

DIN 25457-7



ICS 13.030.30; 17.240

Ersatz für
DIN 25457-7:2008-01**Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen –
Teil 7: Bodenflächen und Bodenaushub**

Activity measurement methods for the clearance of radioactive substances and nuclear facility components –

Part 7: Ground surfaces and excavated soil

Méthodes de mesure de l'activité pour l'autorisation de la mise en circulation de déchets nucléaires de très faible activité et des composants d'installations nucléaires –

Partie 7: Les surfaces de sol et le déblais

Gesamtumfang 52 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	7
5 Iststand-Analyse, Voruntersuchung und Vorbereitung zur Entscheidungsmessung	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Bestimmung der Vorbelastung des Anlagengeländes	9
5.3 Iststand-Aufnahme	9
5.4 Voruntersuchung	10
5.4.1 Zielstellung der Voruntersuchung	10
5.4.2 Herstellung eines definierten Ausgangszustandes	11
5.4.3 Unterschiede der Voruntersuchung bei versiegelten und offenen Flächen	11
5.4.4 Bestimmung der Verteilung radioaktiver Stoffe über die Fläche und die Tiefe	12
5.4.5 Einteilung der Bodenflächen in Kategorien nach ihrem Kontaminationszustand	12
5.5 Radionuklidgemisch	12
5.6 Schlüsselnuklide	13
5.7 Nuklidvektoren	14
6 Entscheidungsmessverfahren	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Direktmessung an Bodenflächen	15
6.2.1 In-situ-Gammaspektrometrie	15
6.2.2 Direkte Beta-Oberflächenaktivitätsmessung	17
6.3 Direktmessungen an Bodenaushub	17
6.3.1 Gesamt-Gamma-Aktivitätsbestimmung an Gebinden	17
6.3.2 Kollimierte In-situ-Gammaspektrometrie an Gebinden	18
6.3.3 Dynamische gammaspektrometrische Messungen an Bodenaushub	21
6.4 Aktivitätsbestimmung an Proben	22
6.4.1 Probenahme	22
6.4.2 Aktivitätsbestimmung in den Proben	23
7 Freigabeverfahren	24
7.1 Bodenflächen	24
7.1.1 Allgemeines	24
7.1.2 Flächendeckende Entscheidungsmessverfahren	26
7.1.3 Nicht-flächendeckende Verfahren mit statistischer Auswertung der Messergebnisse	27
7.1.4 Kombination flächendeckender und nicht-flächendeckender Verfahren	31
7.2 Entscheidungsmessverfahren für Bodenaushub	33
8 Dokumentation	34
8.1 Allgemeines	34
8.2 Dokumentation Iststand-Aufnahme, Voruntersuchung und vorbereitende Maßnahmen zur Entscheidungsmessung	34
8.3 Ergebnisse der Entscheidungsmessungen	34
Anhang A (normativ) Anwendungsbereiche zulässiger Entscheidungsverfahren (siehe Tabelle A.1)	39

Anhang B (informativ) Freigabeverfahren mit statistischen Messungen	40
B.1 Verfahren 1: Messungen mit Messflächen wesentlich kleiner als Mittelungsflächen.....	40
B.1.1 Normalverteilte Messwerte	40
B.1.2 Lognormalverteilte Messwerte	40
B.1.3 Beispiel für lognormalverteilte Messwerte	40
B.2 Verfahren 2: Einhaltung der Freigabewerte auf einem vorgegebenen Mindestanteil der Rasterflächen bei einem Verfahren zur Feststellung der Einhaltung der Freigabewerte.....	42
B.2.1 Ermittlung der Anzahl notwendiger Messungen	42
B.2.2 Rechenbeispiel	42
B.3 Verfahren 3: Messungen mit Messflächen wesentlich kleiner als Mittelungsflächen bei Vorliegen eines Teils der Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze	44
Anhang C (informativ) Kategorisierung der Bodenflächen für Freigabeverfahren	49
Anhang D (informativ) Hinweise zur Anwendung der Freigabewerte nach StrlSchV	51
Literaturhinweise.....	52

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 062-07-46 AA „Reststofffragen“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), Fachbereich Kerntechnik und Strahlenschutz, erstellt. Durch diese Norm werden dem Genehmigungsinhaber, dem Gutachter sowie der zuständigen Behörde einheitliche Anforderungen an die Bestimmung der Aktivität bei der Freigabe von Bodenflächen und Bodenaushub kerntechnischer Anlagen zur Verfügung gestellt, für die eine Folgenutzung außerhalb einer atomrechtlichen Genehmigung vorgesehen ist.

DIN 25457, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen* besteht aus:

- Teil 1: Grundlagen
- Teil 1: Grundlagen; Beiblatt 1: Erläuterungen
- Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
- Teil 6: Bauschutt und Gebäude
- Teil 7: Bodenflächen und Bodenaushub

Die Teile 1 und 2 wurden bei der letzten Überarbeitung zusammengefasst zum neuen Teil 1 „Grundlagen“. Die Teile 4 und 5 wurden überarbeitet und zu dem neuen Teil 4: „Kontaminierter und aktivierter Metallschrott“ zusammengefasst.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN 25457-7:2008-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Erweiterung des Anwendungsbereiches auf Bodenaushub;
- b) Anpassung an die Überarbeitung der Teile 1, 4 und 6;
- c) die Liste der anwendbaren Messverfahren wurde um solche für Bodenaushub und an Gebinden ergänzt; ferner sind die jeweiligen Anforderungen an alle Messverfahren präzisiert;
- d) die verschiedenen statistischen Verfahren wurden klarer voneinander abgegrenzt, dem aktuellen Stand der Technik angepasst und durch Illustrationen sowie Beispiele nachvollziehbarer gestaltet;
- e) die Darstellung der Anforderungen an die Dokumentation wurde deutlich übersichtlicher gestaltet.

