Rücklauf aus Kliniken/Universitätskliniken keine Angaben gemacht wurden. Aufgrund des Einsatzbereiches sind diese beiden Messgeräte in ausnahmslos allen Einrichtungen vorhanden, sind aber in Hinblick auf die Freigabemessung von Abfällen ohne Relevanz.

**Tabelle 11: In Umfrage genannte zur Freigabemessung geeignete Messgeräte und deren Hersteller**

Messgerätetyp	Hersteller	Gerät, Messplatz oder Detektor
Kontaminationsmonitor	Berthold	LB124-SCINT, LB1210B, LB122
	NUVIA	CoMo170
	Thermofischer	FHT111M, Thermo Eberline E511
LSC	Emetron	Szintillatormessplatz
Freimessanlage	NUVIA	F25, FMS-FR-10 NaI, FMS-FR 4, FMS-FR-8
Gammaspektrometrie-Messplatz	Ortec	HPGe-Halbleiterdetektor
	CANBERRA	HPGe-Halbleiterdetektor
	Dr. Westmaier GmbH	Vielkanalanalysator, gekoppelt mit Halbleiterdetektor
	Target Systemelektronik Solingen	AMS-70 (Drehteller-Fassmessanlage)

In Hinblick auf die Anwendbarkeit zur Freigabemessung verfügen alle Einrichtungen über Kontaminationsmonitore (KoMo). Da Kontaminationsmonitore nur Impulse zählen, für die keine Energieauflösung erfolgt, muss vor der Messung bekannt sein, welches Nuklid gemessen werden soll bzw. bei Nuklidgemischen muss ein Referenznuklid bestimmt werden – z. B. das Nuklid mit dem kleinsten Freigabewert – auf das die vom Kontaminationsmonitor gezählten Impulse umgerechnet werden. Die Methode eines Referenznuklids funktioniert sowohl für Alpha- als auch für Beta-Strahler. Nuklidgemische aus Alpha- und Beta-Strahlern können somit gemessen werden, da Kontaminationsmonitore über einen  $\alpha$ - sowie  $\beta/\gamma$ -Kanal verfügen. Hinsichtlich  $\gamma$ -emittierender Nuklide kann ein Kontaminationsmonitor mit hoher Zuverlässigkeit für Energien unterhalb ca. 50 keV (Erfahrungswert) eingesetzt werden, sofern zuvor sichergestellt werden kann, dass im Messgut keine  $\beta$ -Strahler vorliegen.

In einem Flüssigszintillationszähler können sowohl Alpha- als auch für Beta-Strahler gemessen werden, jedoch funktioniert diese Messmethode nur dann sehr zuverlässig, wenn ausschließlich ein Nuklid vorliegt. In diesem Fall ist auch eine Identifizierung des Nuklids möglich. Für Nuklidgemische kann ein LSC nur dann eingesetzt werden, wenn zum einen das zu messende Nuklid beim Zerfall Korpuskularstrahlung ( $\alpha$ - und/oder  $\beta$ -Strahlung) erzeugt und zum anderen bei Anwesenheit mehrerer Betastrahler sich die Endpunktenergien deutlich unterscheiden, da ansonsten aus dem erzeugten Spektrum keine Zuordnung der Aktivität zum jeweiligen Nuklid mehr möglich ist. Wie Tabelle 12 zeigt, ist ein LSC nur für sehr wenige der hier betrachteten Nuklide anwendbar und der Aufwand im Vorfeld der Messung kann u. U. beträchtlich sein: So funktioniert eine Alpha-Messung im LSC exzellent, jedoch muss zuvor das Messgut verascht werden.

Weiterführende Messtechnik wie Freimessanlagen/Freimesskammern sowie Messplätze für Gammaspektrometer sind nur in Kliniken bzw. Universitätskliniken vorhanden und ausschließlich zur Messung aller Gamma-Emitter geeignet. Für Freimessanlagen muss noch die Einschränkung berücksichtigt werden, dass sich Nuklide mit Gammalinien  $< 150$ - $160$  keV unabhängig des Messguts aufgrund der Detektoranordnungen nur unter bestimmten Randbedingungen messen lassen, für die eine Einzelfallbetrachtung notwendig ist.

### 3.1.10 Generelle Eignung von Messgeräten

In der folgenden Tabelle 12 sind in Abhängigkeit der Nuklide die grundsätzliche Messbarkeit mit verschiedenen Messmethoden aufgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit dem Kontaminationsmonitor nur Impulse gemessen werden, über die rechnerisch auf die spezifische Aktivität geschlossen wird. Die Abfallart und die Verpackung werden dabei nicht berücksichtigt, sondern nur die Grenzen, die sich aufgrund

der Messtechnik ergeben bzw. die Grenzen, die durch die Randbedingungen entstehen. So kann z. B. Lu-177m grundsätzlich sehr gut mit einem Gammaskpektrometer gemessen werden. Da jedoch das natürlich vorkommende Nuklid Ac-228 im entsprechenden Energiebereich ebenfalls eine  $\gamma$ -Linie aufweist, muss der Messaufbau durch Abschirmung, z. B. eine sog. Bleiburg, gegen diese Interferenz geschützt werden.

Unter der Annahme, dass eine Freigabeentscheidung ausschließlich auf messtechnischer Basis, also ohne weitere rechnerische Methoden, erfolgen soll, können die folgenden Nuklide nur mit hohem Aufwand oder teilweise nicht identifizierend gemessen werden:

- Ge-68+
- In-114m+
- I-125
- Lu-177m
- Ac-227+/Th-227

**Tabelle 12: Übersicht grundsätzliche Eignung von Messmethoden für Wirk- und Verunreinigungsnuklide**

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-figkeit [%]	Tochter-nuklid	Verun-reini-gung	HWZ	Strah-lungs-art	Ener-gie [keV]	Häufig-keit [%]	Tochter nuklid	KoMo	LSC	Gamma-spekτρο-meter	Freimessan-lage
F-18		109,77 m		Elektroneneinfang, Beta-Plus (100 %)		249,8		96,7		O-18 (stabil)		k. A.		Nicht notwendig	
Cr-51		27,704 d		Elektroneneinfang mit Folgegama (100 %)		320,1		9,91		V-51 (stabil)		k. A.		Nicht notwendig	
Ga-68	67,71 m	Elektronen-einfang, Beta-Plus (100 %)	836,05	87,82	Zn-68 (stabil)	Ge-68+	270,93 d	Elektro-nenein-fang (100 %)	(Rönt-gen-strah-lung)	100	Ga-68 (Wirk-nuklid)	Nein	Nein	(Ja) über 511 keV	Nein
		Folge-gamma	1077,3	3,2											

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-figkeit [%]	Tochter-nuklid	Verun-reini-gung	HWZ	Strah-lungs-art	Ener-gie [keV]	Häufig-keit [%]	Tochter nuklid	KoMo	LSC	Gamma-spekτρο-meter	Freimessan-lage
Y-90	64,053 h	Beta-Minus (100 %)	933,7	100	Zr-90 (stabil)	Sr-90+	28,79 a	Beta-Mi-nus (100 %)	195,8	100	Y-90 (Wirk-nuklid)	Ja	Ja, aber in Gemisch ohne Identifi-kation	Nein	Nein
						Y-91	58,51 d	Beta-Mi-nus (100 %)	604,31	99,97	Zr-91 (stabil)	Ja, aber in Gemisch ohne Identifi-kation	Ja, aber in Gemisch ohne Identifi-kation	Nein	Nein
								Folge-gamma	1204,8	0,26		Nein	Nein	(In-Situ-) GammaSpe	Ja
						Y-88	106,63 d	Elektro-nenein-fang, Beta-Plus (100 %)	359,5	0,21	Sr-88 (stabil)	Nein	Ja, aber in Gemisch ohne Identifi-kation	Nein	Nein
								Folge-gamma	1836,1	99,2		Nein	Nein	(In-Situ-) GammaSpe	Ja
						Cr-51	27,70 d	Elektro-nenein-fang, Folge-gamma (100 %)	320,1	9,91	V-51 (stabil)	Ja	Nein	Ja	Ja

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-figkeit [%]	Tochter-nuklid	Verun-reini-gung	HWZ	Strah-lungs-art	Ener-gie [keV]	Häufig-keit [%]	Tochter nuklid	KoMo	LSC	Gamma-spektro-meter	Freimessan-lage
Mo-99	65,924 h	Beta-Minus (87,9 %)	442,9	82,2	Tc-99m (rad.), IT zu Tc-99 (rad.), Beta-Mi-nus zu Ru-99 (stabil)	Tc-99	211.100 a	Beta-Minus (100 %)	84,6	99,9	Ru-99 (stabil)	Ja	Ja	Nein	Nein
		Folge-gamma (12,1 %)	739,5		Tc-99 (rad.), Beta-Mi-nus zu Ru-99 (stabil)										
Tc-99m	6,0 h	IT (99,9963 %)	140,511	89,0	Tc-99 (rad.) Ru-99 (stabil)										
		Beta-Minus (0,0037 %)	101,9	0,0026	Ru-99 (stabil)										

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	Verunrei-nigung	HWZ	Strahlungs-art	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	KoMo								
In-111	2,8047 d	Elektronen-einfang (100 %) mit Folge-gamma	245,4	94,1	Cd-111 (stabil)	In-110	4,92 h	Elektronen-einfang, Beta-Plus (100 %)	174,6	0,008	Cd-110 (stabil),	Nicht notwendig								
								Folgegamma	657,8 / 884,7	98,0 / 93,0										
						In-114m+	49,51 d	IT (96,75 %) zu In-114 mit Gamma, 190,27 keV / 15,56 %						778,8	99,36	In-114 (rad., 71,9 s), Beta-Minus (99,5 %) zu Sn-114 (stabil)	Ja, aber ohne Identifi-kation	Ja, aber in Ge-misch ohne Identifi-kation	Nein	Nein
														1299,8	0,14	Folgegamma	Nein	Nein	(In-Situ-) Gam-maSpe	Ja
														196,7	0,0034	In-114 (rad., 71,9 s), El.einfang, Beta-Plus (0,5 %) zu Cd-144 (stabil)	Nein	Ja, aber in Ge-misch ohne Identifi-kation	Nein	Nein
														Elektronen-einfang, Beta-Plus (3,25 %) mit Folgegamma	725,3 / 558,4	jew. 4,4	Cd-114 (stabil)	Nein	Nein	Ja

