

DIN 25457-1



ICS 17.240; 27.120.10

Entwurf

Einsprüche bis 2023-11-08
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 25457-1:2014-12;
Ersatz für
E DIN 25457-1:2023-02

Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen – Teil 1: Grundlagen

Activity measurement methods for the clearance of radioactive substances and nuclear facility components –
Part 1: Fundamentals

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 1: Principes fondamentaux

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-09-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Kurzbeschreibung der Vorgehensweise im Freigabeverfahren	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Festlegung der Charakterisierungsstrategie	15
5.3 Grundlagen der Voruntersuchung	17
5.4 Räumliche Aktivitätsverteilung	17
5.5 Radionuklidgemisch	18
6 Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren und Nuklidvektoren	18
6.1 Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren	18
6.2 Ermittlung von Nuklidvektoren	19
6.3 Auswirkungen der Dekontamination	20
7 Modelle der Auswertung für Einzelmessungen	21
7.1 100%-Messung, Stichprobenverfahren, repräsentative Messung, abdeckende Messung	21
7.1.1 Allgemeines	21
7.1.2 Stichprobenverfahren	21
7.1.3 Repräsentative Messung	22
7.1.4 Abdeckende Messung	22
7.2 Grundlegendes Modell und charakteristische Größen der Aktivitätsmessverfahren	22
8 Messverfahren	24
8.1 Direkte Messverfahren der Gesamt-Alpha- oder Beta-Oberflächenkontamination	24
8.1.1 Allgemeines	24
8.1.2 Austrittsfaktoren bei einfachen und komplexen Zerfallsschemata	25
8.1.3 Relevante Typ B-Unsicherheiten	26
8.1.4 Anforderungen an die Messgeräte	27
8.1.5 Anforderungen an die Kalibrierstrahler [DIN EN ISO 8769 (VDE 0412-8769)]	27
8.1.6 Oberflächenbeschaffenheit des Messgutes	27
8.1.7 Abhängigkeit der Zählrate des Detektors von den geometrischen Bedingungen	28
8.1.8 Berechnung der massenspezifischen Aktivität aus der Oberflächenkontamination	28
8.1.9 Festlegung eines Alarmwerts	29
8.1.10 Messablauf	31
8.1.11 Qualitätssicherung	31
8.2 Indirekte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung	32
8.2.1 Allgemeines	32
8.2.2 Relevante Typ B-Unsicherheiten	32
8.2.3 Anforderungen an die Messanordnung	33
8.2.4 Anforderungen an den Kalibrierstrahler	33
8.2.5 Kalibrierung	33
8.2.6 Nulleffektbestimmung	33
8.2.7 Durchführung der Messung	33
8.2.8 Qualitätssicherung	33
8.3 Spektrometrische Messverfahren	34
8.3.1 Gammaspektrometrie an Materialproben	34
8.3.2 In-situ-Gammaspektrometrie	39
8.4 Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung	44
8.4.1 Allgemeines	44
8.4.2 Relevante Unsicherheiten	45
8.4.3 Anforderungen an die Messeinrichtung	46

8.4.4	Eigenschaft des Messgutes	47
8.4.5	Anforderungen an die Kalibrierung	47
8.4.6	Durchführung der Messung	49
8.4.7	Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze und Vertrauensbereich	51
8.4.8	Qualitätssicherung	51
9	Dokumentation	52
9.1	Allgemeines	52
9.2	Dokumentation Voruntersuchung	53
9.3	Dokumentation Entscheidungsmessung	54
Anhang A	(normativ) Bestimmung des Oberflächenansprechvermögens	58
Anhang B	(informativ) Beispiele für die Berechnung von Hochrechnungsfaktoren bei Vorliegen von Ergebnissen eines Ensembles von Proben	62
Anhang C	(informativ) Beispiele für Messstrategien	67
Anhang D	(informativ) Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze, der oberen Grenze des Vertrauensbereichs und des Erwartungswertes für Messungen mit Kontaminationsmonitoren bei Berücksichtigung von Typ B-Unsicherheiten	68
D.1	Grundlegendes Messmodell	68
D.2	Messaufgabe und Messparameter	69
D.3	Berechnung der charakteristischen Größen	69
D.4	Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Entscheidungsmessung zur Freigabe	71
D.5	Einbeziehung von Messunsicherheiten bzgl. des Freigabewerts der flächenbezogenen Gesamtaktivität	72
Anhang E	(informativ) Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze für Messungen mit Wischtstmessplätzen (indirekte Oberflächengesamtaktivitätsmessung)	73
Literaturhinweise		76

Bilder

Bild 1	— Schematische Darstellung der Prozessabläufe	16
Bild 2	— Vereinfachtes Ishikawa-Diagramm (en: fishbone diagram) zur Darstellung des Prozesses der Auswertung der Freigabemessungen mit einer Gesamt-Gamma-Messeinrichtung	48
Bild 3	— Beispiel eines Ablaufplan der Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung mit einer Freimessanlage	50
Bild A.1	— Verlauf der Zählrate in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse einer Absorptionsschicht, gemessen mit einem Proportionalzählrohr, flächenbezogene Masse der Folie $0,3 \text{ mg/cm}^2$, Zählgas Ar/CH_4	60
Bild A.2	— Oberflächenansprechvermögen $\varepsilon_{\text{id}} \cdot S_P$ eines Proportionalzählrohres in Abhängigkeit vom Abstand d der Quelle zur Detektoroberfläche (Fläche Quelle $B \cdot L = 8 \text{ cm} \cdot 12,5 \text{ cm}$ oder $\varnothing = 6 \text{ cm}$, Detektorfläche $B \cdot L = 9,4 \text{ cm} \cdot 16,6 \text{ cm}$, flächenbezogene Masse der Folie $0,3 \text{ mg/cm}^2$, Zählgas Ar/CH_4)	61
Bild B.1	— Auftragung der logarithmierten Verhältnisse der Daten nach Tabelle B.2	65
Bild E.1	— Aktivität, Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze bei der indirekten Oberflächengesamtaktivitätsmessung (vollständiges und vereinfachtes Modell)	75

Tabellen

Tabelle 1	— Symbole und Abkürzungen	12
Tabelle 2	— Vorgaben zur Entscheidungsmessung	55
Tabelle A.1	— Beispiele für das flächenbezogene Ansprechvermögen $\varepsilon_{\text{i,F}}$ für verschiedene Zählsonden und Radionuklide mit Kalibrierstrahler 100 cm^2	59
Tabelle A.2	— Beispiel für das mittlere flächenbezogene Ansprechvermögen $\varepsilon_{\text{i,F}}$ eines Oberflächenkontaminationsmessgerätes mit Plastiksintillationsdetektoren [5]	60

Tabelle B.1 — Schritte zur Berechnung des Hochrechnungsfaktors	62
Tabelle B.2 — Beispieldaten für die Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren	63
Tabelle D.1 — Vorliegende Radionuklide, Nuklidvektor, Oberflächenansprechvermögen des Detektors und Oberflächenkontaminationswerte beispielsweise nach StrlSchV, Anl. 4, Tab. 1, Sp. 5	69
Tabelle D.2 — Iteration zur Berechnung der Nachweisgrenze	71
Tabelle E.1 — Beispiel zur Ermittlung der Aktivität einer indirekten Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung	73
Tabelle E.2 — Beispiel für die Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze	74

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 062-07-46 AA „Reststofffragen“ des Fachbereichs Kerntechnik und Strahlenschutz im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erstellt.

DIN 25457¹, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen*, besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Grundlagen
- Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
- Teil 6: Bauschutt und Gebäude
- Teil 7: Bodenflächen

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 25457-1:2014-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung der aktuellen Strahlenschutzgesetzgebung;
- b) Anwendungsbereich überarbeitet;
- c) normative Verweisungen aktualisiert;
- d) Begriffe, Formelzeichen und Symbole überarbeitet;
- e) neue Abschnitte 5 bis 6 aufgenommen durch Umsortierung aus den anderen Teilen der Normenreihe;
- f) Abschnitt 7 wurde ergänzt, und dabei insbesondere auf das Stichprobenverfahren nach DIN EN ISO 11929-Reihe verweisen;
- g) Abschnitt 8, früher Abschnitt 4, komplett überarbeitet, dabei wurden nicht mehr gebräuchliche Messverfahren gestrichen und Anforderungen an DIN ISO 7503-Reihe angepasst sowie Verweisungen zu DIN EN ISO 20042 aufgenommen;
- h) neuer Abschnitt 9 zur Dokumentation aufgenommen;
- i) Anhang A überarbeitet;
- j) Anhang B wurde übernommen aus DIN 25457-4, Anhang C;
- k) Anhänge B bis G gestrichen;

1 Die Normenreihe wird derzeit überarbeitet. Die Teile 4 und 6 werden in einen neuen Teil 2 „Freigabe von Reststoffen“ überführt. Die Teile 6 und 7 werden in einen neuen Teil 3 „Freigabe von Gebäudestrukturen und Bodenflächen“ überführt.