Frühere Ausgaben

DIN 25457-7: 2008-01

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Aktivitätsmessverfahren zur Freigabemessung von aktivierten oder kontaminierten Bodenflächen nach § 29 StrlSchV, d. h. für nicht mit Gebäuden bebaute Flächen des Anlagengeländes (siehe 3.1), sowie für aktivierten oder kontaminierten Bodenaushub.

Die Norm gilt nicht für Aktivitätsmessungen im Rahmen von Interventionen. Die Norm gilt nicht für solche Anlagenbereiche, in denen Aktivität aus dem Betrieb der Anlage in radiologisch signifikanter Menge in grundwasserführende Schichten vorgedrungen ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 25457-1:2014-12, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen — Teil 1: Grundlagen*

DIN 25457-6:2015-11, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen — Teil 6: Bauschutt und Gebäude*

DIN ISO 11929, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung — Grundlagen und Anwendungen*

DIN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt — Erdboden — Teil 2: Leitlinie für die Auswahl der Probenstrategie, Probenahme und Vorbehandlung der Proben*

DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt — Erdboden — Teil 7: In-situ-Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden*

StrlSchV, *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV)* vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, S. 1714) zuletzt geändert nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114) ¹⁾

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Anlagengelände

Summe der bebauten und unbebauten Geländeflächen einer Anlage, die Bestandteil der atomrechtlichen Genehmigung sind

3.2

Bodenfläche

alle außerhalb von Gebäuden einer Anlage liegenden Freiflächen des Anlagengeländes

1) Nachgewiesen in der DITR-Datenbank der DIN Software GmbH, zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

3.2.1

versiegelte Bodenfläche

Bodenfläche mit vollständiger oder teilweiser Abdichtung des Bodens zur Atmosphäre hin durch Deckbeläge, Baumaterial oder in den Boden eingebrachtes Fremdmaterial

3.3

Bodenaushub

Bodenmaterial, das durch Ausheben oder Abräumen von Boden oder Untergrund – auch nach Umlagerung – anfällt

3.4

Freigabewert

gesetzliche oder behördliche Vorgabe für die massen- oder flächenbezogene Aktivität eines Radionuklids, die einzuhalten ist, damit die Bodenfläche bzw. der Bodenaushub freigegeben werden kann und für die bei Vorliegen eines Radionuklidgemisches die Summenformel nach Strahlenschutzverordnung einzuhalten ist

3.5

Hot Spot

lokaler Bereich mit definierter Erhöhung der Aktivität

3.6

Messfläche

Fläche, aus der das Messgerät seinen Messeffekt bezieht bzw. bei Proben die Fläche, die das eingesammelte Material eingenommen hat, bzw. bei Großflächenzählrohren, deren effektive Detektorfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei kollimierten In-situ-Gammaspektrometern der geometrische Sichtbereich des Detektors (siehe DIN ISO 18589-7 [VDE 0493-4-5897]).

3.7

Mittelungsfläche

maximale Fläche, über die die gemessene Aktivität für den Vergleich mit den Freigabewerten gemittelt werden darf

3.8

Mittelungsmasse

maximale Masse, über die die gemessene Aktivität für den Vergleich mit den Freigabewerten gemittelt werden darf

3.9

Radionuklidgemisch

Nuklidgemisch

in einer definierten Materialcharge vorkommende Radionuklide (α , β , Elektroneneinfang-Strahler und Isomere)

[QUELLE: DIN 25457-1:2014-12, 3.1.10]

3.10

Radionuklidvektor

Nuklidvektor

Liste der auf 100 % normierten Aktivitätsanteile von Radionukliden in oder auf einem Material, welche für die Entscheidungsmessung relevant sind

[QUELLE: DIN 25457-1:2014-12, 3.1.11]

3.11**Raster**

regelmäßiges Muster aus gleichartigen Teilflächen (Rasterflächen), das die zu untersuchenden Flächen lückenlos überdeckt

3.12**Richtwert**

messtechnische Vorgabe zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte zur Freigabe von Bodenflächen, bezogen auf das jeweilige Messverfahren oder Messgerät (z. B. in Impulsen je Sekunde)

3.13**Schlüsselnuklid**

messtechnisch einfach erfassbares Radionuklid, über dessen Messung das Aktivitätsinventar schwierig zu messender Radionuklide rechnerisch bestimmt werden kann

[QUELLE: DIN 25401:2015-04, 8.79, modifiziert – Inventar geändert in Aktivitätsinventar]

3.14**Verdachtsfläche**

eingrenzbare Fläche, für die aufgrund des stattgefundenen Umgangs mit Radionukliden, der Erkenntnisse zur Vorgeschichte der Anlage oder der Ergebnisse der Voruntersuchungen der Verdacht besteht, dass Kontaminationen mit radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigabewerte vorhanden sein können

3.15**Vorbelastung**

radioaktive Stoffe, die in der Bodenfläche vorhanden sind und die nicht auf den genehmigungspflichtigen Umgang in der Anlage zurückzuführen sind