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	Verunrei-nigung	HWZ	Strahlungs-art	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	KoMo				
I-123	13,2235 h	Elektronen-einfang, Beta-Plus (100 %) mit Folge-gamma	159	83,3	Te-123 (rad., 9,2·10 <sup>16</sup> a) Elektro-neneinfang zu Sb-123 (stabil)		I-125	59,407 d	Elektronen-einfang mit Folgegamma	35,5	6,68	Te-125 (stabil)	Ja	Nein	Grenz-wertig	Nein
							Te-121	19,17 d	Elektronen-einfang, Beta-Plus (100 %) Fol-gegamma	573,1 / 507,6	80,4 / 17,7	Sb-121 (stabil)	Nein	Nein	(In-Situ-) Gam-maSpe	Ja
							Te-121m	154 d	IT (88,6 %) zu Te-121	212,2	81,5	Te-121 (rad., 19,17 d), Beta-plus zu Sb-121 (stabil)	Nein	Nein	(In-Situ-) Gam-maSpe	Ja
									Elektronen-einfang, Beta-Plus (11,4 %) mit Folgegamma	1102,2	2,5	Sb-121 (stabil)	Nein	Nein	Ja	Ja
I-125	59,407 d	Elektronen-einfang (100 %) mit Folge-gamma	35,5	6,68	Te-125 (stabil)	I-126	12,93 d	Elektronen-einfang, Beta-Plus (52,7 %) mit Folgegamma	666,3	32,9	Te-126 (stabil)	Nein	Nein	Ja	Ja	
								Beta-Minus (47,3 %)	292,5 / 461,5	33,4 / 10,3	Xe-126 (stabil)	Ja	Ja	Nein	Nein	
I-131	8,025 d	Beta-Minus (100 %)	191,6	89,6	Xe-131 (stabil)	Xe-131m	11,84 d	IT (100 %) mit Folge-gamma + Röntgen-strahlung	163,93	1,95	Xe-131 (stabil)	Nicht notwendig				
		Folge-gamma	364,5	81,5					29,8	29,3						



Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	Verunrei-nigung	HWZ	Strahlungs-art	Ener-gie [keV]	Häu-fig-keit [%]	Tochter-nuklid	KoMo				
Sm-153	46,286 h	Beta-Minus (100 %)	225,3	49,4	Eu-153 (stabil)	Eu-154	8,601 y	Beta-Minus (99,982 %)	176,0	36,3	Gd-154 (stabil)	Ja	Ja	Nein	Nein	
		Folge-gamma	103,2	29,25				Folge-Gamma	123,1	40,4		Nein	Nein	(In-Situ-) GammaSpe	Nein	
								Elektronen-einfang, Beta-Plus (0,018 %): Folgegammma	184,7	0,004	Sm-154 (stabil)	Nein	Nein	(In-Situ-) GammaSpe	Grenz-wertig	
Er-169	9,392 d	Beta-Minus (100 %)	101	55	Tm-169 (stabil)	Yb-169	32,018 d	Elektronen-einfang (100 %): Fol-gegammma	63,1 / 198,0	43,6 / 35,9	Tm-169	Nein	Nein	Labor-Gam-maSpe	Ja	
Lu-177	6,647 d	Beta-Minus (100 %)	149,35	79,4	Hf-177 (stabil)	-										
						Yb-175	4,2 d	Beta-Minus (100 %)	139,5	72,9	Lu-175 (stabil)	Nicht notwendig				
		Folge-gamma	208,4 / 113,0	10,4 / 6,2		Lu-177m	160,3 d	Beta-Minus (78,6 %)	40,82	78,6	Hf-177 (stabil)	Ja	Ja	Nein	Nein	
								IT (21,4 %)	413,7	17,5	Lu-177 (Wirknuklid)	Nein	Nein	GammaSpe in Blei-burg (wg. nat. Ac-228)	Nein	

Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	Energie [keV]	Häufig-keit [%]	Tochter-nuklid	Verun-reini-gung	HWZ	Strah-lungsart	Energie [keV]	Häufig-keit [%]	Tochter-nuklid	KoMo	Wirk-nuklid	HWZ	Strah-lungsart	
Re-186	3,718 d	Beta-Minus (92,5 %)	369,2	71,0	Os-186 (rad., $2 \cdot 10^{15}$ a), Alpha zu W-182 (stabil)	Os-186	$2 \cdot 10^{15}$ a	Alpha (100 %)	2821,2	100	W-182 (stabil)	Ja	Ja	Nein	Nein	
		Folge-gamma	137,2	9,5												
		Elektro-nenein-fang (7,5 %) mit Folge-gamma	112,6	0,6	W-186 (stabil)											
Tl-201	3,0421 d	Elektro-nenein-fang (100 %) mit Folge-gamma	167,4	10	Hg-201 (stabil)	k. A.										

Ra-223+	11,43 d	Alpha (100 %)	5716,2	51,6	Rn-219 (rad.), Zerfalls- kette bis Pb-207 (stabil)	Ac-227+	21,8 a	Beta-Mi- nus (98,6 %)	11,4	ca. 54,0	Th-227 (rad.), Zerfalls- kette bis Pb-207 (stabil)	Ja, aber ohne Identifi- kation	Ja	Ja, über Zerfalls- kette	Nein
								Alpha (1,4 %)	4953,3	0,658	Fr-223 (rad.), Zerfalls- kette bis Pb-207 (stabil)	Ja, aber ohne Identifi- kation	Ja	Ja, über Zerfalls- kette	Nein
						Th-227	18,697 d	Alpha (100 %)	6038,0	24,2	Ra-223 (Wirk- nuklid), Zerfalls- kette bis Pb-207 (stabil)	Ja, aber ohne Identifi- kation	Ja	Nein	Nein
								Folge- gamma	236,0	12,9		Nein	Nein	Labor- Gamma- Spe	Nein

Erläuterung zur Farbkodierung in Tabelle 12:

■ **Datenquelle:**

Die in der Tabelle aufgeführten HWZ, Energie und die Häufigkeit stammen von [NDS 20]. Während für  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung diskrete Energieniveaus angegeben werden können, bezieht sich die Energieangabe bei  $\beta^+$  bzw.  $\beta^-$ -Zerfall auf die mittlere Energie mit der größten Häufigkeit.

■ **HWZ:**

Sofern die HWZ unter 30 Tage beträgt, ist die Zelle in der Tabelle grün hinterlegt, für eine HWZ unter 100 Tagen gelb und ab einer HWZ > 100 Tage sind die Zellen rot hinterlegt.

■ **Energie:**

Die Farbkodierung für die Energie bezieht sich auf die Messbarkeit in Abhängigkeit der Strahlungsart. Beta-Minus-Strahler mit einer häufigsten Energie > 50 keV lassen sich sehr gut messen (grün hinterlegt). Beträgt die Energie < 50 keV wird die Messung aufwendiger (gelb). Alphastrahler sind aufgrund der einfachen Abschirmbarkeit rot hinterlegt.

■ **Häufigkeit:**

Die Zerfallshäufigkeit hat einen elementaren Einfluss auf die notwendige Messdauer. Daher werden alle Zerfallshäufigkeiten mit  $\leq 1\%$  rot hinterlegt, gelb wird für  $1\% \leq$  Häufigkeiten  $\leq 5\%$  verwendet und alle höheren Häufigkeiten sind grün hinterlegt.

■ **Messgeräte (Kontaminationsmonitor, LSC, Gammaskpektrometer und Freimessanlage)**

Bei den Messgeräten wird die Zelle Grün hinterlegt, wenn das Nuklid aufgrund der Strahlungsart/Energie und Häufigkeit gut zu messen ist. Die gelbe Farbe wird für Nuklide mit einer Einsortierung als „mit Einschränkungen messbar“ verwendet und die rote Hinterlegung bedeutet, dass das jeweilige Nuklid nicht mit der entsprechenden Messtechnik möglich ist.

In der Spalte Gammaskpektrometer wird zudem zwischen In-Situ-Gammaskpektrometer und Labor-Gammaskpektrometer unterschieden. Sofern in der entsprechenden Zelle „(In-Situ)-GammaSpe“ aufgeführt ist, kann das Nuklid sowohl mit einem In-Situ- als auch mit einem Labor-Gammaskpektrometer gemessen werden. In anderen Fällen ist nur der Einsatz eines Labor-Gammaskpektrometers möglich.

### 3.1.11 Eigenschaften ausgewählter Messgeräte

Da bislang keine umfangreichen Daten zu den verwendeten Radiopharmaka und den Abfallarten vorliegen, werden die Eigenschaften der Messgeräte und deren Eignung zur Freimessung generisch und nur in Abhängigkeit der Strahlungsart bei Zerfall ( $\alpha$ -,  $\beta$ -Strahlung,  $\gamma$ -Emission) erfasst.

Dabei werden die Geräte der folgenden Messgeräthersteller berücksichtigt:

- automess – Automation und Messtechnik GmbH
- Mirion Technologies (Canberra) GmbH,
- Nuvia Instruments GmbH,
- ThermoFisher Scientific Messtechnik GmbH und
- Bertin GmbH (bis 2018 Saphymo)

Bei den vorhandenen Messgeräten werden für die Vergleichbarkeit der Geräteeigenschaften Messgerät-Typengruppen gebildet: Kontaminationsmonitore, Freigabemessplätze und Laborgeräte (inkl. Gammaskpektrometer).

Tabelle 13 stellt die erhobenen Daten zu Kontaminationsmonitoren, Tabelle 14 zu Freigabemessplätzen und Tabelle 15 zu Laborgeräten dar.

**Tabelle 13: Übersicht über Kontaminationsmonitore**

Kontaminationsmonitor	Hersteller	γ	β	α	Messfläche	NWG	Empfindlichkeit	Wirkungsgrad
Messgeräte mit gasgefüllten Detektoren								
RDS-80 <sup>8</sup>	Mirion	x	x	x	15,2 cm <sup>2</sup>			
GMP-11-3 probe <sup>9</sup>	Mirion	x	x	x	6,1 cm <sup>2</sup>		1,0 cps <sup>10</sup>	
Contamat FHT 111 M <sup>11</sup>	Thermo Scientific™	x	x	x	100 oder 166 cm <sup>2</sup>			Abhängig vom Füllgas
Messgeräte mit Szintillationsdetektoren								
LB 124 SCINT -300 -D <sup>12</sup>	BERTHOLD	x	x	x	170 cm <sup>2</sup> / 345 cm <sup>2</sup>			<sup>239</sup> Pu: ca. 41 % <sup>241</sup> Am: ca. 44 % <sup>14</sup> C: ca. 29 % <sup>36</sup> Cl: ca. 69 % <sup>60</sup> Co: ca. 58 % <sup>137</sup> Cs: ca. 71 %
CoMo -170/ -300	NUVIA Instruments				170 cm <sup>2</sup> / 300 cm <sup>2</sup>			<sup>241</sup> Am: ca. 18 % <sup>137</sup> Cs: ca. 35 %

<sup>8</sup> Messbare Energien: Alpha: > 2 MeV, Beta: > 100keV, Gamma/Röntgen: 5 keV - 3 MeV

<sup>9</sup> Auch für Röntgenstrahlung einsetzbar.