- l) Anhang H ist jetzt Anhang D und wurde aktualisiert;
- m) Anhang I ist jetzt Anhang E und wurde aktualisiert;
- n) Anhang J gestrichen;
- o) Anhang C mit Beispielen für Messstrategien neu aufgenommen;
- p) Literaturhinweise überarbeitet.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen an den messtechnischen Nachweis der Einhaltung der Freigabekriterien gemäß StrlSchV, Teil 2, Kapitel 3 fest.

Dieses Dokument ist ebenfalls anwendbar beim Herausbringen von beweglichen Gegenständen gemäß § 58, Absatz 2, StrlSchV. Im weiteren Text gelten Festlegungen für die Freigabe auch für das Herausbringen.

Dieses Dokument beschreibt die Ermittlung von Aktivitäten im Rahmen von Messungen, die zum Vergleich mit den Freigabewerten herangezogen werden. Sollte eine Bilanzierung der Gesamtaktivität oder eine Ermittlung der insgesamt freigegebenen Aktivität vorgenommen werden, so können andere Verfahren der Aktivitätsbestimmung geeigneter sein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 25457-6, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen — Teil 6: Bauschutt und Gebäude*

DIN 25457-7:2017-08, *Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen — Teil 7: Bodenflächen und Bodenaushub*

DIN EN 60325 (VDE 0493-2-1), *Strahlenschutz-Messgeräte — Alpha-, Beta- und Alpha/Beta-(Betaenergie > 60 keV) Kontaminationsmessgeräte und -monitore*

DIN EN ISO 8769 (VDE 0412-8769), *Bestimmung der Radioaktivität — Alpha-, Beta- und Photonenstrahlung emittierende Radionuklide — Spezifikation von Bezugsnormalen für die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren*

DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung — Grundlagen und Anwendungen — Teil 1: Elementare Anwendungen*

DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292), *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung — Grundlagen und Anwendungen — Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen*

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

DIN EN ISO 20042 (VDE 0493-2042):2022-06, *Bestimmung der Radioaktivität — Gammastrahlung emittierende Radionuklide — Allgemeines Messverfahren mittels Gammaspektrometrie (ISO 20042:2019); Deutsche Fassung EN ISO 20042:2021*

DIN ISO 7503-1 (VDE 0493-2-5031):2017-12, *Bestimmung der Radioaktivität — Messung und Bewertung der Oberflächenkontamination — Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 7503-1:2016)*

DIN ISO 7503-2 (VDE 0493-2-5032), *Bestimmung der Radioaktivität — Messung und Bewertung der Oberflächenkontamination — Teil 2: Wischtest*

DIN ISO 7503-3 (VDE 0493-2-5033):2017-12, *Bestimmung der Radioaktivität — Messung und Bewertung der Oberflächenkontamination — Teil 3: Gerätekalibrierung (ISO 7503-3:2016)*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

StrlSchV, *Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV)*, vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645) geändert worden ist

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-Terminologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term/>
- DKE-IEV: verfügbar unter <https://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Alarmwert

messtechnische Vorgabe zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte unter Berücksichtigung der Summenformel, bezogen auf das jeweilige Messverfahren oder Messgerät unter Berücksichtigung der Unsicherheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird angegeben z. B. in Impulse je Sekunde.

3.2

Bauschutt

<Freigabeverfahren> vorwiegend mineralisches Material unterschiedlicher Größe und von unregelmäßiger Struktur, das bei laufenden Betriebsarbeiten oder nach Abriss von Gebäuden oder Anlagenteilen anfällt

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Herstellung der Messbarkeit für die Freimessung kann eine Aufbereitung des Materials stattfinden.

3.3

Betriebsgelände

Summe der bebauten und unbebauten Geländeflächen einer Anlage oder Einrichtung, die Bestandteil einer Genehmigung gemäß Atomgesetz (AtG) oder Strahlenschutzgesetz (StrlG) sind

3.4

Bezugsfläche

Fläche, die bei der Berechnung der flächenbezogenen Aktivität aus der gemessenen Aktivität verwendet wird

3.5

Bezugsmasse

Masse, die bei der Berechnung der massenbezogenen Aktivität aus der gemessenen Aktivität verwendet wird

3.6

Blindwert

Messgröße, die nicht durch den in der Probe ursprünglich vorhandenen oder der Kalibrierprobe zugesetzten Analyten verursacht wird

[QUELLE: DIN 51009:2013-11, 13.2.6]

3.7

Bodenaushub

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

3.8

Bodenfläche

alle außerhalb von Gebäuden einer Anlage oder Einrichtung liegenden Flächen des Betriebsgeländes

3.9

Detektorausbeute

Verhältnis von Nettozählrate einer GesamtabSORptionslinie zur Flussdichte ungestreuter Photonen am Ort des Detektors

3.10

dynamische Messung

Messung, bei der der Detektor über die zu messende Fläche bewegt oder bei der das Messgut am Detektor vorbeigeführt wird

3.11

Entscheidungsmessung

Messung, deren Ergebnisse durch Vergleich mit den Freigabewerten eine Entscheidung über die Freigabe des Messgutes ermöglichen

3.12

Erkennungsgrenze

Schätzwert der Messgröße, bei dessen Überschreitung durch ein aktuelles Ergebnis einer Messung mit einem Messverfahren, das einen physikalischen Effekt quantifiziert, entschieden wird, zu folgern, dass der physikalische Effekt vorliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn das Messergebnis y größer als die Erkennungsgrenze y^* ist, ist die Erkennungsgrenze so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit einer falschen Entscheidung, zu folgern, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert α ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn das Messergebnis y kleiner als die Erkennungsgrenze y^* ist, kann das Ergebnis nicht dem physikalischen Effekt zugeordnet werden. Trotzdem kann daraus nicht gefolgert werden, dass der physikalische Effekt nicht vorliegt.

[QUELLE: DIN EN ISO 11929:2021-11, 3.12]

3.13

Freigabeoption

angestrebte Freigabe gemäß §§ 35, 36, 37 StrlSchV

3.14

Freigabewert

gesetzliche oder behördliche Vorgabe für die massen- oder flächenbezogene Aktivität eines Radionuklids, die einzuhalten ist, damit das Messobjekt freigegeben werden kann und für die bei Vorliegen eines Radionuklidgemisches die Summenformel nach StrlSchV einzuhalten ist

3.15

Gebäude

<Freigabeverfahren> einzelnes Bauwerk, Raum oder Gruppe von Räumen, Raumteil und großes mineralisches Bauteil, einschließlich von mineralischem Material umschlossene Komponenten

Anmerkung 1 zum Begriff: Große mineralische Bauteile können Riegel, große Setzsteine oder Träger sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Zu umschlossenen Komponenten zählen z. B. Bewehrungen, Anker und Dübel.

3.16

Geometriefaktor

Verhältnis von Flussdichte von Teilchen oder ungestreuter Photonen, gemessen am Ort des Detektors, zur Emissionsrate der betrachteten Flächen- oder Masseneinheit

3.17

Hochrechnungsfaktor

dimensionsloser Faktor, mit dem aus der Aktivität eines Schlüsselnuklids die Gesamtaktivität oder die Aktivitäten eines oder mehrerer Radionuklide berechnet werden

3.18

Hot Spot

lokaler Bereich mit zu definierender Erhöhung der Aktivität gegenüber der umgebenden Aktivität

3.19

Konservativ

<Freigabe> Festlegung der Einflussgrößen, so dass es zu einer Überschätzung der zu ermittelnden Aktivität führt

3.20

Messfläche

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei kollimierten In-situ-Gammaspektrometern entspricht die Messfläche dem geometrischen Sichtbereich des Detektors.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Großflächenzählrohren kann deren effektive Detektorfläche als Messfläche angenommen werden.