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Größen und Formelzeichen nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
A	im Material vorhandene Gesamtaktivität	Bq
A_j	Aktivität des einzelnen Radionuklids j	Bq
$\bar{a}$	mittlere flächen- oder massenbezogene Aktivität	Bq/cm ² Bq/g
$\bar{a}^{\triangleright}$	obere Grenze des Vertrauensbereichs des Mittelwertes	Bq/cm ² Bq/g
$\overline{\ln a}$	Erwartungswert der logarithmierten Messwerte	ln(Bq/cm ²) ln(Bq/g)
$\bar{a}_l^{\triangleright}$	obere Grenze des Vertrauensbereichs des Mittelwertes der logarithmierten Messwerte	ln(Bq/cm ²) ln(Bq/g)
A_{OG}	geschätzte obere Konfidenzgrenze zum Erwartungswert (siehe Gleichung (B.9))	—
$a_{r,i}$	massenbezogene Aktivität des gemessenen Radionuklids r der Probe i	Bq/g
a_s	Standardabweichung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität	Bq/cm ² Bq/g

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
$a_s^{\triangleright}$	obere Grenze des Vertrauensbereichs der Standardabweichung	Bq/cm ² Bq/g
$a_{s,l}$	Standardabweichung der logarithmierten Messwerte der flächen- oder massenbezogenen Aktivität	ln(Bq/cm ²) ln(Bq/g)
$a_{s,l}^{\triangleright}$	obere Grenze des Vertrauensbereichs der Standardabweichung der logarithmierten Messwerte	ln(Bq/cm ²) ln(Bq/g)
a_{FGW}	flächen- oder massenbezogene Aktivität, die dem Freigabewert entspricht	Bq/cm ² Bq/g
$a_{\text{FGW},i}$	Freigabewert des Nuklids i	Bq/cm ² Bq/g
$a_{\text{FGW},\text{NV}}$	abgeleiteter Freigabewert für den Nuklidvektor NV	Bq/cm ² Bq/g
$a_{\text{FGW},\text{NV},i}$	nuklidspezifischer abgeleiteter Freigabewert für das Nuklid i	Bq/cm ² Bq/g
$\bar{F}(x)$	Umkehrfunktion der Stammfunktion F der Normalverteilung	—
f_G	Geometriefaktor zur Berücksichtigung der Geometrie des Messgutes	—
f_{ij}	Hochrechnungsfaktor für die Aktivität des Radionuklids j aus der Aktivität des Radionuklids i	—
g	Anzahl der Proben in einer Stichprobe	—
$k_{(n-1)/n}$	das $((n-1)/n)\%$ -Perzentil der Standardnormalverteilung	—
i, j, k, l, m, n	Zählindizes sowie Anzahlen	—
n_0, n_1, n_2	Anzahl von Einzelmessungen bei sukzessiver Erhöhung dieser Anzahl	—
p	relativer Anteil der Merkmalsträger in der Grundgesamtheit	—
p_M	Vertrauensniveau für die Messung	—
q	Anzahl der Merkmalsträger in der Stichprobe	—
$\bar{R}$	Arithmetischer Mittelwert der Werte R_i	—
R_i	Wert der Summenformel (siehe Gleichung (B.7)) für die Probe i	—
s	logarithmische Standardabweichung	—
s_n	Prüfgröße nach Gleichung (B.8)	—
$S_{n,i}$	Prüfgröße nach Gleichung (B.9)	—
$t_{n-1; 0,95}$	Quantil der t-Verteilung bei $n-1$ Freiheitsgraden und Wahrscheinlichkeit 0,95	—
v_i	Anteil des Nuklids i am Nuklidvektor	—
$w(q)$	Wahrscheinlichkeitsfunktion der Binomialverteilung	—
$\chi_{n-1; 0,95}^2$	0,95 Quantil der χ^2 -Verteilung mit Freiheitsgrad $n-1$	—

5 Iststand-Analyse, Voruntersuchung und Vorbereitung zur Entscheidungsmessung

5.1 Allgemeines

Die Voruntersuchung ist zusammen mit der Bestimmung der Vorbelastung des Anlagengeländes sowie den Untersuchungen und Ergebnissen der radiologischen Iststand-Aufnahme die Grundlage für die Vorbereitung und die Auswahl eines geeigneten Entscheidungsmessverfahrens für die Freigabe der Bodenflächen (siehe 3.2) einer Anlage. Anhand der Ergebnisse der radiologischen Iststand-Aufnahme können die Bodenflächen zu Kategorien mit gleichen Kontaminationsverhältnissen oder -wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden.

Die Ergebnisse der Iststand-Aufnahme und der Voruntersuchungen werden zur Bestimmung von Nuklidvektoren einschließlich Festlegung der Schlüsselnuklide sowie für Bewertungen im Hinblick auf die räumliche Aktivitätsverteilung einschließlich des Eindringverhaltens sowie derjenigen Aktivität, die nicht aus dem Anlagenbetrieb stammt, herangezogen.

5.2 Bestimmung der Vorbelastung des Anlagengeländes

Zur Bestimmung der Aktivität, die nicht aus dem genehmigungspflichtigen Umgang stammt (z. B. Vorbelastung (siehe 3.15) des Bodens durch natürliche Radioaktivität, Ablagerungen aus dem Tschernobyl-Unfall und aus Kernwaffenversuchen, Anwendung von Düngemitteln), sind folgende Informationen zu berücksichtigen:

- Untersuchung von Böden am Anlagengelände, die vor Errichtung der Anlage durchgeführt wurden mit In-situ-Gammaspektrometrie und nuklidspezifischer Analyse von Proben;
- Ergebnisse der radiologischen Überwachung des Anlagengeländes und der Umgebung;
- Untersuchung von Böden aus der näheren Umgebung der Anlage auf ungestörten Flächen (unter Berücksichtigung der Wind- bzw. Ausbreitungsrichtung) mit In-situ-Gammaspektrometrie und nuklidspezifischer Analyse von Proben.