<sup>10</sup> Quelle <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y mit einer flächenbezogenen Aktivität von 0,37 Bq/cm<sup>2</sup>

<sup>11</sup> Füllgasvarianten: Butan, Xenon, Tritium

<sup>12</sup> Der Kontaminationsmonitor LB 124 Scint-D enthält zusätzlich ein integriertes Geiger-Müller-Zählrohr für die Messung der Gamma-Dosisleistung.

Kontaminationsmonitor	Hersteller	γ	β	α	Messfläche	NWG	Empfindlichkeit	Wirkungsgrad
SAB-250 Alpha/Beta Probe	Mirion		x	x	249 cm <sup>2</sup>	Minimal detektierbare Aktivitäten <sup>13</sup> : <sup>241</sup> Am: 1,3 Bq <sup>239</sup> Pu: 1,35 Bq <sup>60</sup> Co: 32 Bq <sup>36</sup> Cl: 13,7 Bq <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y: 13,6 Bq		
BP19A/IBP19BD	Thermo Scientific™		x		100 cm <sup>2</sup>			<sup>14</sup> C: 14 % <sup>60</sup> Co: 32 % <sup>36</sup> Cl: 49 % <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y: 51 % (BP19AD); <sup>14</sup> C: 21 % <sup>60</sup> Co: 34 % <sup>36</sup> Cl 48 % <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y: 51 % (BP19DD)
RadEye AB100	Thermo Scientific™	x	x	x	69 x 145 mm <sup>2</sup>			<sup>241</sup> Am: 36 % <sup>60</sup> Co: 23 % <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y: 49 %

<sup>13</sup> Fläche 100 cm<sup>2</sup>, weitere relevante Anforderungen gem. DIN ISO 8769, Messzeit 10 s

**Tabelle 14: Übersicht über Freigabemessplätze**

Freigabemessplätze	Hersteller	γ	β	α	Messfläche	NWG
Messplatz mit gasgefülltem Detektor						
LB 2050	BERTHOLD	x	x		Seiten: 4 x 2000 cm <sup>2</sup> Boden und Deckel: 2 x 1000 cm <sup>2</sup>	0,2 Bq/g <sup>14</sup>
Messplätze mit Szintillationsdetektor						
Cronos <sup>®</sup> -4 und Cronos <sup>®</sup> -11	Mirion	x			Cronos-4, Türen, Haupteinheit: 6 x (45,7 x 45,7 x 5,1 cm) Cronos-11, Türen: 2 x (61 x 61 x 5,1 cm) Haupteinheit: 4 x (61 x 74,9 x 5,1 cm)	Minimal detektierbare Aktivitäten für Quelle: 83 Bq, 80 nSv/h (Untergrund), 2,54 cm Bleiabschirmung, Vertrauensbereich: $\alpha = 0.15\%$ und $1-\beta = 97.5\%$ Berechnete Zählzeiten: Cronos-4 : <sup>137</sup> Cs: 48 s, <sup>60</sup> Co: 10 s Cronos-11: <sup>137</sup> Cs: 130 s, <sup>60</sup> Co: 22 s
Cronos <sup>®</sup> -1	Mirion	x			Türen, Haupteinheit: 6 x (38,7 x 33,2 x 5,1 cm) oder Haupteinheit: 4 x (38,7 x 33,2 x 5,1 cm)	Minimal detektierbare Aktivitäten für Quelle: 83 Bq, 80 nSv/h (Untergrund), 2,54 cm Bleiabschirmung, Vertrauensbereich: $\alpha = 0,15 \%$ und $1-\beta = 97,5 \%$ Berechnete Zählzeiten: Konfiguration mit 6 Detektoren: <sup>137</sup> Cs: 24 s, <sup>60</sup> Co: 6 s Konfiguration mit 4 Detektoren: <sup>137</sup> Cs: 35 s, <sup>60</sup> Co: 9 s

<sup>14</sup> Für Radionuklide wie etwa <sup>11</sup>C, <sup>18</sup>F, <sup>57</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>99m</sup>Tc, <sup>111</sup>In, <sup>125</sup>I oder <sup>131</sup>I in typischen Gebinden mit Materialien geringer Dichte.

Freigabemessplätze	Hersteller	γ	β	α	Messfläche	NWG
FR6 - PL	NUVIA Instruments	x			Seiten, Boden und Deckel: 4 x 2500 cm <sup>2</sup> Türen: 2 x 2000 cm <sup>2</sup>	< 50 Bq bezogen auf <sup>60</sup> Co-mit einer Messzeit von 30 s
FR2(4)	NUVIA Instruments	x			2 x 2250 cm <sup>2</sup>	75 Bq bezogen auf <sup>60</sup> Co-mit einer Messzeit von 30 s
Freigabe-Messsystem FMS	NUVIA Instruments	x	x		Variabel je Bauform <sup>15</sup>	Für Plastiksintillatoren z. B. < 50 Bq, bezogen auf <sup>60</sup> Co-mit einer Messzeit von 30 s
LAM12	Thermo Scientific™	x			Seiten und Tür: 4 x 1800 cm <sup>2</sup>	Minimal detektierbare spezifische Aktivitäten: < 0,1 Bq/g an <sup>60</sup> Co gemittelt über 5 kg

---

<sup>15</sup> Versionen: FR 4: 4 Detektoren an den Seitenflächen, FR-6: 6 Detektoren an den Seitenflächen, Boden und Deckel, FR 8: jeweils 2 Detektoren an den Seitenflächen, FR 10: jeweils 2 Detektoren an den Seitenflächen und 1 Detektor im Boden und Deckel. Für Gamma-Messungen werden NaI-Szintillationsdetektoren (70 x 70 x 13 mm<sup>3</sup>) und für Beta-Messungen Plastiksintillationsdetektoren (150 x 300 mm<sup>2</sup>) eingesetzt.



**Tabelle 15: Übersicht über Laborgeräte**

Laborgeräte	Hersteller	γ	β	α	Messfläche	NWG	Empfindlichkeit	Wirkungsgrad
Messgeräte mit gasgefüllten Detektoren								
LB 761 <sup>16</sup>	BERTHOLD		x	x	ca. 315 cm <sup>2</sup>	ca. 0,054 Bq ( <sup>241</sup> Am), ca. 0,083 Bq ( <sup>90</sup> Sr) (DIN ISO 11929; 1 h Messzeit)		<sup>241</sup> Am: 20 % <sup>210</sup> Po: 42 % <sup>14</sup> C: 26 % <sup>90</sup> Sr: 48 %
LB 790 <sup>17</sup>	BERTHOLD		x	x	ca. 3068 cm <sup>2</sup>	ca. 12 mBq für ( <sup>241</sup> Am) und ca. 22 mBq ( <sup>90</sup> Sr) (DIN ISO 11929; 1 h Messzeit)		<sup>241</sup> Am: 34 % <sup>238</sup> Pu: 38 % <sup>14</sup> C: 25 % <sup>36</sup> Cl: 50 %
PAB-2 <sup>18</sup>	Bertin Technologies		x	x	Ø 51 mm		<sup>60</sup> Co: 16 % <sup>241</sup> Am: 4%	
Messgeräte mit Szintillationsdetektoren								
LB 2045 <sup>19</sup>	BERTHOLD	x			25,8 cm <sup>2</sup> (Standard)		Abhängig von Sonde; für NaI-Kristall mit 5,08 cm x 5,08 cm z. B. Auflösung 7,5 % (FWHM) für <sup>137</sup> Cs (661 keV)	

<sup>16</sup> Alpha-Beta Low Level Messplatz mit Ø 200 mm Messschalen

<sup>17</sup> 10-fach Alpha-Beta Low-Level Messplatz (Messschalen bis Ø 60 mm)

<sup>18</sup> Mobiler Alpha-Beta Low-Level Wischtest- und Filter-Messplatz

<sup>19</sup> Gammaskpektrometer mit verschiedenen Szintillationssonden. Standardmäßig wird ein 5,08 cm x 5,08 cm Bohrlochkristall benutzt.

Ein generischer Vergleich zwischen Messgeräten ist größtenteils nicht sinnvoll, da sich für Geräte zur Messung von Radioaktivität in Deutschland nur eine geringe Anzahl an Anbietern etabliert hat und auch dann sind Messgeräte bei gleicher Funktion nicht automatisch baugleich. So verwendet bspw. NUVA Instruments in Kontaminationsmonitoren Plastiksintillationsdetektoren, während Berthold gasgespülte oder mit einer einmaligen Gasfüllung versehene Zählrohre nutzt.

Welcher Detektor der am besten geeignete ist, hängt primär vom Anwendungsprofil ab. Die hierbei relevanten Fragen lauten:

- Welches Nuklid soll gemessen werden?
- Sollen mit dem Messgerät nur ein oder mehrere Nuklide gemessen werden?
- Welche Abfallform soll gemessen werden, muss eingedrungene Kontamination und Eigenabschirmung des Messguts berücksichtigt werden?
- Welche Anforderungen werden an die Handhabung gestellt?
- Welche theoretischen Kenntnisse zur Messtechnik und wie viel Erfahrung im Umgang ist für das bedienende Personal notwendig?

Vor diesem Hintergrund kann in einem ersten Schritt über Datenblätter nach einem geeigneten Messgerät recherchiert werden. Sämtliche Messgeräthersteller bieten hierzu auch eine umfangreiche, unentgeltliche Beratung und Literaturquellen auf den Firmenwebseiten an, s. z. B. [ORT 20] oder [NUV 20a].

Ist das zu messende Nuklid nicht in der Liste der Kalibriernuklide vorhanden, kann der Detektorwirkungsgrad mithilfe von Fachliteratur und/oder Unterstützung durch Messgeräthersteller ermittelt werden. Exemplarisch wird im Folgenden die Umrechnung von Co-60 auf Tc-99 für den Kontaminationsmonitor CoMo 300 mit einer Fläche von 300 cm<sup>2</sup> und reiner Oberflächenkontamination geschätzt. Für Co-60 ist beim Kontaminationsmonitor durch Kalibriermessungen an Prüfpräparaten ein Wirkungsgrad von 18 % ermittelt worden. Mit der folgenden Argumentation wird nun der Wirkungsgrad von Tc-99 abgeschätzt. Je Co-60 Zerfall findet zu 100 % ein Betazerfall mit einer maximalen Betaenergie von 318 keV statt. Je Tc-99 Zerfall findet zu 100 % ein Betazerfall mit einer maximalen Betaenergie von 298 keV statt. In einer konservativen Abschätzung wird der Wirkungsgrad für Tc-99 auf 15 % abgerundet, was 80 % des Wirkungsgrads von Co-60 entspricht. Insbesondere bezogen auf z. B. Anlage 3 Tabelle A aus [SSK 03], nach der die Oberflächenansprechvermögen von Tc-99 und Co-60 identisch sind, ist diese Vorgehensweise sehr sicherheitsgerichtet. Detailliertere Angaben zur Bestimmung der Detektorwirkungsgrade sind im Rahmen der Messmethodenentwicklung in AP 2 aufgeführt.