3.21

Mittelungsfläche

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

3.22

Mittelungsgröße

gesetzliche oder behördliche Vorgabe für die anzuwendende Mittelungsmasse oder -fläche beim Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte

3.23

Mittelungsmasse

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

3.24

Nachweisgrenze

kleinster wahrer Wert der Messgröße, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit durch das Messverfahren erkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit der Erkennungsgrenze ist die Nachweisgrenze der kleinste wahre Wert der Messgröße, für den die Wahrscheinlichkeit für die falsche Entscheidung, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, gleich einem vorgegebenen Wert β ist, wenn der wahre Wert in Wirklichkeit nicht null ist. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist dann folglich $(1-\beta)$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Begriffe Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze werden in unterschiedlichen Normen nicht eindeutig verwendet, z. B. in Normen der chemischen Analytik und der Qualitätssicherung. Wenn diese Begriffe benutzt werden, ist jeweils anzugeben nach welcher Norm sie benutzt werden.

[QUELLE: DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, 3.13]

3.25

Nachweiswahrscheinlichkeit

Verhältnis zwischen der gemessenen Nettozählrate und der Oberflächenemissionsrate einer Quelle unter gegebenen geometrischen Bedingungen

3.26

Nuklidvektor

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

3.27

Nulleffekt

en **background effect**

Messeffekt, der durch andere Strahlungsquellen als die des Messobjektes selbst bewirkt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Nulleffekt kann durch natürliche Strahlungsquellen oder radioaktives Material in oder in der Umgebung der Messanordnung sowie der Messprobe selbst hervorgerufen werden (z. B. aus anderen Linien im Spektrum).

[QUELLE: DIN ISO 11929:2021-11, 3.19]

3.28

Oberflächenansprechvermögen

Verhältnis der gemessenen Nettozählrate zur flächenbezogenen Oberflächenemissionsrate der Quelle unter bestimmten geometrischen Bedingungen

3.29

radiologisches Teilsystem

Teilmenge eines Systems, die aufgrund verfahrenstechnischer, betriebshistorischer oder sonstiger Betrachtungen (z. B. Kontaminationsmechanismen) zu Beprobungszwecken und Ermittlung eines Nuklidvektors zusammengefasst wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein so definiertes „Teilsystem“ muss nicht mit einem verfahrenstechnischen Teil eines Systems identisch sein.

3.30

Radionuklidgemisch

in einem freizugebenden Objekt oder in einem Teilbereich davon vorkommende Radionuklide (*Alpha*–, *Beta*–, *Gamma* – und, Elektroneneinfang-Strahler und Isomere)

3.31

repräsentative Probe

Probe, deren Eigenschaften weitestgehend den interessierenden Durchschnittseigenschaften der Gesamtmenge des Prüfgutes entsprechen

3.32

Richtwert

Vorgabe zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte unter Berücksichtigung der Summenformel und ggf. administrativer Vorgaben (z. B. Schwellenwerte)

Anmerkung 1 zum Begriff: Richtwerte werden häufig auf das Messverfahren und das Messgerät bezogen.

3.33

Sättigungsschichtdicke

Schichtdicke eines radioaktiven Stoffes, die der maximalen Reichweite seiner α - bzw. β -Strahlung entspricht

3.34

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]

3.35

stationäre Messung

Messung bei ortsfester Anordnung des Detektors zur zu messenden Fläche

3.36

versiegelte Bodenfläche

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

3.37

Vorbelastung

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

3.38

Voruntersuchung

Untersuchung zur Feststellung der Radionuklide, ihrer relativen Aktivitätsanteile sowie ihrer räumlichen Verteilung

4 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 enthält die Symbole und Abkürzungen, die in diesem Dokument verwendet werden.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
A_S	flächenbezogenen Aktivität mit Bezug auf DIN ISO 7503	Bq/cm ²
a_{ges}	Gesamtaktivität	Bq
$\hat{a}$	bester Schätzwert der Aktivität	Bq
$\tilde{a}$	wahrer Wert der Aktivität	Bq
$a^{\triangleright}$	obere Grenze des Überdeckungsintervall	Bq/cm ² , Bq/g
a^*	Erkennungsgrenze	Bq/cm ² , Bq/g
$a^{\#}$	Nachweisgrenze	Bq/cm ² , Bq/g
a_i	Aktivität des jeweils zugehörigen Schlüsselnuklids i	Bq
a_j	Aktivität des Radionuklids j	Bq
a_{FGW}	Freigabewert der Aktivität	Bq/cm ² , Bq/g
$a_{\text{F,FGW}}$	für den Nuklidvektor abgeleitete Freigabewert der Oberflächenkontamination oder flächenbezogenen Aktivität	Bq/cm ²
$a_{\text{m,FGW}}$	für den Nuklidvektor abgeleitete Freigabewert der massenbezogenen Aktivität	Bq/g

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
a_r	nicht festhaftende Aktivität je Flächeneinheit	Bq/cm ²
a_w	gemessene Aktivität der Wischprobe	Bq
d	Abstand der Quelle zur Detektoroberfläche	mm
$C(A)$	aktivitätsbezogener Kalibrierfaktor mit Bezug auf DIN ISO 7503	(Bq/cm ²)/s ⁻¹
E	Austrittsfaktor bei komplexen Zerfallsschema	—
f	Füllgrad	—
f_G	Geometriefaktor zur Berücksichtigung der Geometrie des Messgutes	—
f_{ij}	Hochrechnungsfaktor	—
f_{PC}	Quotient aus effektiver Fläche des Detektors zur Fläche der Kalibrierquelle	—
k_p	Quantil der Standardnormalverteilung zur Wahrscheinlichkeit p	—
$m_{N,G}$	Gebindespezifische Nettomasse	g
$n_{g,E}$	Anzahl der gezählten Impulse in der Bruttopeakfläche bei der Energie E	—
$n_{0,E}$	Anzahl der gezählten Impulse im Untergrund bei der Energie E	—
P	Verhältnis von Teilchen- oder Photonenerzeugungsrate (Aktivität) zu Oberflächenemissionsrate bei einfachem Zerfallsschema (P -Faktor)	—
$p_{E,R}$	Emissionswahrscheinlichkeit für das betrachtete Radionuklid R bei der Energie E	—
R_C	Oberflächenemissionsrate der Kalibrierquelle	s ⁻¹
$R_{C,F}$	flächenbezogene Oberflächenemissionsrate der Kalibrierquelle in den Halbraum	s ⁻¹ /cm ²
r_b	Bruttozählrate aller Detektoren	s ⁻¹
r_n	Nettozählrate	s ⁻¹
$r_{n,korr}$	Nettozählrate des korrigierte Nulleffekt	s ⁻¹
r_G	Zählrate der Messung mit Berücksichtigung des Effekts der Selbstabsorption durch das Messgut	s ⁻¹
r_g	Zählrate der Bruttomessung	s ⁻¹
r_{CI}	Zählrate, die der Intervallbreite des Überdeckungsintervalls (einseitig) entspricht (CI en: coverage interval)	s ⁻¹
r_0	Zählrate des Nulleffekts (Nulleffektzählrate)	s ⁻¹
$r^\#$	Zählrate der Erkennungsgrenze	s ⁻¹
r^*	Zählrate der Nachweisgrenze	s ⁻¹
S_C	Fläche der Kalibrierquelle	cm ²
S_P	effektive Detektorfläche	cm ²
S_w	beprobte Fläche	cm ²
t	Messzeit	s