Liegen Aufschüttungen der Bodenflächen vor, die ortsfremde Materialanteile aufweisen, dürfen die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide, die nicht aus dem genehmigungspflichtigen Umgang stammen

- im Aufschüttungsmaterial anhand der Herkunft des Materials bestimmt werden,
- im sonstigen Gelände mittels Bohrkernsondierung und Beprobung darunter liegender Bodenschichten bestimmt werden, wenn ausgeschlossen ist, dass diese durch den Betrieb der Anlage kontaminiert wurden.

Der Probenumfang sowie die Vorgehensweise zum Abzug der Vorbelastung sind aufgrund der standortbezogenen Gegebenheiten festzulegen.

5.3 Iststand-Aufnahme

Die Iststand-Aufnahme dient der Zusammenfassung der vorliegenden Daten und Informationen zum freizugebenden Anlagengelände und kann auch zur vorläufigen Auswahl der Freigabeoption (siehe Anhang D) verwendet werden. Gegenstand der Iststand-Aufnahme ist die Auswertung der Betriebshistorie und eventuell vorliegender aktueller Messungen, Probenahmen und Analysen.

Die Auswertung der Betriebshistorie kann sich auf die folgenden Informationen stützen:

- Historie der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft;
 - Historie der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, sofern dies für die betreffende Anlage bzw. den genehmigten Umgang zutrifft und sofern das freizugebende Anlagengelände die Leitungen für die Ableitung des Abwassers oder das Auslaufbauwerk umfasst;
- ANMERKUNG Die Heranziehung der Aktivitätswerte für die genehmigten Ableitungen ist in der Regel nicht nützlich, da die tatsächlichen Ableitungsmengen diese Werte weit unterschreiten.
- Orte der Bereitstellung von Abfallbinden (Abwaschung von Restkontamination durch die Witterung);
 - Ausdehnung und Betriebshistorie eines Kontrollbereichs im Anlagengelände (evtl. als temporärer Kontrollbereich mit Überdachung oder unter freiem Himmel);
 - Freisetzung radioaktiver Stoffe über den Luft- oder Flüssigkeitspfad (z. B. Leckagen);
 - bekannte Kontaminationen;
 - Strahlungsfelder z. B. um kerntechnische Anlagen, Beschleuniger und Lager radioaktiver Stoffe;
 - Daten des betrieblichen Strahlenschutzes (z. B. Messwerte auf Verkehrsflächen, Bodenproben im Rahmen der Standortüberwachung);
 - Rohrleitungen und Kanäle, die unterhalb des Anlagengeländes verlaufen sowie ggf. vorgenommene Veränderungen dieser Anlagensysteme;
 - Kontaminationsführende Rohrleitungen, rückzubauende Rohrleitungen, Restbetriebssysteme, usw.;
 - bauliche Veränderungen.

5.4 Voruntersuchung

5.4.1 Zielstellung der Voruntersuchung

Ziel der Voruntersuchung ist es, die Informationen aus der Iststand-Aufnahme zu verifizieren und weitere Daten zu gewinnen, um auf diese Weise optimale Voraussetzungen für die ungestörte Durchführung der Entscheidungsmessungen zum Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte zu schaffen.

Im Rahmen der Voruntersuchung werden an repräsentativen Proben sowie durch Direktmessungen die räumliche Aktivitätsverteilung und das Radionuklidgemisch (siehe 3.9 und 5.5) mit den für die Entscheidungsmessung relevanten Radionukliden bestimmt. Sofern nicht alle diese Radionuklide aus dem Radionuklidgemisch messtechnisch erfasst werden sollen oder können, sind aus dem Radionuklidgemisch die Schlüsselnuklide (siehe 3.13 und 5.6) sowie die anzuwendenden Hochrechnungsfaktoren festzulegen.

Die Auswahl der Messverfahren richtet sich nach den in oder auf der Bodenfläche vorliegenden Radionukliden. Nähere Anforderungen sind 6.2, 6.3 und 6.4 zu entnehmen.

5.4.2 Herstellung eines definierten Ausgangszustandes

Für eine effiziente Voruntersuchung des betreffenden Anlagengeländes ist die Herstellung des folgenden Zustandes zu empfehlen:

- Vor Messungen auf unversiegelten Flächen ist evtl. Bewuchs (z. B. Büsche und Sträucher), der die Messungen behindert, zu entfernen.
- Unterirdisch im Anlagengelände verlaufende Rohrleitungen oder sonstige Strukturen, die nicht mit dem Anlagengelände gemeinsam freigegeben werden sollen, sollten radiologisch charakterisiert sein, um beurteilen zu können, ob von diesen störende Einflüsse für die Voruntersuchung oder die Entscheidungsmessung ausgehen könnten.
- Im bzw. auf dem Anlagengelände befindliche Strukturen, die nicht mit dem Anlagengelände gemeinsam freigegeben werden sollen, jedoch nicht vorab entfernt werden können (z. B. Einstiegsöffnungen zu unterirdischen Kanälen und Gängen, Betonfundamente, Laternen, Zäune), sollten herausgegeben oder, vorzugsweise unter Anwendung von DIN 25457-4 und DIN 25457-6, radiologisch charakterisiert und freigegeben bzw. herausgegeben werden.
- Vor Direktmessungen ist ggf. die temporäre Lagerung von radioaktiven Stoffen so zu verändern, dass eine Beeinflussung der Voruntersuchung und späteren Entscheidungsmessung vermieden werden kann.