### 3.1.12 Nachrüstung / Beschaffung von Messgeräten

Im Zuge der Messgerät-Recherche wurden auch die Anschaffungspreise bei mehreren Herstellern angefragt. Folgende Auflistung stellt dabei einen Richtwert für die Beschaffung der Basismesstechnik dar, der sich in Abhängigkeit des Zubehörs noch deutlich erhöhen kann:

- Kontaminationsmonitor: je nach Größe der Detektorfläche zwischen 3.000-4.000 € [NUV 20]
- Freimessanlage: je nach Anzahl der Detektoren ca. 30.000 € (4 NaI-Detektoren), 33.500 € (6 NaI-Detektoren), komplexere Geräte können bis zu 120.000 € kosten [NUV 20].
- In-Situ-Gammaspektrometer: ab ca. 30.000 € (Gerät inkl. aller Strom- & Datenkabel sowie Software zum Auswerten, ohne Kollimatoren), Premium-Ausstattungen können 100.000 € und mehr kosten [MIR 20].
- Labor-Gammaspektrometer: ab ca. 30.000 € (ohne Bleiburg), je nach Detektorkopf (Karbon oder Edelstahl) sowie weiterem Zubehör kann der Preis schnell im Bereich zwischen 50-70.000 € liegen [MIR 20].

- Ein in der Umfrage nicht genanntes, aber auch zur Freigabe geeignetes Messgerät ist ein Wischtestmessplatz, der entweder als Aufsatz für einen Kontaminationsmonitor (1.000 - 1.600 €) oder als eigenständiges Messgerät (ab ca. 8.000 €) ausgeführt sein kann [NUV 20].

Neben der grundsätzlichen Messtechnik spielen auch Punkte wie der Inbetriebsetzungsprozess (Detektorcharakterisierung, Festlegung von Mess- und Prüfintervallen, ... usw.) eine Rolle, die je nach Umfang die Anschaffungskosten für die technisch notwendige Hard- und Software um den Faktor zwei erhöhen können.

## **3.2 Beobachtete Trends**

Im Rahmen der Umfrage konnten zwei Trends beobachtet werden, die zum einen die Entwicklung von Radiopharmaka, zum anderen die Versorgungsstruktur mit nuklearmedizinischen Einrichtungen betreffen.

### **3.2.1 Radiopharmakaentwicklung**

Für die Behandlung von Tumoren wird zunehmend auf Alphastrahler gesetzt. Derzeit wird primär der Alphastrahler Ra-223 (Handelsname: Xofigo®) zur Behandlung von metastasierendem Prostatakrebs mit Metastasen im Knochengewebe [LEU 19] eingesetzt. Aufgrund der eindeutig definierten Energiemenge beim Alphazerfall und der geringen Reichweite von Alphastrahlung und der damit sehr gut lokalisierbaren Bestrahlung von Tumoren bei gleichzeitiger Schonung des umgebenden Gewebes werden Alphastrahlern ein hohes Potential in der Tumorthherapie zugemessen. Neben Ra-223 sind in den letzten Jahren diverse Publikationen in einschlägigen Fachmagazinen veröffentlicht worden, in denen weitere potentielle Nuklide aufgeführt werden. Als relevante Nuklide werden dabei At-211, Ac-225, Bi-213 und Pb-212 angeführt, wobei die letzten beiden Nuklide bereits in umfangreicherem Maßstab an Mäusen getestet wurden, s. [STE 19] und [VIN 19]. Für Bi-213 und Ac-225 liegen erste Ergebnisse aus einzelnen kleinen Studien zur Eignung dieser Nuklide für die Behandlung von Blasen-/Prostatakrebs sowie bestimmte Typen an Gehirntumoren und neuroendokrinen Tumoren [MOR 19] vor. Einen guten Überblick über derzeitige Forschungsbemühungen bietet [FER 19], in dem eine Übersicht zu bereits eingesetzten und anvisierten Alphastrahlern in der Radionuklidtherapie gegeben wird.

In Kapitel 3.1.1 sind die derzeit relevanten Wirknuklide aufgeführt, unter denen sich mit Ra-223 nur ein einziger Alphastrahler befindet. Aufgrund der aktuellen Forschungslage ist damit zu rechnen, dass in den nächsten Jahren verstärkt Alphastrahler zum Einsatz kommen und daher deutlich mehr Abfälle mit Alpha-kontamination entstehen werden.

### **3.2.2 Nuklearmedizinische Einrichtungen**

Im Rahmen der Adressermittlung für die Umfrage war zudem zu beobachten, dass die Anzahl an kleinen, privat geführten nuklearmedizinischen Praxen und auch die Stationen für Radiologie/Nuklearmedizin an kleinen Krankenhäusern abnimmt, wobei keine Auflösung stattfindet. Stattdessen haben sich sowohl in größeren Städten als auch in ländlichen Regionen Medizinische Versorgungszentren etabliert, die diese Praxen bzw. ehemaligen Krankenhausstationen weiterhin betreiben und über eine zentralisierte Verwaltung verfügen. Beispiele hierfür sind „MEDPOL“ in Jena und Erfurt, „Med 360°“ mit Praxen in Köln und Leverkusen, „Rados GmbH“ in Düsseldorf oder auch „dia.log Diagnostische Radiologie und Nuklearmedizin“ mit vier Einrichtungen im Raum Südostbayern. Der Entwicklungsprozess von Bündelung und Ausgliederung in Medizinischen Versorgungszentren kann grundsätzlich auch für die Abfallentsorgung genutzt werden, da fachkundiges Personal und Messtechnik dann nicht mehr von jeder einzelnen Einrichtung bereitgestellt werden müssten.

### 3.3 Einteilungsschema für Radionuklide

Für die Einteilung der Nuklide (Wirk- sowie Begleitnuklide), die durch das LfULG bereitgestellt werden, wurde ein Ablaufschema entwickelt, das als Grundlage für eine Sortierung der Nuklide samt aller zugehörigen relevanten Informationen dienen kann.

Im Abschnitt 5.4 des Anhangs ist das vollständige Ablaufschema dargestellt und die möglichen Endpositionen sind dabei gleichbedeutend mit der Gruppierung. Folglich sind die folgenden Nuklidgruppen vorhanden:

- Nuklide, die durch Abklinglagerung freigegeben werden können, da alle Halbwertszeiten von Wirk- und Verunreinigungsnuclid unterhalb einer Grenzhaltwertszeit liegen (empfohlen: 30 Tage, je nach Lagerkapazität kann sich eine nuklearmedizinische Einrichtung aber, abhängig von den genehmigten Lagerzeiten, für eine praktikable Grenzhaltwertszeit entscheiden, z. B. 100 Tage)
- Nuklide ohne Möglichkeit der Freigabe durch alleinige Abklinglagerung mit Alpha-Zerfall, die gemäß Pfad A freigegeben werden können
- Nuklide ohne Möglichkeit der Freigabe durch alleinige Abklinglagerung mit Beta-Zerfall ohne Gamma-Emission aus einem Folgezerfall, die gemäß Pfad B oder C freigegeben werden können
- Nuklide ohne Möglichkeit der Freigabe durch alleinige Abklinglagerung mit Beta-Zerfall mit Gamma-Emission aus einem Folgezerfall, die neben Pfad B oder C auch über Pfad D freigegeben werden können
- Nuklide ohne Möglichkeit der Freigabe durch alleinige Abklinglagerung mit Gamma-Emission, die über Pfad D freigegeben werden können.
- Nuklide ohne Möglichkeit der Freigabe durch alleinige Abklinglagerung, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen

Diese Einteilung ist sowohl für Wirkstoffe als auch die Begleitnuklide anwendbar und nachdem nur physikalische Größen zur Einsortierung verwendet werden, können zukünftig zu berücksichtigende Nuklide ohne Schwierigkeiten in das Schema integriert werden. Eine detaillierte Darstellung des Schemas erfolgt im Rahmen des AP 2, da das Schema anhand von Beispielen zur Messmethodik für die jeweiligen Wirk- und Verunreinigungsnuclide erläutert wird.

## 4 Literaturverzeichnis

---

- [AEV 18] Atomrechtliche Entsorgungsverordnung – AtEV  
Verordnung über Anforderungen und Verfahren zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung - AtEV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2172)
- 
- [CHO 96] G. Choppin, Liljenzén, J. Rydberg  
Radiochemistry and nuclear Chemistry  
Reed Educational and Professional Publishing Ltd., 1995  
ISBN 0 7506 2300 4
- 
- [DSG 16] Europäische Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)  
Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)
- 
- [FER 19] M. Ferrier, M. und V. Radchenki, V.  
An Appendix of Radionuclides Used in Targeted Alpha Therapy  
Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences 50 (2019), S. 58-65
- 
- [LAG 15] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall  
Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 18  
Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes, Überarbeitung: Stand Januar 2015
- 
- [LEU 19] E. Leung  
Radioisotope Therapy of Bone Metastases – A Nuclear Medicine Perspective  
Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences 50 (2019), S. 34-35
- 
- [LFU 19] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Leistungsbeschreibung zum Vorhaben/Projekt „Qualifizierung von Methoden zur Vereinfachung der Freigabeentscheidung in der Nuklearmedizin unter Gewährleistung der Übertragbarkeit auf andere Anwendungsgebiete“  
November 2019
- 
- [ORT 20] Ortec-Ametek  
„The Best Choice of High Purity Germanium (HPGe) Detector“  
Online verfügbar unter <https://www.ortec-online.com/products/radiation-detectors/germanium-hpge-radiation-detectors/hpge-radiation-detector-types-how-choose>, abgerufen am 28.05.2020
- 
- [MIR 20] Mirion Technologies (Canberra) GmbH  
Angebots- und Informations-E-Mail zu Messtechnikprodukten 30.03.2020
- 
- [MOR 19] A. Morgenstern und F. Bruchertseifer  
Development of Targeted Alpha Therapy from Bench to Bedside  
Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences 50 (2019), S. 18-20
- 
- [NDS 20] Nuclear Data Services  
[Online] verfügbar unter <https://www-nds.iaea.org/>; International Atomic Energy Agency - Nuclear Data Section; Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria
- 
- [NUV 20] NUVIA Instruments GmbH  
Angebots- und Informations-E-Mail zu Messtechnikprodukten 04.03.2020
-