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
t_g	Messzeit der Bruttoeffektmessung	s
t_0	Messzeit der Nulleffektmessung	s
$u(x)$	Standardunsicherheit der Messgröße, zugeordnet zu x	—
w	Kalibrierfaktor	Bq/cm ² · s, Bq/g · s
x_3 und x_i	Schätzwert der Eingangsgröße X_i	—
α, β, γ	Fehlerwahrscheinlichkeiten	—
ε	Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors für den Nuklidvektor NV	1/(s · Bq)
$\varepsilon_{E,V}$	Effizienz des In-situ-Gammaspektrometers für das Verteilungsmodell V bei der Energie E	g oder cm ²
ε_E	Effizienz des Detektors bei der Energie E	—
ε_{id}	Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors bei idealer Laborgeometrie für den Nuklidvektor NV	1/(s · Bq)
$\varepsilon_{id} \cdot S_P$	Oberflächenansprechvermögen	cm ² /(s Bq), cm ²
$\varepsilon_{i,F}$	flächenbezogenes Ansprechvermögen	cm ² /(s ¹ Bq)
ε_w	Entnahmefaktor	—
η	Zählwirkungsgrad aus der Kalibrierung bei Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung	—
λ	Faktor zur Berücksichtigung der Variabilität des Nulleffekts als Konsequenz des Einflusses des Messgutes	—
ρ	Dichte	g · cm ⁻³
ρ_{korr}	Zählrate des korrigierten Nulleffekt mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_{AW}	Zählrate des Alarmwerts mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_g	Zählrate der Bruttomessung mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_{FGW}	Zählrate, die dem Freigabewert entspricht mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_n	Nettozählrate mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_{CI}	Zählrate, die der Intervallbreite des Überdeckungsintervalls (einseitig) entspricht mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_0	Zählrate des Nulleffekts (Nulleffektzählrate) mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ^*	Zählrate der Erkennungsgrenze mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
ρ_∞	mittlere Bruttoeffektzählrate nach Beendigung des Ladevorgangs mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
$\rho^\#$	Zählrate der Nachweisgrenze mit Bezug auf DIN ISO 7503	s ⁻¹
NV	Nuklidvektor	—
FGW	Freigabewert	Bq/cm ² , Bq/g
SF	Summenformel als Grundlage der Freigabeentscheidung	—
G	Gebindetyp	—

5 Kurzbeschreibung der Vorgehensweise im Freigabeverfahren

5.1 Allgemeines

Zum Nachweis der Freigabefähigkeit erfolgt üblicherweise ein Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte. Hierzu wird im ersten Schritt im Rahmen einer radiologischen Charakterisierung identifiziert, welche Nuklide zu berücksichtigen sind und das Verhältnis der schwermessbaren zu leichtmessbaren Nuklide ermittelt. Aus diesen Informationen werden Hochrechnungsfaktoren zu den Schlüsselnukliden bestimmt. Für nicht-nuklidspezifische Messverfahren werden üblicherweise Nuklidvektoren spezifiziert.

Anhand der Charakterisierung wird das Messverfahren festgelegt und ggf. über die Anwendung eines Stichprobenverfahrens entschieden. Der Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte erfolgt mittels Entscheidungsmessung. Aus den Ergebnissen der Entscheidungsmessung wird unter Anwendung des Nuklidvektors die Einhaltung der Freigabewerte bewertet.

Die Ergebnisse müssen dokumentieren werden.

5.2 Festlegung der Charakterisierungsstrategie

Für die radiologische Charakterisierung der radioaktiven Stoffe stehen verschiedene Strategien zur Verfügung. Die Wesentlichen sind:

Strategie 1: Anlagenweite Charakterisierung (vorlaufend): Aus repräsentativen Proben werden die Hochrechnungsfaktoren und Schlüsselnuklide für die gesamte Anlage oder einen großen Anlagenabschnitt vorlaufend zum Materialanfall bestimmt. Bei in Betrieb befindlichen Anlagen wird die Probe vorzugsweise aus den Betriebsmedien mit erheblichen Radionuklidkontaminationen (z.B. Verdampferkonzentrat, Ionenaustauscherharz, Primärkühlmittel) genommen. Bei in Stilllegung befindlichen Anlagen müssen alle Systeme in die Probenentnahme einbezogen werden, die durch die Charakterisierung beschrieben werden sollen. Soweit erforderlich, wird das Material zerlegt und dekontaminiert.

Strategie 2: Systemweise Charakterisierung (zeitnah): Das freizugebende Material wird entsprechend seiner Herkunft radiologischen Teilsystemen zugeordnet. Für jedes radiologische Teilsystem werden zeitnah zum Materialanfall anhand von repräsentativen Proben Hochrechnungsfaktoren und Schlüsselnuklide bestimmt, die bei der Entscheidungsmessung nach ggf. erforderlicher Zerlegung und Dekontamination des Materials zugrunde gelegt werden. Die Zugehörigkeit des Materials zu einem radiologischen Teilsystem wird während des gesamten Freigabeverfahrens verfolgt.

Strategie 3: Charakterisierung anhand des Dekontaminationsabtrags: Die Hochrechnungsfaktoren und Schlüsselnuklide werden anhand von Proben aus dem Dekontaminationsmedium bestimmt, da nach der Dekontamination das Material eine Kontamination aufweist, deren Zusammensetzung derjenigen des Dekontaminationsmediums näherungsweise entspricht (Rekontamination und Restkontamination). Die Voruntersuchung wird deshalb nicht wie bei den ersten beiden Strategien vor der Zerlegung und Dekontamination ausgeführt. Diese Vorgehensweise ist nur anwendbar, wenn das Dekontaminationsverfahren einen vollflächigen Abtrag auch des Grundmaterials sicherstellt und mit diesem Verfahren nur die Kontamination und nicht die ggf. vorhandene Aktivierung charakterisiert werden soll. Ein messtechnischer Nachweis der räumlichen Aktivitätsverteilung ist bei Anwendung eines derartigen Dekontaminationsverfahrens nicht erforderlich.

In Bild 1 ist dargestellt, wie die Charakterisierung (Strategien 1 bis 3) in das Freigabeverfahren eingebunden ist.