5.4.3 Unterschiede der Voruntersuchung bei versiegelten und offenen Flächen

Die Vorgehensweise bei der Voruntersuchung ist daran auszurichten, ob es sich um offene Bodenflächen, die mit Vegetation bewachsen oder mit Kies, Schotter oder Schlacke aufgeschüttet oder mit Rasengittersteinen bedeckt sind, oder um versiegelte Bodenflächen (siehe 3.2.1), die mit Beton oder Asphalt abgedeckt sind, handelt:

- a) Bei versiegelten Flächen ist zu prüfen,
 - 1) ob durch Fugen, Risse oder sonstige Beschädigungen radioaktive Stoffe in das Material, die Fugen oder in den darunter liegenden Boden eingedrungen sind.
 - 2) ob mehrere Schichten der Versiegelung vorliegen, zwischen denen ggf. Kontamination vorliegen könnte.
- b) In offenen Bodenflächen ist zu prüfen,
 - 1) ob durch ablaufendes Regenwasser oder Resuspension von Staub von angrenzenden versiegelten Flächen radioaktive Stoffe dorthin transportiert wurden.
 - 2) ob ältere Kontaminationen durch spätere Aufschüttungen überdeckt wurden.

Bei versiegelten Bodenflächen sind insbesondere die Stellen zu berücksichtigen, an denen sich die Aktivität aufgrund von Witterungseinflüssen sammelt. Dies sind z. B. Flächen unterhalb von Rampen oder Stellen, bei den sich Staub oder Schnee bei Wind sammelt.

Ergibt sich aus der Voruntersuchung, dass bei Störstellen, wie z. B. Rissen, Aktivität in freigaberelevanter Höhe nicht ausgeschlossen werden kann, so muss an diese Störstellen jeweils Probenmaterial aus der Versiegelung und aus dem Boden unterhalb der Versiegelung gewonnen werden.

Wurde die Versiegelung nach Einrichten eines Strahlenschutzbereichs aufgebracht oder erneuert, so muss nachgewiesen werden, dass durch die Versiegelung keine Aktivität in freigaberelevanter Höhe überdeckt wurde. Der Nachweis kann mittels Unterlagen aus der Zeit vor der Versiegelung oder durch Probenahme von Material unterhalb der Versiegelung erbracht werden.

5.4.4 Bestimmung der Verteilung radioaktiver Stoffe über die Fläche und die Tiefe

Im Rahmen der Voruntersuchung ist weiterhin die Verteilung radioaktiver Stoffe über die Fläche und die Tiefe zu bestimmen. Dazu ist die Fläche nach dem zu erwartenden Kontaminationszustand gemäß den Erkenntnissen der Iststand-Aufnahme in Teilflächen zu unterteilen und das Probenahme- und Messprogramm daran auszurichten.

Die räumliche Aktivitätsverteilung ist zusammen mit dem Radionuklidgemisch zu untersuchen, da sich durch unterschiedliches Migrationsverhalten oder andere Einflüsse eine Abhängigkeit des Radionuklidgemisches von der Eindringtiefe oder der lateralen Verteilung ergeben kann.

Die Aktivitätsverteilung wird anhand von Bodenproben mit anschließender Analyse im Labor, direkten Oberflächenmessungen mit Großflächenzählern oder gammaspektrometrischen In-situ-Messungen untersucht. Je inhomogener die Aktivität der Radionuklide über die Bodenfläche verteilt ist und je geringer die Differenz zwischen den gemittelten Aktivitäten und den Freigabewerten ist, desto mehr Messungen sind zur Untersuchung der Aktivitätsverteilung durchzuführen.

Für jede Probe oder Messung ist der zugehörige Ort der Probenentnahme oder Messung zu dokumentieren. Von den Verdachtsflächen (siehe 3.14) sind vermehrt Proben zu entnehmen. Falls in Teilbereichen des Anlagengeländes (siehe 3.1) Bodenflächen gefunden werden, bei denen das Radionuklidgemisch (siehe 3.9) oder die Tiefenverteilung der Aktivität so stark von denen der sonst in der Anlage üblichen abweicht, dass die Wahl des Entscheidungsverfahrens und die Bestimmung der Vorbelastung wesentlich beeinflusst werden, sind diese zu kennzeichnen und gesondert zu untersuchen.

5.4.5 Einteilung der Bodenflächen in Kategorien nach ihrem Kontaminationszustand

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Iststand-Aufnahme und der Voruntersuchung sind die Bodenflächen nach ihrem Kontaminationszustand in Kategorien einzuteilen.

Folgende Kategorisierung kann beispielsweise gewählt werden:

- Kategorie 1: Kontamination oberhalb der Freigabewerte ist oder war vorhanden;
- Kategorie 2: Kontamination ist möglich (Hinweise auf Kontamination liegen vor, die Messwerte liegen jedoch unter den Freigabewerten);
- Kategorie 3: Kontamination ist unwahrscheinlich;
- Kategorie 4: Kontamination ist auszuschließen.