---

[NUV 20a]	<p>NUVIA Instruments GmbH          Informationsflyer „CoMo-170/-300 – Tragbarer Kontaminationsmonitor für hochempfindliche Messungen von <math>\alpha</math>- und <math>\beta</math>-/<math>\gamma</math>-Kontamination“,          Online verfügbar unter:  <a href="https://www.nuvia-instruments.de/strahlenschutz/como_mobile_kontaminations-monitore.html">https://www.nuvia-instruments.de/strahlenschutz/como_mobile_kontaminations-monitore.html</a>, abgerufen am 04.03.2020</p>
-----------	--

---

[SSK 03]	<p>Strahlenschutzkommission          Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs (§ 44 StrlSchV) Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 34, München, 2003</p>
----------	---

---

[SSV 11]	<p>Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)          Strahlenschutz in der Medizin – Richtlinie zur Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), geändert durch RdSchr. d. BMUB v. 11.07.2014, GMBI 2014 S. 1020 – RS II 4 – 11432/1</p>
----------	---

---

[SSV 18]	<p>Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)          Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502)</p>
----------	---

---

[STE 19]	<p>E. J. Stéen et. al.          Pretargeting in nuclear imaging and radionuclide therapy: Improving efficacy of theranostics and nanomedicines          Biomaterials 179 (2018), S. 209-245</p>
----------	---

---

[VIN 19]	<p>G. De Vincentis et. al.          Advances in targeted alpha therapy for prostate cancer          Annals of Oncology 30 (2019), S. 1728–1739</p>
----------	--

---

## 5 Anhang

### 5.1 Fragebogen

Fragebogen zum Einsatz von Radiopharmaka in nuklearmedizinischen Praxen und Einrichtungen

Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, Februar 2020 im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

#### **1. Vorbemerkung**

Im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ermittelt die Brenk Systemplanung GmbH die Ausstattung nuklearmedizinischer Praxen bzw. Einrichtungen mit Messtechnik zur Freigabemessung sowie die üblicherweise in der Nuklearmedizin anfallenden und zu entsorgenden radioaktiven Stoffe. Dieses geschieht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Qualifizierung von Methoden zur Vereinfachung der Freigabeentscheidung in der Nuklearmedizin unter Gewährleistung der Übertragbarkeit auf andere Anwendungsgebiete“ (Vergabe-Nr. Z1109/19). Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Radiopharmaka mit Radionukliden (als Wirknuklide oder als Verunreinigung vorhandene Radionuklide), die eine so lange HWZ (z. B. ab 100 Tagen) besitzen, dass für die Freigabe speziell angepasste Freimessverfahren notwendig sind.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem eine sichere und praktikable Freigabe für möglichst viele derartige Radiopharmaka durchgeführt werden kann. Dadurch soll zudem die kostenintensive Abgabe der Rückstände und Abfälle als radioaktiver Abfall an die zuständige Landessammelstelle vermieden werden. Für eine solide wissenschaftliche Datenbasis werden dazu nuklearmedizinische Praxen und Einrichtungen in ganz Deutschland kontaktiert.

Dafür sind wir auf Ihre detaillierten Angaben zu den Themenfeldern

- Radiopharmaka bzw. Radionuklide,
- verfügbare Messtechnik, die zu Freigabemessungen prinzipiell geeignet ist,
- aktuelles mittleres Abfallaufkommen, das durch die in Punkt □ genannten Radiopharmaka oder Radionuklide kontaminiert ist

angewiesen. Die erhobenen Daten werden pseudonymisiert in Statistiken verarbeitet, es können daher keine Rückschlüsse auf Einzelne getroffen werden. Die Datenverarbeitung erfolgt entsprechend den Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO).

#### **2. Datenerhebung**

Wir möchten Ihnen das Ausfüllen des Fragebogens so einfach wie möglich machen. Sie können den ausgedruckten Fragebogen handschriftlich oder als Word-Datei am Computer ausfüllen und ihn uns per Fax (02405-4651-50) oder E-Mail (r.gehr@brenk.com) zurücksenden. Sollten Sie zu einzelnen Details keine Angaben haben, z. B. beim Baujahr eines Messgeräts, bitten wir Sie, dieses Feld entweder frei zu lassen oder z. B. mit „keine Angabe“ bzw. mit „k. A.“ zu kennzeichnen. Gerne können Sie uns aber auch anrufen oder uns um einen Anruf bitten, so dass wir Ihre Angaben telefonisch aufnehmen (Frau Gehr, 02405-4651-29). In diesem Fall senden wir Ihnen anschließend den durch uns ausgefüllten Bogen zu Ihrer Kontrolle per E-Mail zu.

Informationen zur Brenk Systemplanung GmbH finden Sie unter [Link zur Brenk Systemplanung GmbH, Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich-technischen Umweltschutz<sup>20</sup>](#).

---

<sup>20</sup> <http://www.brenk.com/>

**3. Standort (nur zur internen Verarbeitung)**

<b>Arztpraxis / Klinikum:</b>	
Abteilung:	
Stadt:	
Ansprechpartner (ggf. für Freigabe zuständiger SSB)	
Kontakt (Tel./E-Mail)	

**4. Eingesetzte Radionuklide**

Bitte geben Sie uns die von Ihnen eingesetzten Radionuklide bzw. die Radiopharmaka sowie die von Ihnen im Mittel verbrauchten/applizierten Mengen (möglichst in Bq bezogen auf das Wirknuklid) an. Da bestimmte Wirknuklide in verschiedenen Verfahren hergestellt werden können, bitten wir Sie auch um Angabe des Herstellers des Radiopharmakons.

Sie können statt der applizierten Aktivität auch die Anzahl der Anwendungen im Quartal und deren mittlere Aktivität angeben.

Nuklid	Radiopharmakon (Präparatname)	Hersteller	Verbrauchte Menge pro Quartal (MBq bzw. GBq)	Bekanntes Verunreinigungsnuklide



## **5. Buchführung über radioaktive Stoffe**

Bitte geben Sie an, in welcher Form Ihre Buchführung über radioaktive Stoffe nach § 85 StrlSchV erfolgt:

- Die Buchführung erfolgt in Papierform.
- Die Buchführung erfolgt in einem elektronischen Buchführungssystem.
- Nach § 85 Abs. 2 StrlSchV besteht keine Pflicht zur Buchführung.

## **6. Messtechnik**

Wir möchten als eines der Hauptergebnisse des Forschungsvorhabens Freigabeverfahren entwickeln, die möglichst auf bestehenden Messgeräten aufbauen. Daher bitten wir Sie um Angaben zu der bei Ihnen verfügbaren Messtechnik. Wenn Sie mehrere gleichartige Geräte (z. B. Kontaminationsmonitore desselben Typs, aber unterschiedlicher Baujahre) besitzen, führen Sie diese bitte nur einmal auf.

Beispiele für derartige Geräte sind Kontaminationsmonitore, Dosisleistungsmessgeräte, Wischtestmessplätze, LSC-Messgeräte, ggf. auch Gammaspektrometer oder In-situ-Gammaspektrometer.

<b>Messgerät bzw. Typ</b>	<b>Anzahl vorh. Geräte</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Baujahr</b>	<b>Verwendungszweck / Einsatzgebiet</b>

## **7. Abfälle zur Freimessung**

Abschließend bitten wir Sie noch um Angaben, wie Sie aktuell Ihre Freigaben (im Sinne von §§ 31-42 StrlSchV) durchführen. Wenn Sie möchten, können Sie uns auch Angaben zu den ungefähren Mengen, die Sie freigeben, zukommen lassen. Wenn es Ihnen möglich ist, geben Sie bitte auch das Radionuklid an, das die Hauptkontamination der betreffenden Abfälle bildet.

- Wir führen keine Freigaben durch.
- Wir führen Freigaben ausschließlich durch entsprechend lange Abklinglagerung durch.
- Wir führen Freigaben auch mittels messtechnischer Aktivitätsbestimmungen durch.

Art der Abfälle (z. B. Papierhandtü- cher, Kanülen, Vials, etc.)	verunreinigt mit: Radiopharmakon bzw. wesentliches Wirknuklid	Sammelbehälter (z. B. Tonne, Wäsche- sack)	Menge pro Quartal (z. B. Gebindeanzahl oder in kg)

Wir bedanken uns herzlich für Ihre Mitarbeit!

R. Gehr

Brenk Systemplanung GmbH

## 5.2 Anfrage an Landessammelstelle

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Brenk Systemplanung GmbH führt im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) das Forschungsvorhaben „Qualifizierung von Methoden zur Vereinfachung der Freigabeentscheidung in der Nuklearmedizin unter Gewährleistung der Übertragbarkeit auf andere Anwendungsgebiete“ (Vergabe-Nr. Z1109/19) durch.

Im Zuge dieses Forschungsvorhabens sollen Art und Menge der Abfälle aus medizinischen Einrichtungen ermittelt werden, die an die Landessammelstellen abgegeben werden. Die unterschiedlichen medizinischen Einrichtungen werden dabei in vier unterschiedliche Kategorien unterteilt:

1. Universitätskliniken,
2. reguläre Kliniken/Krankenhäuser,
3. medizinische Versorgungszentren und
4. Privatpraxen.

Im Rahmen dieser Befragung soll die quartalsweise für die Jahre 2018 und 2019 durchschnittliche Abgabemenge und -art pro Abgeber der jeweiligen Kategorie ermittelt werden.

Ich möchte Sie als Landessammelstelle daher um Ihre Mithilfe bitten und uns möglichst die folgenden Auskünfte zu erteilen:

1. Welche Abfälle (Stoffzusammensetzung nach EB-Code und nuklidspezifische Aktivität) werden von einzelnen Abgebern der unterschiedlichen Kategorien 1 bis 4 (quartalsweise) abgegeben?
2. In welchem Außenbehälter werden die Abfälle angeliefert?
3. Welche (Netto-)Massen weisen die Abfälle auf?
4. Wie erfolgt die Abschätzung der abgegebenen Aktivität durch den Abgeber (Buchhaltung, über Korrelation o. Ä.)?

Um Ihren Zeitaufwand bei der Antwort möglichst gering zu halten, haben wir eine Excel-Tabelle vorbereitet, die Sie im Anhang finden. Wir bitten Sie um das Ausfüllen der Tabelle und Zurücksenden per Fax (02405-4651-50) oder E-Mail an meine Person, Rebekka Gehr (r.gehr@brenk.com). Sollte sich aus einer der Fragestellungen ein unverhältnismäßiger Aufwand ergeben, zögern Sie bitte nicht mich zu kontaktieren.