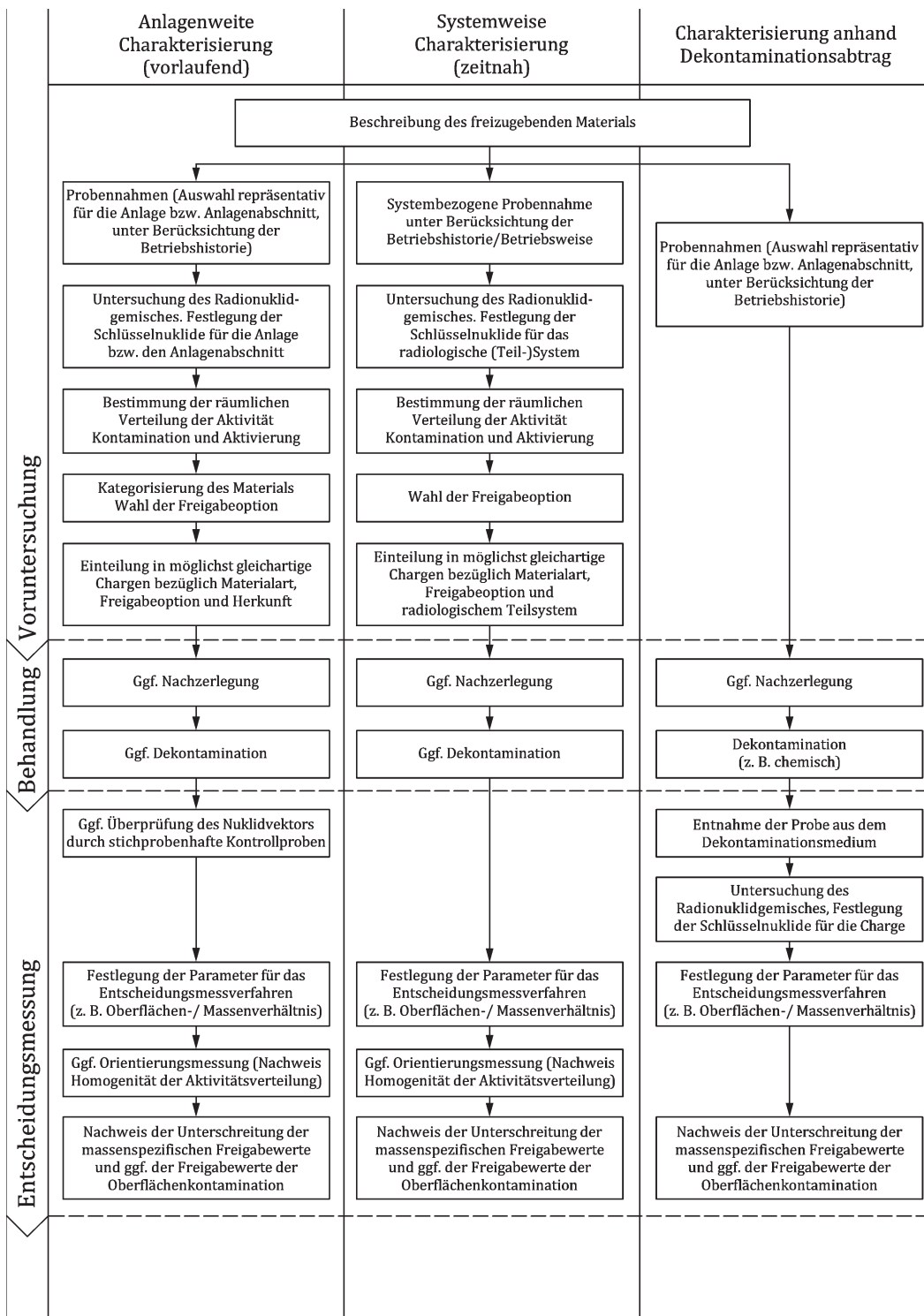


Bild 1 — Schematische Darstellung der Prozessabläufe

Strategie 4: Dekontamination durch Einschmelzen: Das Einschmelzen kann vor der Freigabe in einem Einschmelzbetrieb mit entsprechender Umgangsgenehmigung erfolgen. In diesem Fall wird in der Voruntersuchung geprüft, ob die Annahmekriterien des Einschmelzbetriebes eingehalten werden (z. B. massenspezifische Aktivität). Anhand der erwarteten Partitionierungsfaktoren muss vor dem Einschmelzen abgeschätzt werden, ob das Material freigabefähig ist. Unter Umständen müssen entsprechend den Annahmebedingungen des Einschmelzbetriebes metallurgische Randbedingungen beachtet werden.

Je nach Einzelfall können weitere Strategien zum Einsatz kommen, z. B. Kombinationen aus den Strategien 1 und 2.

Ist der Umgang mit radioaktiven Stoffen auf wenige Radionuklide beschränkt, so kann die Charakterisierung auf anderen Wegen erfolgen.

Aktivitäten natürlicher Radionuklide werden hinsichtlich der Freigabewerte nur berücksichtigt, sofern diese Aktivitäten Gegenstand des genehmigten Umgangs mit radioaktiven Stoffen sind bzw. waren. Andererseits kann bei nicht nuklidspezifischen Messungen der Messeffekt um den Beitrag der natürlichen Radionuklide korrigiert werden (siehe 8.1.3). Für den Fall, dass die Voruntersuchung und ggf. die Entscheidungsmessung an der stehenden Struktur durchgeführt werden, die spätere Entsorgung aber als Bauschutt erfolgen soll (Vorgehen gemäß § 36 Abs. 1 Satz 1 Nr. 6 StrlSchV, Freigabe von Gebäuden, Räumen, Raumteilen und Bauteilen zum Abriss), muss bezüglich der Schritte, die an der stehenden Struktur erfolgen sollen, nach DIN 25457-6 verfahren werden.

5.3 Grundlagen der Voruntersuchung

Im Rahmen der Voruntersuchung müssen einerseits an repräsentativen Proben das Radionuklidgemisch und die relativen Aktivitätsanteile der einzelnen Radionuklide und andererseits die räumliche Verteilung der Aktivität ermittelt werden. Aus dem Radionuklidgemisch müssen bei Bedarf die Schlüsselnuklide festgelegt werden, aus denen über Hochrechnungsfaktoren die Aktivität von Einzelnukliden, von Nuklidgruppen oder die Gesamtaktivität bestimmt wird. Die Voruntersuchung geht üblicherweise von der Betriebshistorie aus. Hierbei wird abgeschätzt, welche Radionuklide für die Anlage relevant sind, ob und ggf. wo Aktivierung von Bedeutung ist und welche Kontaminationsmechanismen zu unterstellen sind.

Für Anlagen zur Gewinnung und Verarbeitung von Kernbrennstoffen gehören zur Voruntersuchung auch die Berücksichtigung von Spezifikationen der Kernbrennstoffe, welche in der kerntechnischen Anlage gehandhabt wurden und die vorhandenen Analysenergebnisse (z. B. massenspektrometrische Routinebestimmungen des Anreicherungsgrades der gefertigten Brennelemente).

Kriterien für die anlagenweite Charakterisierung oder systemweise Charakterisierung sind beispielsweise: die Unterscheidung zwischen Aktivierung und Kontamination, die erforderliche Dekontamination innerhalb der Anlage oder eine beabsichtigte Behandlung des Materials bei externen Betrieben. Aus dem freizugebenden Material müssen für die Entsorgung möglichst gleichartige Materialchargen hinsichtlich der Materialart, des Verwertungs- oder Entsorgungsweges, dem Radionuklidgemisch und ggf. der Herkunft gebildet werden.

Die Ergebnisse aus den Voruntersuchungen und aus den sonstigen Untersuchungen bilden die Grundlage für die Auswahl des jeweils geeigneten Messverfahrens für die Entscheidungsmessung. Aus sonstigen Untersuchungen können z. B. Ergebnisse von Aktivierungsrechnungen, der Anlagenüberwachung oder der Analyse auf konventionelle Schadstoffe berücksichtigt werden.

5.4 Räumliche Aktivitätsverteilung

Für die Strategien 1 und 2 erfolgen die Untersuchungen zur Aktivitätsverteilung zweckmäßigerweise zusammen mit den Untersuchungen zum Radionuklidgemisch. Im Allgemeinen liegt eine Kontamination mit radioaktiven Stoffen an der Oberfläche vor. Die Kontamination kann lose gebunden (z. B. Schmutzschicht) oder fest haftend (z. B. Magnetitschicht in Primärsystemen, Fixierung in einer Lackschicht) sein. Die Aktivität kann auch im Volumen des Materials verteilt sein (z. B. Aktivierung im Neutronenfeld oder durch den Kernphotoeffekt) oder an einzelnen Stellen in das Material eingedrungen sein (z. B. Schweißnähte, Risse). Wie die Aktivität im Material verteilt ist, hängt vor allem vom betrieblichen Einsatz der Teile ab. In Stichprobenartigen Untersuchungen muss die räumliche Verteilung der Aktivität in dem zur Freigabe anstehenden Material untersucht werden, um den eventuell erforderlichen Dekontaminationsumfang zu ermitteln und um sicherzustellen, dass bei der Entscheidungsmessung die gesamte Aktivität im Messgut erfasst wird. Stark inhomogene Aktivitätsverteilungen müssen bei der Auswahl des Messverfahrens berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist der Umfang der Untersuchung der räumlichen Aktivitätsverteilung davon abhängig, ob bei der Entscheidungsmessung ein Stichprobenverfahren angewendet werden soll.

Durch die Strategie 3 erfolgt bei der Anwendung des Dekontaminationsverfahrens eine geringfügige Rekontamination und Restkontamination, die weitgehend homogen ist. Eine Untersuchung der räumlichen Aktivitätsverteilung auf dem Material ist daher nicht erforderlich.

5.5 Radionuklidgemisch

Die Ermittlung des für die Entscheidungsmessung relevanten Radionuklidgemischs umfasst Alpha-, Beta-, Gamma- und Elektroneneinfang-Strahler sowie Isomere. Ihre Aktivitäten müssen, soweit sie nicht durch Gamma-Spektrometrie hinreichend sicher bestimmt werden können, durch

durch

- andere nuklidspezifische Messverfahren, z. B. radiochemische Analysen,
- mittels Hochrechnung aufgrund von Aktivierungs- und Abbrandrechnungen,
- Materialspezifikationen, oder
- anlagenbezogenen Informationen

ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Bei der Freigabe von in Betrieb oder in Stilllegung befindlichen kerntechnischen Anlagen können Radionuklide mit einem Aktivitätsanteil von weniger als 1 %, jeweils bezogen auf die Aktivität des zugehörigen Schlüsselnuklids in der freizugebenden Materialcharge, unberücksichtigt bleiben. Durch die Vernachlässigung der Radionuklide mit einem Aktivitätsanteil von weniger als 1 % (jeweils bezogen auf die Aktivität des zugehörigen Schlüsselnuklids) wird die Ausschöpfung der Summenformel gemäß StrlSchV für in Betrieb oder in Stilllegung befindliche kerntechnische Anlagen höchstens geringfügig beeinflusst. Die Betrachtung einer Vielzahl von Nuklidvektoren unterschiedlicher Typen von kerntechnischen Anlagen hat ergeben, dass der Beitrag der derart vernachlässigten Nuklide zur Summenformel unabhängig von der Freigabeoption typischerweise unter 1 % liegt und 2 % nicht überschreitet.

