

Messstrategien für die In-situ-Gammaspektrometrie bei Freimessungen von Gebäuden und Bodenflächen nach § 29 StrISchV

Ausgabe 2
(Stand: 31.1.2007)

Christian Naber, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Alexander Reichert, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Oliver Kosbadt, Umweltministerium Baden-Württemberg
Dr. Bernhard Massing, Umweltministerium Baden-Württemberg
Katja Döscher, TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg
Dietmar Sauer, TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg
Carmen Schiele, Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs- GmbH
Dr. Arno Stollenwerk, Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs- GmbH

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Detektorsysteme	5
3. Kalibrierung	7
4. Messstrategien	9
4.1 Kollimierte Messung einer 1 m ² großen Fläche	12
4.2 Messung zusammenhängender Flächen	18
4.3 Messung ganzer Räume	23
4.4 Messung von Bodenflächen	32
5. Qualitätssichernde Maßnahmen	34
6. Dokumentation	35
7. Kriterium für die Zulassung größerer Mittelungsflächen	37
8. Zusammenfassung	42

1. Einleitung

Die In-situ-Gammaspektrometrie gewinnt in Freigabeverfahren nach § 29 StrlSchV, insbesondere für Freimessungen von Gebäuden, immer mehr an Bedeutung. Bei der Umsetzung dieses Messverfahrens bestehen jedoch bei den Betroffenen zum Teil Unsicherheiten, die insbesondere auf bisher fehlende, praxisnahe Anwendungsstrategien zurückzuführen sind.

Das Umweltministerium (UM) hat aus diesem Grund eine Arbeitsgemeinschaft (AG) initiiert, die sich aus Vertretern des UM, der TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg, der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH und der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH zusammensetzt, die konkrete Messstrategien und Anforderungen bzgl. der In-situ-Gammaspektrometrie für Freimessungen nach § 29 StrlSchV erarbeiten sollte. Die Arbeitsergebnisse der AG sind in diesem Bericht zusammengefasst.

Mit Hilfe dieses Berichts können sich nunmehr Betreiber, Sachverständige und Behörden anhand konkreter Messstrategien über die Rand- und Rahmenbedingungen sowie Einflussgrößen bei In-situ-Gammaspektrometrie-Messungen informieren. Auf die Darstellung der Vorgaben, die sich insbesondere aus

- § 29 StrlSchV in Verbindung mit Anlage III Tabelle 1 und Anlage IV StrlSchV,
- DIN 25457 - Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen Anlagenteilen (Ausgabe: 1999), Teil 6: Bauschutt und Gebäude, Kapitel 6.3.6: In-situ-Gammaspektrometrie sowie Teil 7: Bodenflächen, Kapitel 5.3: In-situ-Messungen sowie
- DIN 25462 - In-situ-Gammaspektrometrie zur nuklidspezifischen Umweltkontaminationsmessung (Ausgabe: 2000)

ergeben, wird weitestgehend verzichtet, soweit sie nicht unbedingt erforderlich sind. Bei der Darstellung der einzelnen Messstrategien wird auch auf den Einfluss des Anlagenzustands (z.B. Störungen der Freimessungen durch aktivitätsführende Komponenten) oder des radiologischen Verhaltens der zu berücksichtigenden Nuklide (z.B. Eindringverhalten), der in der Praxis entsprechend zu berücksichtigen ist, nicht eingegangen.

Der Bericht gliedert sich in insgesamt 8 Teile. Nach der Einleitung (Teil 1) wird in Teil 2 zunächst der grundsätzliche Aufbau von Detektorsystemen beschrieben, ohne hierbei zu sehr ins Detail zu gehen. In Teil 3 werden Angaben zum Umfang der erforderlichen Kalibrierung von In-situ-Gammaspektrometrie-Messsystemen gemacht. Teil 4 beschreibt konkrete Anforderungen für verschiedene Messstrategien. Teil 5 und 6 beinhalten Anforderungen bzgl. der Qualitätssicherung und der Dokumentation. In Teil 7 wird ein Kriterium für die Zulassung größerer Mittelungsflächen vorgeschlagen und erläutert. Teil 8 fasst die Ergebnisse der AG zusammen.