Die angefragten Daten werden zu statistischen Zwecken ausschließlich in den o. g. Kategorien 1-4 weiterverarbeitet, sodass die Namen der einzelnen Ablieferer für uns irrelevant sind. Sollten Sie jedoch zur Vereinfachung der Datenauflistung die Namen der Ablieferer an uns weitergeben, werden wir diese Daten (auch in unserer Kommunikation mit dem LfULG), vertraulich behandeln, sodass keine Rückschlüsse auf einzelne Ablieferer von radioaktiven Abfällen gezogen werden können. Bei Fragen zum Forschungsvorhaben oder der Tabelle stehe ich ihnen (02405-4651-29) ebenfalls zur Verfügung.

Ich danke Ihnen vielmals für Ihre Mitarbeit!

Mit freundlichen Grüßen

i.A. Rebekka Gehr, M.Sc.

Projektingenieur

### 5.3 Kontaktierte Einrichtungen

Tabelle 16: Kontaktierte Einrichtungen

Nr.	Typ	PLZ		Ort
1	Universitätsklinik	01307		Dresden
2	Universitätsklinik	04103		Leipzig
3	Privatpraxis	04177		Leipzig
4	Universitätsklinik	06108		Halle (Saale)
5	Klinik	06847		Dessau-Roßlau
6	Universitätsklinik	07740		Jena
7	Med. Vers. Zentr.	07743		Jena
8	Klinik	09116		Chemnitz
9	Med. Vers. Zentr.	12351		Berlin
10	Privatpraxis	13187		Berlin-Pankow
11	Universitätsklinik	13353		Berlin
12	Privatpraxis	14050		Berlin
13	Klinik	14467		Potsdam
14	Privatpraxis	14772		Brandenburg an der Havel
15	Klinik	15236		Frankfurt (Oder)
16	Klinik	15526		Bad Saarow
17	Med. Vers. Zentr.	16225		Eberswalde
18	Privatpraxis	17036		Neubrandenburg
19	Universitätsklinik	17487		Greifswald
20	Universitätsklinik	18056		Rostock
21	Privatpraxis	18435		Stralsund
22	Privatpraxis	20095		Hamburg
23	Universitätsklinik	20246		Hamburg
24	Privatpraxis	20249		Hamburg
25	Klinik	21680		Stade
26	Med. Vers. Zentr.	22041		Hamburg
27	Privatpraxis	22926		Ahrensburg

28	Universitätsklinik	23538	Lübeck
29	Privatpraxis	23611	Bad Schwartau
30	Universitätsklinik	24105	Kiel
31	Klinik	26121	Oldenburg
32	Privatpraxis	26121	Oldenburg
33	Klinik	27356	Rotenburg
34	Klinik	28177	Bremen
35	Privatpraxis	28209	Bremen
36	Privatpraxis	29223	Celle
37	Privatpraxis	30159	Hannover
38	Privatpraxis	30159	Hannover
39	Privatpraxis	30159	Hannover
40	Med. Vers. Zentr.	30159	Hannover
41	Privatpraxis	30161	Hannover
42	Klinik	30171	Hannover
43	Universitätsklinik	30625	Hannover
44	Privatpraxis	30853	Langenhagen
45	Privatpraxis	31135	Hildesheim
46	Klinik	32045	Herford
47	Klinik	32657	Lemgo
48	Privatpraxis	32657	Lemgo
49	Privatpraxis	32756	Detmold
50	Klinik	33098	Paderborn
51	Privatpraxis	33602	Bielefeld
52	Klinik	33604	Bielefeld
53	Klinik	33611	Bielefeld
54	Klinik	34125	Kassel
55	Universitätsklinik	35392	Gießen
56	Privatpraxis	36037	Fulda
57	Klinik	36043	Fulda
58	Universitätsklinik	37075	Göttingen
59	Privatpraxis	38100	Braunschweig
60	Klinik	38114	Braunschweig
61	Privatpraxis	38114	Braunschweig
62	Klinik	38126	Braunschweig
63	Med. Vers. Zentr.	38440	Wolfsburg
64	Privatpraxis	38642	Goslar
65	Privatpraxis	39104	Magdeburg
66	Universitätsklinik	39120	Magdeburg
67	Privatpraxis	39122	Magdeburg
68	Universitätsklinik	40225	Düsseldorf
69	Universitätsklinik	40225	Düsseldorf

70	Med. Vers. Zentr.	40235	Düsseldorf
71	Med. Vers. Zentr.	40724	Hilden
72	Klinik	41063	Mönchengladbach
73	Universitätsklinik	41063	Mönchengladbach
74	Privatpraxis	41236	Mönchengladbach
75	Privatpraxis	42105	Wuppertal
76	Klinik	42283	Wuppertal
77	Klinik	44137	Dortmund
78	Med. Vers. Zentr.	44263	Dortmund
79	Klinik	44307	Dortmund
80	Klinik	44308	Dortmund
81	Klinik	44309	Dortmund
82	Klinik	44534	Lünen
83	Universitätsklinik	44789	Bochum
84	Universitätsklinik	44892	Bochum
85	Universitätsklinik	45122	Essen
86	Privatpraxis	45136	Essen
87	Privatpraxis	45481	Mülheim
88	Med. Vers. Zentr.	46045	Oberhausen
89	Privatpraxis	47051	Duisburg
90	Klinik	47053	Duisburg
91	Klinik	47805	Krefeld
92	Privatpraxis	48145	Münster
93	Universitätsklinik	48149	Münster
94	Klinik	48431	Rheine
95	Klinik	49076	Osnabrück
96	Klinik	49076	Osnabrück
97	Klinik	49808	Lingen
98	Klinik	50226	Frechen
99	Privatpraxis	50667	Köln
100	Privatpraxis	50674	Köln
101	Privatpraxis	50679	Köln
102	Privatpraxis	50858	Köln
103	Privatpraxis	50858	Köln
104	Universitätsklinik	50937	Köln
105	Med. Vers. Zentr.	50996	Köln
106	Klinik	51066	Köln
107	Klinik	51067	Köln
108	Privatpraxis	51145	Köln
109	Med. Vers. Zentr.	51375	Leverkusen
110	Privatpraxis	51766	Engelskirchen

111	Privatpraxis	52062	Aachen
112	Privatpraxis	52062	Aachen
113	Universitätsklinik	52074	Aachen
114	Privatpraxis	52146	Würselen
115	Privatpraxis	52351	Düren
116	Med. Vers. Zentr.	53111	Bonn
117	Universitätsklinik	53127	Bonn
118	Klinik	54290	Trier
119	Universitätsklinik	55131	Mainz
120	Privatpraxis	55252	Mainz-Kastel
121	Klinik	56073	Koblenz
122	Klinik	56428	Dernbach
123	Privatpraxis	57072	Siegen
124	Privatpraxis	58509	Lüdenscheid
125	Klinik	58515	Lüdenscheid
126	Klinik	59071	Hamm
127	Privatpraxis	59423	Unna
128	Privatpraxis	59494	Soest
129	Privatpraxis	59555	Lippstadt
130	Med. Vers. Zentr.	60322	Frankfurt
131	Universitätsklinik	60590	Frankfurt
132	Privatpraxis	61169	Friedberg
133	Med. Vers. Zentr.	63450	Hanau
134	Privatpraxis	64283	Darmstadt
135	Privatpraxis	64283	Darmstadt
136	Universitätsklinik	64291	Darmstadt
137	Klinik	65191	Wiesbaden
138	Klinik	66280	Sulzbach
139	Universitätsklinik	66421	Homburg
140	Privatpraxis	66955	Pirmasens
141	Klinik	67063	Ludwigshafen
142	Klinik	67550	Worms
143	Privatpraxis	67655	Kaiserslautern
144	Med. Vers. Zentr.	68161	Mannheim
145	Universitätsklinik	69120	Heidelberg
146	Universitätsklinik	69120	Heidelberg
147	Klinik	70174	Stuttgart
148	Privatpraxis	71364	Winnenden
149	Universitätsklinik	72076	Tübingen
150	Klinik	73035	Göppingen
151	Klinik	73035	Göppingen
152	Med. Vers. Zentr.	73730	Esslingen

153	Klinik	73730	Esslingen
154	Privatpraxis	74523	Schwäbisch Hall
155	Privatpraxis	75323	Bad Wildbad
156	Med. Vers. Zentr.	76133	Karlsruhe
157	Klinik	76137	Karlsruhe
158	Klinik	78052	Villingen-Schwenningen
159	Privatpraxis	78056	Villingen-Schwenningen
160	Privatpraxis	78464	Konstanz
161	Privatpraxis	78532	Tuttlingen
162	Privatpraxis	79104	Freiburg
163	Universitätsklinik	79106	Freiburg
164	Privatpraxis	79189	Bad Krozingen
165	Privatpraxis	80331	München
166	Universitätsklinik	80336	München
167	Klinik	80804	München
168	Privatpraxis	80939	München
169	Universitätsklinik	81377	München
170	Universitätsklinik	81675	München
171	Klinik	83278	Traunstein
172	Privatpraxis	83395	Freilassing
173	Privatpraxis	84028	Landshut
174	Klinik	84034	Landshut
175	Med. Vers. Zentr.	84137	Vilsbiburg
176	Med. Vers. Zentr.	84453	Mühldorf am Inn
177	Med. Vers. Zentr.	84478	Waldkraiburg
178	Med. Vers. Zentr.	84489	Burghausen
179	Med. Vers. Zentr.	84503	Altötting
180	Universitätsklinik	86156	Augsburg
181	Privatpraxis	89073	Ulm
182	Universitätsklinik	89081	Ulm
183	Privatpraxis	89584	Ehingen
184	Klinik	90419	Nürnberg
185	Klinik	90489	Nürnberg
186	Universitätsklinik	91054	Erlangen
187	Med. Vers. Zentr.	91058	Erlangen
188	Privatpraxis	91550	Dinkelsbühl
189	Privatpraxis	92318	Neumarkt
190	Med. Vers. Zentr.	92637	Weiden
191	Med. Vers. Zentr.	93047	Regensburg
192	Klinik	93049	Regensburg
193	Universitätsklinik	93053	Regensburg



194	Klinik	94032	Passau
195	Klinik	95445	Bayreuth
196	Privatpraxis	96047	Bamberg
197	Privatpraxis	96047	Bamberg
198	Klinik	96049	Bamberg
199	Privatpraxis	97070	Würzburg
200	Universitätsklinik	97080	Würzburg
201	Klinik	97980	Bad Mergentheim
202	Klinik	97980	Bad Mergentheim
203	Universitätsklinik	98527	Suhl
204	Klinik	99089	Erfurt
205	Med. Vers. Zentr.	99099	Erfurt
206	Klinik	99437	Bad Berka