ANMERKUNG 2 Anhaltspunkte für das Radionuklidgemisch können aus der Bilanzierung der Abgaben mit der Fortluft bzw. dem Abwasser gewonnen werden.

6 Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren und Nuklidvektoren

6.1 Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren

Das für die Entscheidungsmessung relevante Radionuklidgemisch wird z. B. nach Herkunft (Aktivierungs- oder Spaltprodukte), physikalischen und chemischen Eigenschaften in n Teilmengen von Nukliden ($n \geq 1$) so unterteilt, dass für jede Teilmenge mindestens ein Schlüsselnuklid festgelegt wird. Als Schlüsselnuklide werden Nuklide gewählt, die leicht bestimmbar sind, z. B. mittels Gammaskpektrometrie.

ANMERKUNG 1 In der Praxis werden für die Kontamination häufig Co-60 für die Aktivierungsprodukte, Cs-137 für die Spaltprodukte und Am-241 für die Actinoiden als Schlüsselnuklide verwendet. Bei der Aktivierung ist Eu-152 als Schlüsselnuklid für die mineralischen Materialien und Co-60 für metallische Werkstoffe geeignet. Als Teilmenge mit mehreren Nukliden sind z. B. die Actinoide geeignet.

Der Hochrechnungsfaktor f_{ij} des Radionuklids j in Bezug auf das zugehörigen Schlüsselnuklids i ergibt sich aus der Division der Aktivität a_j des Radionuklids durch die Aktivität a_i des zugehörigen Schlüsselnuklids i nach Gleichung (1).

$$f_{ij} = \frac{a_j}{a_i} \quad (1)$$

Die Aktivität a_j des Radionuklids j ergibt sich später für die Freigabe aus der Aktivität a_i des leicht bestimmbar Schlüsselnuklids i durch Multiplikation mit dem Hochrechnungsfaktor f_{ij} nach Gleichung (2).

$$a_j = a_i \cdot f_{ij} \quad (2)$$

Der Hochrechnungsfaktor f_{ij} kann aus der Untersuchung des Radionuklidgemisches einer angemessenen Zahl repräsentativer Proben als das Verhältnis der Aktivität des Radionuklids j zur Aktivität des zugehörigen Schlüsselnuklids i der Teilmenge bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 Die Zahl der Proben orientiert sich dabei an der zu erwartenden Variabilität der Nuklidanteile. So kann z. B. bei Lösungen und eingeschmolzenen Metallen eine Probe ausreichend sein. Bei Kontaminationen oder der Aktivierung verschiedener Materialchargen (z. B. Stahl, Beton) hat sich in der Praxis bewährt, dass die Anzahl der Proben den Wert 15 nicht wesentlich unterschreitet. Die Proben werden dabei so gewählt, dass die Aktivität des Schlüsselnuklides ausreichend hoch ist und somit bei der Analyse des Radionuklids j ein Analysenergebnis über der Erkennungsgrenze zu erwarten ist.

Zusätzlich können Aktivierungs- oder Abbrandrechnungen oder Materialspezifikationen und weitere anlagenbezogene Informationen herangezogen werden.

Die im Material vorhandene Gesamtaktivität a_{ges} kann nach Gleichung (3) dargestellt werden als Summe der Aktivitäten a der insgesamt n Schlüsselnuklide, 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.

$$a_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{j=1}^m a_j + \sum_{k=1}^l a_k \quad (3)$$

Wird die Aktivität einer Teilmenge oder eines Einzelnuklids j nicht auf ein einzelnes Schlüsselnuklid sondern auf die Summenaktivität mehrerer Schlüsselnuklide bezogen, so muss in Gleichung (2) und Gleichung (3) diese Summenaktivität verwendet werden.

Werden mehrere Proben untersucht, so muss jeweils ein geeigneter Wert (z. B. obere Grenze des Überdeckungsintervalls des Erwartungswertes) der Verteilung der ermittelten Hochrechnungsfaktoren verwendet werden. Dieser Wert muss dabei so festgelegt werden, 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 Anhang B).

Bei ausreichender Konservativität des gewählten Hochrechnungsfaktors kann die Typ B-Unsicherheit des Hochrechnungsfaktors nach 7.2 unberücksichtigt bleiben.

Alternativ können Hochrechnungsfaktoren als Eingangsgrößen für die Bestimmung der Gesamtaktivität nach diesem Dokument 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.

6.2 Ermittlung von Nuklidvektoren

Ausgangsdaten für die Berechnung von Nuklidvektoren sind die ermittelten Radionuklidgemische der Kontamination bzw. der aktivierten Materialien und deren Aktivitätsanteile, sowie ggf. die festgelegten Schlüsselnuklide und die berechneten Hochrechnungsfaktoren. Bei der Ermittlung der Radionuklidgemische müssen alle relevanten Radionuklide berücksichtigt werden.

Für die Berechnung der Nuklidvektoren können mehrere Verfahren geeignet sein, z. B.:

- Berechnung durch Mittelwertbildung;

- Berechnung auf statistischer Grundlage;
- Berechnung abdeckender Nuklidvektoren.

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

ANMERKUNG 1 Die Festlegung des Berechnungsverfahrens erfolgt meist im Rahmen der Aufsichts- und Genehmigungsverfahren in Abstimmung mit der Behörde und den von ihr beauftragten Gutachtern.

ANMERKUNG 2 Die für die Freigabeentscheidung gewünschte Konservativität ist bei abdeckenden Nuklidvektoren durch deren Berechnung gegeben. Bei anderen Berechnungsverfahren für Nuklidvektoren kann sie durch die Anwendung von Schwellenwerten sichergestellt werden. Dabei geben die Schwellenwerte an, bis zu welchem Prozentsatz die Freigabewerte ausgeschöpft werden dürfen. Die Schwellenwerte können sich dabei unter anderem an der Variabilität des Messeffekts beim abgeleiteten Freigabewert der Nuklidgemische des zugehörigen Probenensembles orientieren, die zur Berechnung des Nuklidvektors herangezogen wurden. Der Schwellenwert ist dabei von der gewählten Freigabeoption und den nuklidspezifischen Ansprechvermögen des eingesetzten Messgerätes abhängig.

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

Die Nuklidvektoren müssen eindeutig bezeichnet, ihr jeweiliger räumlicher, zeitlicher und sachlicher Geltungsbereich (z. B. sachlich: unterschiedliche Freigabepfade) benannt und der Bezugszeitpunkt angegeben werden. Außerdem muss das verwendete Berechnungsverfahren benannt und angegeben werden, ob es sich um einen vollständigen oder abgeschnittenen Nuklidvektor handelt. Nuklidvektoren müssen in angemessenen Fristen hinsichtlich des Abklingens bzw. Nachwachsens einzelner Radionuklide aktualisiert werden.

Bei ausreichender Konservativität des gewählten Nuklidvektors und der Schwellenwerte kann die Typ B-Unsicherheit des Nuklidvektors nach 7.2 unberücksichtigt bleiben.

6.3 Auswirkungen der Dekontamination

Zur Reduktion der vorhandenen Kontamination (Dekontamination) werden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Voruntersuchung und der Freigabestrategie chemische (z. B. mit Säuren, Basen oder Komplexbildnern), mechanische (z. B. Hochdruckstrahlen, Bürsten oder Schleifen), thermische (z. B. Laserablation) oder elektrische (z. B. Elektropolieren) Verfahren verwendet. Gegebenenfalls können auch Verfahren kombiniert werden. Ist bei der Anwendung dieser Dekontaminationsverfahren eine Veränderung der in der Voruntersuchung ermittelten relativen Aktivitätsanteile der Radionuklide nicht auszuschließen, so müssen diese anhand einzelner Kontrollproben oder unter Verwendung anderer Messverfahren überprüft werden. Auf Basis der Ergebnisse der Kontrollproben muss gegebenenfalls ein neuer Nuklidvektor gebildet werden oder die Veränderung durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Mechanische Dekontaminationsverfahren führen bei nicht aktivierten Metallteilen zu einer geringfügigen Änderung der relativen Aktivitätsanteile der Radionuklide.