Insbesondere sind hierbei Verdachtsflächen (siehe 3.14) zu untersuchen und abzugrenzen. Eine Änderung der Kategorie ist möglich, wenn durch Dekontaminationsmaßnahmen die vorhandene Kontamination nachweislich entfernt wurde bzw. wenn sich durch weitere Untersuchungen eine höhere Kontaminationswahrscheinlichkeit erweist.

Hinweise zur Kategorisierung der Bodenflächen und Beispiele sind in Anhang C angegeben.

5.5 Radionuklidgemisch

Die Ermittlung des für die Entscheidungsmessung relevanten Radionuklidgemischs umfasst Alpha-, Beta- und Elektroneneinfang-Strahler. Isomere, die ausschließlich Gammastrahlung emittieren, können im Allgemeinen wegen ihrer kurzen Halbwertszeiten unberücksichtigt bleiben. Die relevanten Radionuklide müssen, soweit sie nicht durch Gammaspektrometrie hinreichend sicher bestimmt werden können, durch andere nuklidspezifische Messverfahren ermittelt werden.

ANMERKUNG Anhaltspunkte für das Radionuklidgemisch können aus der Bilanzierung der Abgaben mit der Fortluft bzw. dem Abwasser gewonnen werden.

5.6 Schlüsselnuklide

Das für die Entscheidungsmessung relevante Radionuklidgemisch wird z. B. nach Herkunft (Aktivierungs- oder Spaltprodukte), physikalischen und chemischen Eigenschaften in n Teilmengen ($n \geq 1$) so unterteilt, dass für jede Teilmenge i mindestens ein Schlüsselnuklid festgelegt wird.

ANMERKUNG Für den Fall, dass die Radionuklide Co-60 und Cs-137+ als Schlüsselnuklide verwendet werden und sich aus der Voruntersuchung ergibt, dass die spezifische Aktivität von Cs-137+ in Höhe der Vorbelastung (siehe 5.2) vorliegt, kann davon ausgegangen werden, dass ein Beitrag zur Kontamination durch den Anlagenbetrieb nur dann zu unterstellen ist, wenn neben der Aktivität von Cs-137+ auch Aktivität von Co-60 gefunden wird.

Die Aktivität A_j des Radionuklids j ergibt sich aus der Aktivität A_i des jeweils zugehörigen Schlüsselnuklids i durch Multiplikation mit dem Hochrechnungsfaktor f_{ij} nach Gleichung (1):

$$A_j = A_i \cdot f_{ij} \quad (1)$$

Der Hochrechnungsfaktor f_{ij} kann aus der Untersuchung des Radionuklidgemisches mindestens einer repräsentativen Probe als das Verhältnis der Aktivität des Radionuklids j zur Aktivität des zugehörigen Schlüsselnuklids i der Teilmenge bestimmt werden. Ersatzweise kann der Hochrechnungsfaktor f_{ij} auch aus anderen Quellen, z. B. den Festlegungen, die für die Gebäudefreigabe (siehe DIN 25457-6) oder die für eine eventuelle Bodenkontamination relevanten Systeme (siehe DIN 25457-4) getroffen wurden, übernommen werden.

Die im Material vorhandene Gesamtaktivität A kann nach Gleichung (2) dargestellt werden als Summe der Aktivitäten A_i der insgesamt n Schlüsselnuklide sowie der Summe der Aktivitäten der insgesamt m Radionuklide, deren Aktivitäten A_j über die Hochrechnungsfaktoren bestimmt wurden, und der Summe der Aktivitäten der insgesamt l Radionuklide, deren Aktivitäten A_k über ein Messverfahren direkt bestimmt werden sollen und nicht als Schlüsselnuklid dienen:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j + \sum_{k=1}^l A_k \quad (2)$$

Wird die Aktivität einer Teilmenge oder eines Einzelnuklids nicht auf ein einzelnes Schlüsselnuklid sondern auf die Summenaktivität mehrerer Schlüsselnuklide bezogen, so ist in den Gleichungen (1) und (2) diese Summenaktivität zu verwenden. Werden mehrere Proben untersucht, so ist jeweils ein geeigneter Wert (z. B. obere Grenze des Vertrauensbereichs des Erwartungswertes) der Verteilung der ermittelten Hochrechnungsfaktoren zu verwenden. Dieser Wert ist dabei so festzulegen, dass die radiologische Relevanz der Nuklide anhand ihrer Freigabewerte berücksichtigt wird. Ein Maß für die radiologische Relevanz ist das Verhältnis des Freigabewertes des Nuklids zum Freigabewert des Schlüsselnuklids. Je kleiner dieses Verhältnis ist, umso größer ist die radiologische Relevanz. Für radiologisch relevante Nuklide, z. B. Alphastrahler, ist ein Wert aus dem oberen Bereich der Verteilung und für radiologisch weniger relevante Nuklide ein Wert aus dem unteren bis mittleren Bereich der Verteilung auszuwählen (siehe Beispiele in DIN 25457-4:2013-04, Anhang C).

Bei ausreichender Konservativität des gewählten Hochrechnungsfaktors kann die Typ B-Unsicherheit des Hochrechnungsfaktors unberücksichtigt bleiben. Alternativ können Hochrechnungsfaktoren als Eingangsgrößen für die Bestimmung der Gesamtaktivität nach DIN 25457-1 verwendet werden, für die jeweils ein Schätzwert und eine Unsicherheit bestimmt werden. Die Schätzwerte und Typ B-Unsicherheiten der Hochrechnungsfaktoren werden in diesem Fall bei der Berechnung der Gesamtaktivität und deren Unsicherheit berücksichtigt.