## 5.4 Entscheidungsschema

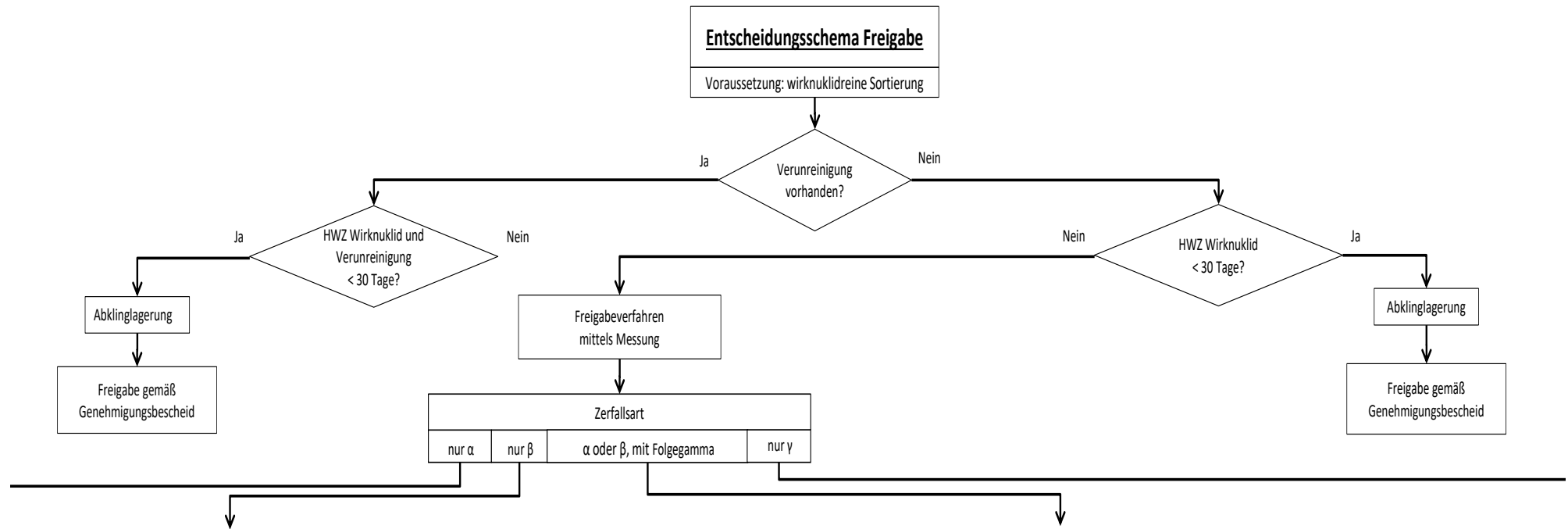


Abbildung 5-1: Entscheidungsschema, Teil 1 von 6

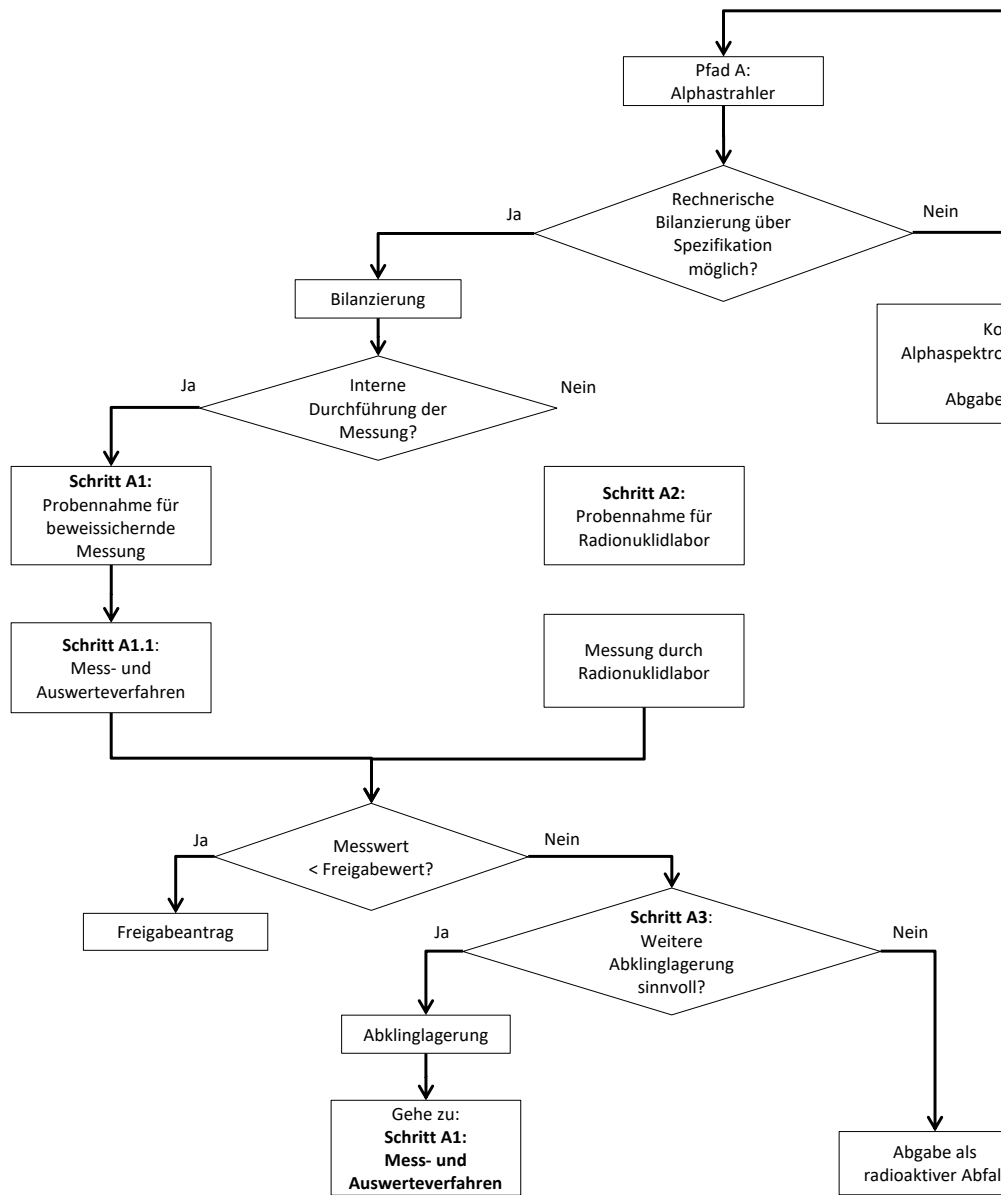


Abbildung 5-2: Entscheidungsschema, Teil 2 von 6

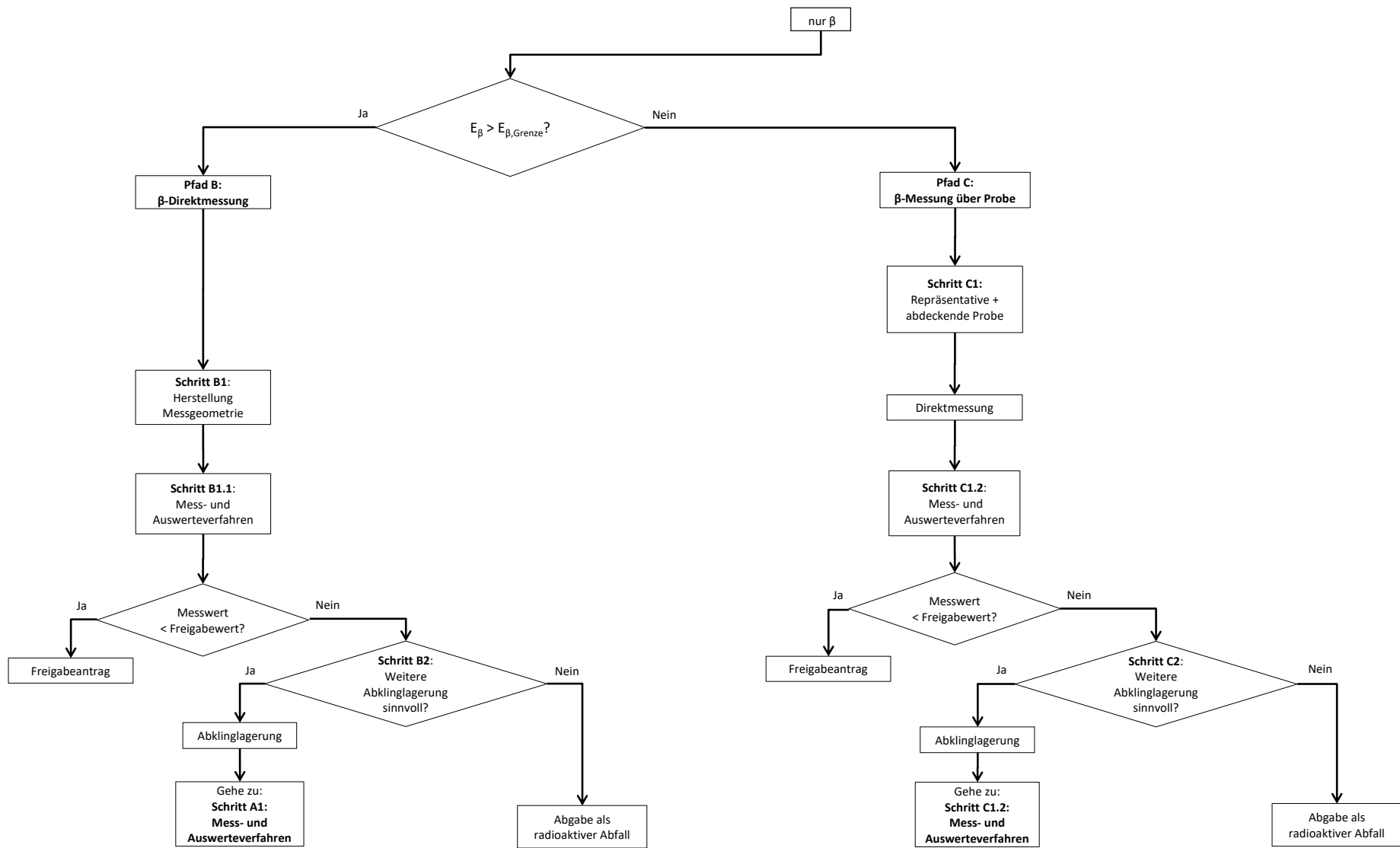


Abbildung 5-3: Entscheidungsschema, Teil 3 von 6