Bei Anwendung eines chemischen Dekontaminationsverfahrens ist eine Änderung der relativen Aktivitätsanteile der einzelnen Radionuklide gegenüber der Voruntersuchung nicht auszuschließen. Eine Anpassung der zugrunde zu legenden relativen Aktivitätsanteile der Radionuklide für die Entscheidungsmessung ist dann nicht erforderlich, wenn bei der Entscheidungsmessung keine Unterschätzung der tatsächlichen Aktivität erfolgt.

Im Falle der Dekontamination durch Einschmelzen können die für den Schmelzvorgang bekannten Partitionierungsfaktoren als Hinweis auf das für die Entscheidungsmessung relevante Radionuklidgemisch und die zugrunde zu legenden relativen Aktivitätsanteile der Radionuklide herangezogen werden.

7 Modelle der Auswertung für Einzelmessungen

7.1 100%-Messung, Stichprobenverfahren, repräsentative Messung, abdeckende Messung

7.1.1 Allgemeines

Der Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte sowie der Werte der Oberflächenkontamination muss grundsätzlich anhand von Messungen erbracht werden. Das bedeutet, dass das Material hinsichtlich Masse und Oberfläche durch die Messung vollständig erfasst wird (100 %-Messung). Es müssen die zulässigen Mittelungsgrößen berücksichtigt werden. Neben der vollständigen Messung haben sich in der Praxis auch das Stichprobenverfahren, die repräsentative Messung sowie die abdeckende Messung etabliert. Dabei schließt die Messung ggf. die Probenahme mit ein. Anhang D stellt Beispiele für diese Messstrategien dar.

Bei der 100%-Messung muss die generelle Eignung für die Durchführung einer qualifizierten Messung z. B. hinsichtlich Materialzusammensetzung, Geometrie, Nuklidvektor, Verteilung der für die Freigabe nachzuweisenden Radionuklide auf oder in dem freizugebenden radioaktiven Stoff sichergestellt werden.

Bei dem Stichprobenverfahren, der repräsentativen Messung sowie der abdeckenden Messung müssen zusätzliche Anforderungen an die Messung eingehalten werden.

7.1.2 Stichprobenverfahren

Für Stichprobenverfahren sind diese Anforderungen z. B. in [1] und im Besonderen bei Gebäuden in DIN 25457-6 sowie bei Bodenflächen in DIN 25457-7 festgelegt.

Es sind abhängig von der Voruntersuchung der freizumessenden Gegenstände Situationen möglich, in denen nicht-flächendeckende Messverfahren der Oberfläche ausreichend sind, um die Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination oder der oberflächenbezogenen Freigabewerte mit definierter statistischer Sicherheit nachweisen zu können.

Bei nicht-flächendeckenden Messverfahren sind die Anforderungen an die Voruntersuchungen, an die ggf. vorher stattgefundene Dekontamination sowie an die Durchführung des Freigabeverfahrens einschließlich Freigabeentscheidung grundsätzlich wesentlich höher als bei flächendeckenden Messverfahren. Das trifft insbesondere zu, wenn für die Oberfläche eine gleichartige Betriebs- und Kontaminationshistorie aufgrund fehlender Informationen zum radiologischen Zustand nicht belegt werden kann.

Bei der Planung eines Freigabeverfahrens, in dem die Entscheidungsmessungen nicht-flächendeckend durchgeführt werden sollen, müssen zusätzlich zu den Anforderungen, die auch bei deren flächendeckender Anwendung zu erfüllen sind, aufgrund der nachfolgenden statistischen Auswertung folgende Punkte festgelegt werden:

- 1) Es muss entschieden werden, ob die Ergebnisse der einzelnen Entscheidungsmessungen als Merkmalsträger („kontaminiert“ bzw. „nicht kontaminiert“) interpretiert werden oder ob für die Freigabeentscheidung die bei den einzelnen Messung ermittelten Messgrößen verwendet werden sollen.
- 2) Bei der statistischen Auswertung einer Menge von Messwerten aus Entscheidungsmessungen (Messgrößen) können verschiedene statistische Prüfgrößen (z. B. Erwartungswerte, Perzentile bzw. deren jeweilige Grenzen des Überdeckungsintervalls) ermittelt werden. In Abhängigkeit vom Anwendungsfall muss die korrekte Prüfgröße, die mit den Freigabewerten zu vergleichen ist, festgelegt und angewendet werden.
- 3) Es muss der Nachweis geführt werden, dass die Erkennungsgrenzen, die ersatzweise anstelle von Messwerten angewendet werden, ausreichend niedrig sind.
- 4) Es muss festgelegt werden, mit welcher statistischen Sicherheit der Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte erfolgen soll und dementsprechend mit welcher statistischen Sicherheit unentdeckte Überschreitungen maximal vorliegen dürfen.

Beispiele für nicht-flächendeckende Messverfahren sind in DIN 25457-7:2017-08, Anhang B, enthalten.

Mögliche Anwendungsfälle sind die Messung von Gebäuden, Räumen, Raumteilen und Bauteilen nach DIN 25457-6 sowie Bodenflächen nach DIN 25457-7.

7.1.3 Repräsentative Messung

Bei der repräsentativen Messung muss zunächst geprüft werden, ob die Messung für den gesamten freizugebenden radioaktiven Stoff oder für eine bestimmte Teilmenge des freizugebenden radioaktiven Stoffs repräsentativ ist. Dabei muss u. a. die Vorbehandlung berücksichtigt werden. Die Gesamtmenge oder Teilmenge, auf die mit der Messung Bezug genommen wird, darf größer als die entsprechende Mittelungsgröße sein.

Typische Anwendungsfälle sind die Messung von Flüssigkeiten und eingeschmolzenen Metallen.

7.1.4 Abdeckende Messung

Bei der abdeckenden Messung muss zunächst geprüft werden, ob die Messung für den gesamten freizugebenden radioaktiven Stoff oder für eine bestimmte Teilmenge des freizugebenden radioaktiven Stoffs abdeckend ist. Dabei sind u.a. die Vorbehandlung, Geometrie, Betriebshistorie oder Materialzusammensetzung zu berücksichtigen. Die Gesamtmenge oder Teilmenge, auf die mit der Messung Bezug genommen wird, darf größer als die entsprechende Mittelungsgröße sein.

Die abdeckende Messung wird an einer Stelle durchgeführt, an der aufgrund der Voruntersuchungen die höchste Aktivität zu erwarten ist. Für die Auswahl der Stelle müssen je nach Anwendungsfall die Ergebnisse der Auswertung der Betriebshistorie, von validierten Aktivierungsberechnungen oder von Voruntersuchungen z. B. mittels dynamischer Direktmessungen berücksichtigt werden. Das Verfahren der abdeckenden Messung ist besonders bei inhomogener Aktivitätsverteilung auf oder in dem freizugebenden radioaktiven Stoff geeignet.

7.2 Grundlegendes Modell und charakteristische Größen der Aktivitätsmessverfahren

Im Folgenden werden Aktivitätsmessverfahren dargestellt, die als Einzelmessung zur Entscheidung über die Freigabefähigkeit herangezogen werden, d. h. die Prüfung, ob die obere Grenze des Überdeckungsintervalls den Richtwert unterschreitet (Konformitätsprüfung).

ANMERKUNG 1 Die Darstellungen in diesem Unterabschnitt sind grundsätzlich für alle zählenden Messverfahren anwendbar. Es wird deshalb nicht die Nomenklatur aus DIN ISO 7503 verwendet.

Das Messverfahren beinhaltet den Messablauf und die Qualitätssicherung der Messungen. Wesentliche Aspekte des Messablaufes wie die Anzahl (Häufigkeit) der durchzuführenden Messungen oder Parameter der Freigabemessung (z. B. Messflächen) werden ebenso wie die Anforderungen an die Dokumentation in den speziellen Teilen dieser Normenreihe konkretisiert. Die Ermittlung der aktivitätsbezogenen charakteristischen Grenzen der Anwendung der verschiedenen Messverfahren wird detailliert behandelt.