5.7 Nuklidvektoren

Ausgangsdaten für die Berechnung von Nuklidvektoren sind die ermittelten Radionuklidgemische der Kontamination bzw. der Aktivierungsprodukte und deren Aktivitätsanteile, sowie ggf. die festgelegten Schlüsselnuklide und die berechneten Hochrechnungsfaktoren. Bei der Ermittlung der Radionuklidgemische sind alle relevanten Radionuklide zu berücksichtigen. Für die Berechnung der Nuklidvektoren können mehrere Verfahren geeignet sein, z. B.:

- Berechnung durch Mittelwertbildung;
- Berechnung abdeckender Nuklidvektoren;
- Berechnung auf Basis sonstiger statistischer Verfahren.

Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens ist abhängig von der radiologischen Situation, dem gewählten Messverfahren, der Freigabestrategie und anderen Faktoren.

ANMERKUNG Die Festlegung des Berechnungsverfahrens erfolgt meist im Rahmen der Aufsichts- und Genehmigungsverfahren in Abstimmung mit der Behörde und den von ihr beauftragten Gutachtern.

Aus den berechneten (vollständigen) Nuklidvektoren können durch Weglassung radiologisch weniger relevanter Radionuklide (10 %-Abschneidekriterium der Strahlenschutzverordnung) abgeschnittene Nuklidvektoren gebildet werden.

Die Nuklidvektoren sind eindeutig zu bezeichnen, ihr jeweiliger räumlicher (laterale und/oder vertikale Verteilung) und zeitlicher Geltungsbereich (z. B. für versiegelte Flächen, Flächen einer bestimmten Kategorie) zu benennen und der Bezugszeitpunkt anzugeben. Außerdem ist das verwendete Berechnungsverfahren zu benennen und anzugeben, ob es sich um einen vollständigen oder abgeschnittenen Nuklidvektor handelt.

Nuklidvektoren sind in angemessenen Fristen hinsichtlich des Abklingens bzw. Nachbildens einzelner Radionuklide zu aktualisieren.

Bei ausreichender Konservativität des gewählten Nuklidvektors darf die Typ B-Unsicherheit des Nuklidvektors unberücksichtigt bleiben.

6 Entscheidungsmessverfahren

6.1 Allgemeines

Die Messungen an Bodenflächen haben die Aufgabe sicherzustellen, dass oberflächen- oder massenbezogene Aktivitäten die vorgegebenen Freigabewerte unter Berücksichtigung der festgelegten Mittelungsgrößen nicht überschreiten. Es müssen die radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden, die aus dem genehmigungspflichtigen Umgang stammen. Vorbelastungen nach 5.2 brauchen nicht berücksichtigt zu werden. Flächenbezogene Aktivitäten sind dann zu ermitteln, wenn flächenbezogene Freigabewerte einzuhalten sind. Hierbei kann es sich z. B. um die auf die Messfläche (siehe 3.6) projizierte Aktivität als Quotient der bis zur Eindringtiefe aufsummierten Aktivität und der Messfläche handeln. Massenbezogene Aktivitäten sind dann zu ermitteln, wenn massenbezogene Freigabewerte einzuhalten sind. Hierbei kann es sich z. B. um die Bestimmung der mittleren massenbezogenen Aktivität innerhalb einer vorgegebenen Bodentiefe handeln.

Können bei einem nuklidbezogenen Messverfahren die für die Entscheidungsmessung relevanten Radionuklide oder die Schlüsselnuklide nicht nachgewiesen werden, dürfen die in der Messung erreichten Nachweisgrenzen nach DIN ISO 11929 zur Bewertung der Einhaltung der Freigabewerte herangezogen werden.

Ergebnisse von Messungen, die vorlaufend zu den Entscheidungsmessungen z.B. im Rahmen von Voruntersuchungen erhalten wurden, können als Ergebnisse der Entscheidungsmessung verwendet werden, wenn sie deren Anforderungen genügen.

Die Ergebnisse der Entscheidungsmessung sind auch dazu zu verwenden, die aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung getroffenen Festlegungen für das Entscheidungsverfahren unter Berücksichtigung von durchgeführten Dekontaminationsmaßnahmen zu prüfen. Gegebenenfalls ist das Entscheidungsverfahren mit geänderten Festlegungen zu wiederholen oder durch zusätzliche Messungen zu ergänzen.

Vor der Entscheidungsmessung ist Bewuchs (z. B. Büsche und Sträucher), der die Messungen behindert, zu entfernen.

Weitere Festlegungen sind in Anhang A enthalten. Hinweise zur Anwendung von Freigabeoptionen auch im Hinblick auf die Auswahl geeigneter Messverfahren sind in Anhang D angegeben.

Im Fall der Verwendung von Nuklidvektoren lässt sich der Freigabewert für den Nuklidvektor nach Gleichung (3) aus den Freigabewerten der Nuklide des Nuklidvektors unter Berücksichtigung der Summenformel berechnen. Dieser wird auch als „abgeleiteter Freigabewert“ bezeichnet.

$$a_{\text{FGW,NV}} = \frac{1}{\sum_i^n \frac{v_i}{a_{\text{FGW},i}}} \quad (3)$$

Dabei ist

$a_{\text{FGW,NV}}$ der abgeleitete Freigabewert für den Nuklidvektor NV;

$a_{\text{FGW},i}$ der Freigabewert des Nuklids i ;

v_i der Anteil des Nuklids i am Nuklidvektor.