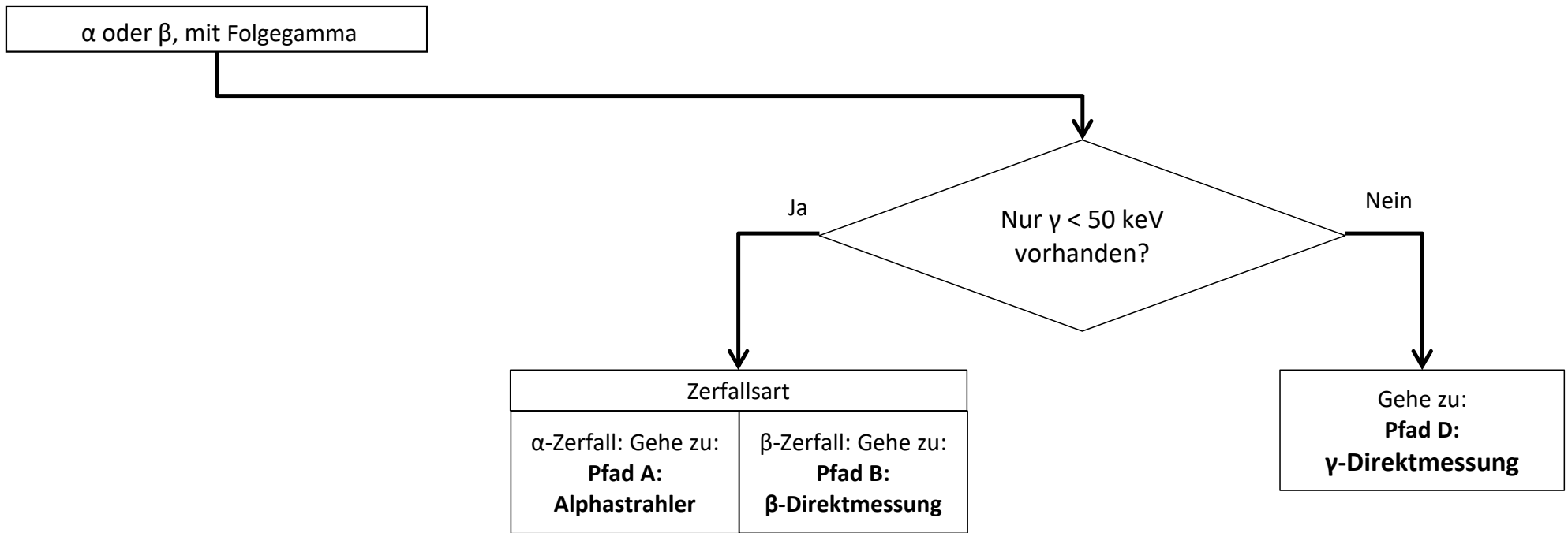


Abbildung 5-4: Entscheidungsschema, Teil 4 von 6

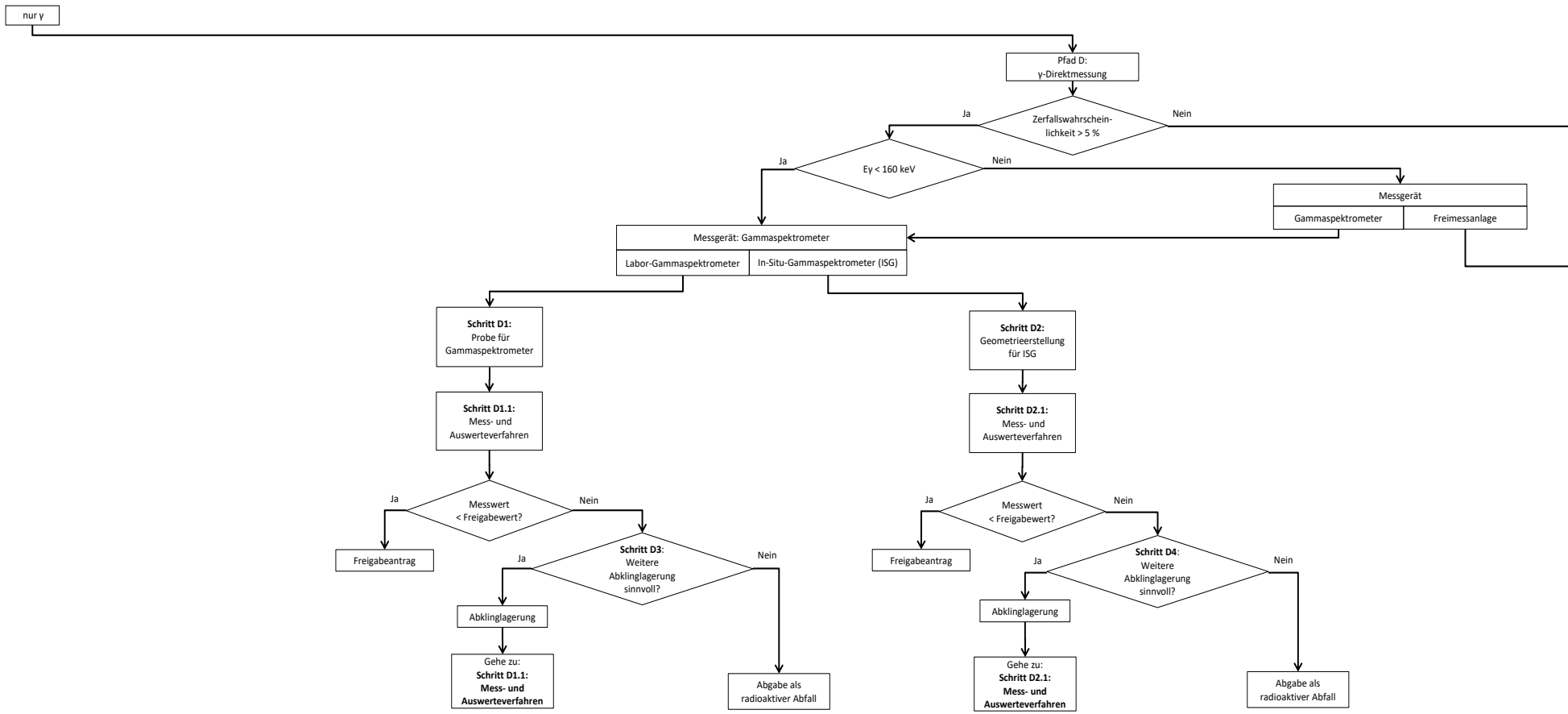


Abbildung 5-5: Entscheidungsschema, Teil 5 von 6

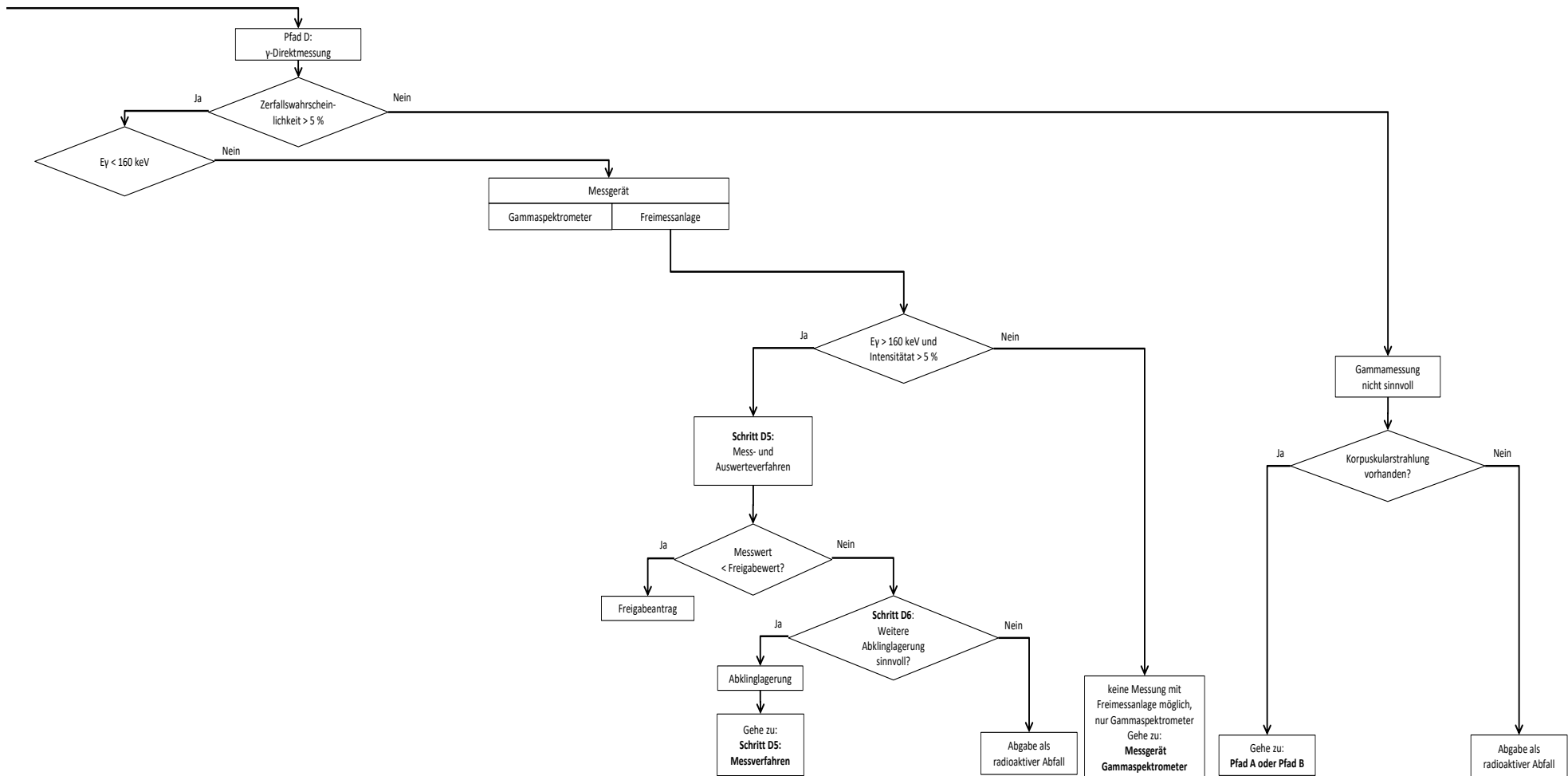


Abbildung 5-6: Entscheidungsschema, Teil 6 von 6