Ein in der Praxis in nahezu allen Fällen verwendbares Modell der Auswertung ist in DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, Anhang D, beschrieben, demzufolge allgemein die Aktivität a nach Gleichung (4) und deren Unsicherheit $u(a)$ nach Gleichung (5) sich aus dem Produkt aus der Nettozählrate r_n (in DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) ist dies x_{net}) und dem erweiterten Kalibrierfaktor w und der sogenannte „Gauß’schen Fehlerfortpflanzung“ berechnen.

$$a = r_n \cdot w \quad (4)$$

$$u^2(a) = w^2 \cdot u^2(r_n) + r_n^2 \cdot u^2(w) \quad (5)$$

Mit r_n , der Nettozählrate nach DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) als $r_n = r_g - r_0 \cdot x_3 - x_4$, wobei r_n und w unkorreliert sein sollten.

Zur Herleitung der Messwerte sowie der charakteristischen Grenzen dieser Messverfahren (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze, bester Schätzer des Messwerts und der zugehörigen oberen Grenze des Überdeckungsintervalls) werden in ihren Grundzügen jeweils ähnliche Ansätze verwendet. Die Darstellung orientiert sich an der Normenreihe DIN EN ISO 11929.

Bei der messtechnischen Planung ist es erforderlich, alle wesentlichen Beiträge zur Unsicherheit zu quantifizieren und festzulegen, ob die jeweilige Eingangsgröße entscheidend für die Eignung des Messverfahrens oder auch entscheidend für die Freigabe selbst ist. Im Folgenden werden Eingangsgrößen aufgeführt, welche bei den nachfolgend dargestellten Messverfahren (siehe 8.1 bis 8.4) in jeweils unterschiedlichem Maße zutreffen. Es handelt sich hierbei um sogenannte Typ A- und Typ B-Unsicherheiten nach ISO/IEC Guide 98-3.

Die Unterscheidung von Typ A- und Typ B-Unsicherheiten betrifft die unterschiedlichen Methoden, mit denen Unsicherheiten ermittelt werden. Typ A-Unsicherheiten können als Standardabweichungen aus mehrfach wiederholten oder zählenden Messungen bestimmt werden. Typ B-Unsicherheiten können aus Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der Eingangsgrößen auf der Basis von Erfahrung oder anderer Information bestimmt werden.

Die folgenden wesentlichen Einflüsse müssen als Unsicherheiten betrachtet werden. Ihre Zuordnung zu Typ A- oder Typ B-Unsicherheiten hängt zum Teil vom gewählten Messverfahren ab. Sie werden in 8.1 bis 8.4 jeweils konkretisiert.

- Schwankungsbreite der Aktivitätsanteile der Radionuklide im Radionuklidgemisch in Relation zu den festgelegten Anteilen im Nuklidvektor;
- Unsicherheit bei der verwendeten Kalibrierung (z. B. Referenzmessgut bei der Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung);
- Schwankungsbreite des Entnahmefaktors bei indirekter Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung;
- Schwankungsbreite der Geometrie und der Selbstabschirmung des Messguts;
- Schwankungsbreite der Aktivitätsverteilung im Messgut;
- Schwankungsbreite des Nulleffekts.

Die hierbei zu berücksichtigenden Unsicherheiten der Eingangsgrößen entscheiden darüber, ob der elementare Ansatz von DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) oder der fortgeschrittene Ansatz aus DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292) zur Anwendung kommen. Die Anwendung von DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) setzt voraus, dass die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Eingangsgrößen durch deren Erwartungswert und Standardunsicherheit in guter Näherung beschrieben werden kann („Gauß’sche Fehlerfortpflanzung“). Andernfalls muss der fortgeschrittene Ansatz aus DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292) angewendet werden.

ANMERKUNG 2 DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) kann angewendet werden, wenn die nach diesem Teil ermittelte obere Grenze des Überdeckungsintervalls sich nicht mehr als 10 % von derjenigen nach DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292) ermittelten unterscheidet (vgl. DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, 5.3).

ANMERKUNG 3 Da es sich bei der Entscheidung über die Freigabefähigkeit um eine Konformitätsprüfung handelt, kann in den Fällen, in denen höhere Unsicherheiten zu unterstellen sind, sofern die Nachweisgrenze existiert und kleiner als der Richtwert ist, dennoch nach DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) verfahren werden.

ANMERKUNG 4 DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000) stellt eine praktische Einführung in die Anwendung von ISO/IEC Guide 98-3 [behandelt in DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291)] und seinem Supplement [behandelt in DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292)] im Bereich des Strahlenschutzes dar.

Das Verfahren zur Berechnung der Messwerte und charakteristischen Grenzen findet sich für die elementare Anwendung in DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, Bild 1, und für die fortgeschrittenen Anwendungen in DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292):2021-11, Bild 1. Sofern DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) zur Anwendung kommt, ist das Modell der Auswertung nach DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, Anhang D, ausreichend.

Zur Konformitätsprüfung (Prüfung der oberen Grenze des Überdeckungsintervalls gegen den Richtwert, Entscheidungsmessung) ist eine Berechnung der unteren Grenze des Überdeckungsintervalls sowie des kürzesten Überdeckungsintervalls nach DIN EN ISO 11929-Reihe nicht erforderlich. Des Weiteren wird in diesem Dokument folgende Festlegung getroffen:

- Die Wahrscheinlichkeit einer falsch positiven (α) und einer falsch negativen Entscheidung (β) werden auf 5 %, d. h. $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,65$ festgelegt.
- Das Überdeckungsintervall der Messgröße wird als einseitige Wahrscheinlichkeit auf 95 % (siehe SSK-Empfehlung [2]), d. h. $k_{1-\gamma/2} = 1,65$ festgelegt.

Eine Korrelation von Eingangsgrößen wird nicht unterstellt.

Für die Konformitätsprüfung ist es weiterhin zulässig, einzelne Eingangsgrößen entsprechend konservativ zu wählen, damit die zugehörige Unsicherheit vernachlässigt werden kann. Ein Beispiel für die Ermittlung der charakteristischen Grenzen ist in Anhang B dargestellt.

Eine Voraussetzung der Berechnung der charakteristischen Grenzen mittels konservativer Bewertung des Messeffektes ist, dass die Schwankungsbreite des Nulleffekts einen vernachlässigbaren Beitrag zur Unsicherheit unter Berücksichtigung der Ausschöpfung der Freigabewerte liefert. Sofern außerdem aufgrund der Annahmen bei der Kalibrierung von einer ausreichend konservativen Schätzung des Erwartungswertes der Aktivität ausgegangen werden kann oder durch die radiologischen Voruntersuchungen nachgewiesen werden konnte, dass die übrigen oben genannten Beiträge zur Typ B-Unsicherheit vernachlässigbare Auswirkungen auf das Messergebnis haben, ist davon auszugehen, dass die charakteristischen Grenzen nach DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291):2021-11, Anhang D, berechnet werden können.

ANMERKUNG 5 Werden einzelne Eingangsgrößen des Modells der Auswertung nach der Normenreihe DIN EN ISO 11929 entsprechend konservativ gewählt, erhöht dies die Schätzwerte der Aktivität a und $\hat{a}$ gegenüber dem prinzipiell unbekannten, wahren Wert der Aktivität $\tilde{a}$. Dies reduziert jedoch gleichzeitig deren Unsicherheiten.

In den Fällen, in denen eine vollständige Berücksichtigung der Typ A- und Typ B-Unsicherheiten erfolgen soll, sind die Nachweisgrenze, die Erkennungsgrenze und die obere Grenze des Überdeckungsintervalls nach DIN EN ISO 11929-1 (VDE 0493-9291) und/oder DIN EN ISO 11929-2 (VDE 0493-9292) zu berechnen (siehe 7.2.1).

Das primäre Messergebnis ist mit der Erkennungsgrenze zu vergleichen. Falls das primäre Messergebnis größer als die Erkennungsgrenze ist, sind mit mindestens 95-%-iger Wahrscheinlichkeit künstliche radioaktive Stoffe im Messgut vorhanden und es ist die obere Grenze des Überdeckungsintervalls zu bestimmen.

Für den Vergleich mit Richtwerten ist die obere Grenze des Überdeckungsintervalls heranzuziehen. Hierbei ist die einseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % zur Festlegung des Überdeckungsintervalls zu verwenden.

8 Messverfahren

8.1 Direkte Messverfahren der Gesamt-Alpha- oder Beta-Oberflächenkontamination

8.1.1 Allgemeines

Durch die direkten Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessverfahren wird die gesamte festhaftende und nicht festhaftende Alpha- oder Beta-Oberflächenkontamination unmittelbar an Materialien bestimmt. Weiterhin lässt