Die gemessene oder berechnete spezifische Gesamtaktivität eines Materials kann mit diesem abgeleiteten Freigabewert verglichen werden, um die Freigabefähigkeit des Materials zu überprüfen.

Für nuklidspezifische Messungen ist die Berechnung von nuklidspezifischen abgeleiteten Freigabewerten nach Gleichung (4) sinnvoll. Diese geben an, bis zu welcher spezifischen Aktivität des Nuklids ein Material mit einer dem Nuklidvektor entsprechenden Nuklidzusammensetzung freigabefähig ist.

$$a_{\text{FGW,NV},i} = v_i a_{\text{FGW,NV}} \quad (4)$$

Dabei ist

$a_{\text{FGW,NV},i}$ der nuklidspezifische abgeleitete Freigabewert für das Nuklid i .

6.2 Direktmessung an Bodenflächen

6.2.1 In-situ-Gammaspektrometrie

Da mit der Gammaspektrometrie je nach Energie der Gammastrahlung die Radionuklidzerfälle bis zu Tiefen von wenigen Dezimetern im Boden erfasst werden, ist dieses Verfahren insbesondere auch dann anwendbar, wenn vorhandene Aktivität überdeckt ist oder Radionuklide bis zu Tiefen von wenigen Dezimetern in den Boden eingedrungen sind.

Mit In-situ-Gammaspektrometrie kann auf Bodenflächen die Aktivität der gammastrahlenden Radionuklide nuklidspezifisch gemessen werden. Die Fläche beträgt typischerweise 1 m² bis 100 m². Der Zusammenhang von Größe der Fläche, Nachweisgrenzen der nachzuweisenden Nuklide und Messzeit ist zu beachten.

Entscheidungsmessungen mit In-situ-Gammaspektrometern dürfen mit und ohne Verwendung eines Kollimators durchgeführt werden. Zur Durchführung von Freigabemessungen an Bodenflächen mit einem In-situ-Gammaspektrometer ist die Verwendung eines Kollimators aus folgenden Gründen zweckmäßig:

- Ausblenden seitlicher Störstrahlung (z. B. durch Kontaminationen in der Umgebung);
- definierbare Mittelungsgröße und Messfläche;
- bessere Lokalisierbarkeit und Quantifizierbarkeit von Kontaminationen;
- größere effektive Sichttiefe in den Boden unter der Messfläche.

Wenn die Aktivität weitgehend homogen verteilt ist oder der Mittelwert die Freigabewerte weit unterschreitet, darf die Messung auch mit einem unkollimierten In-situ-Gammaspektrometer erfolgen. In diesen Fällen ist jedoch die Interpretation von Entscheidungsmessungen mit identifizierter Restaktivität (d. h. einem Messwert größer Erkennungsgrenze) ohne weitere Untersuchungen nicht möglich.

Die Aktivitäten sonstiger zu berücksichtigender Nuklide, deren Messeffekt mittels In-situ-Gammaspektrometrie nicht erfasst wird, werden nach 5.6 über die Hochrechnungsfaktoren aus den Aktivitäten ihrer zugehörigen Schlüsselnuklide oder nach 5.7 aus dem Nuklidvektor bestimmt.

Zur Anwendung des Verfahrens müssen die nach DIN 25457-1 ermittelten Nachweisgrenzen der gammastrahlenden Schlüsselnuklide kleiner als die auf Basis des Nuklidvektors abgeleiteten nuklidspezifischen Freigabewerte sein.

Messungen können nach 7.1.2 flächendeckend oder nach den in 7.1.3 beschriebenen Rasterverfahren durchgeführt werden, wobei jeweils kombinierte Verfahren nach 7.1.4 zur Anwendung kommen können. Die kreisförmige Messfläche eines In-situ-Gammaspektrometers (Sichtbereich des Detektors nach DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897) ist dem rechteckigen Raster (siehe Bild 1) anzupassen. Bei niedrigem Kontaminationsniveau kann die Messung mehrerer Rasterflächen in einer Messung erfolgen, wobei das Messergebnis auf eine Rasterfläche zu beziehen ist.

Zur Kalibrierung der Messeinrichtung sind die in den Voruntersuchungen bestimmten Tiefenverteilungen der Radionuklide zu berücksichtigen. Die durch die Messung erfasste Tiefe (Sichttiefe) beträgt in Abhängigkeit von der Energie der emittierten Gammastrahlung des Radionuklids und der Dichte des Bodens bis zu 30 cm. Die Kalibrierung ist nach DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897) durchzuführen. Bei der Messung natürlich vorkommender Radionuklide ist der apparative Nulleffekt der Messeinrichtung zu ermitteln.

Ein In-situ-Gammaspektrometer muss hinsichtlich Tauglichkeit und Zuverlässigkeit beim Feldeinsatz nach DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897) ausgelegt sein.

Mit einem im Allgemeinen zylindrischen Kollimator wird der Sichtbereich des Detektors auf einen kreisförmigen Bereich mit einer innenliegenden quadratischen Fläche in der Größenordnung von einigen m² aus der zu untersuchenden Fläche eingeschränkt. Als Messfläche ist die durch den Öffnungswinkel des Kollimators festgelegte Fläche anzusetzen.

Mit dem unkollimierten Detektor kann die gesamte Aktivität der gammastrahlenden Radionuklide einer größeren Bodenfläche (z. B. 100 m²) gemessen werden.