2. Detektorsysteme

Die Auswahl eines geeigneten Detektors sowie der zugehörigen Komponenten (z.B. Kollimator) kann nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Messaufgabe erfolgen. Da dieser Bericht nicht das Ziel verfolgt, möglichst umfassend In-situ-Gammaspektrometrie-Messsysteme und deren Eigenschaften zu spezifizieren, werden spezielle Eigenheiten verschiedener derzeit gebräuchlicher Detektorsysteme bei der Darstellung der Messstrategien – soweit erforderlich – berücksichtigt und gegenübergestellt. Im Folgenden werden daher nur die grundsätzlichen Eigenschaften und Anforderungen an ein übliches Detektorsystem beschrieben.

I. Detektoren

Derzeit gebräuchliche Messsysteme enthalten üblicherweise Reinstgermaniumdetektoren in Form von koaxialen oder planaren Kristallen, die mit einer Endkappe aus Aluminium ausgestattet sind. Der Energiebereich erstreckt sich dabei in der Regel von wenigen keV bis zu einigen MeV.

II. Kühlsystem

Die Detektoren werden mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Hierzu sind die Detektoren an einen Multi Attitude Cryostate (MAC) gekoppelt. Die in den MAC aufnehmbare Menge an Stickstoff von etwa 7,5 Litern gewährleistet eine Einsatzzeit der Detektoren von bis zu 5 Tagen. Für die Verlängerung der Einsatzzeit werden auch automatische Nachfülleinrichtungen oder elektrisch gekühlte Systeme angeboten.

III. Signalkette/-verarbeitung

Zur Impulsverarbeitung und Spannungsversorgung werden in der Regel gebräuchliche Kompletต์module eingesetzt, die aus Hauptverstärker, Detektor-Hochspannungsversorgung, Analog-Digital-Wandler und Vielkanalanalysator bestehen. Zur Steuerung der Elektronik-Detektor-Einheit sowie zur Datenspeicherung und -auswertung wird eine entsprechende Software verwendet. An die Signalverarbeitungssysteme kann ein PC/Laptop angeschlossen werden, mit dessen Hilfe die Messung gestartet

und das Messergebnis ausgelesen werden kann. Die Übertragung der Messergebnisse und die Steuerung der Vor-Ort-Elektronik können auch drahtlos über geeignete Funkmodule erfolgen.

IV. Kollimatoren

Mit Hilfe von Kollimatoren erfolgt die gezielte Reduzierung des Sichtbereichs bzw. des Öffnungswinkels des Detektors. Der Öffnungswinkel wird dabei im Wesentlichen durch die Bauform und das Material des jeweiligen Kollimators und dessen Position zum Detektor bestimmt.

V. Halte-/Einstellvorrichtung

Zum leichteren Transportieren und für eine genaue Positionierung bei den Messungen sind die Messsysteme auf einer für den jeweiligen Anwendungsbereich geeigneten Halte- und Hubvorrichtung installiert. Diese Vorrichtungen ermöglichen in der Regel Messungen in jede beliebige Raumrichtung. Zum Teil werden auch Vorrichtungen angeboten, die die Positionierung des Detektors in unterschiedlicher Höhe ermöglichen. Die exakte Positionierung der Detektoren am Messort sollte mittels einer Laser-Distanzmesseinrichtung erfolgen.

3. Kalibrierung

Die Kalibrierung von In-situ-Gammaspektrometrie-Messsystemen setzt sich aus der

- Energiekalibrierung,
- Bestimmung der Detektorausbeute und
- Bestimmung der Ausbeutekorrekturfaktoren bei Detektoren mit Richtungsabhängigkeit (Messsysteme mit Kollimatoren)

zusammen.

Für die Kalibrierung sollte ein Kalibrierstandard verwendet werden, der den für die Freimessung gebräuchlichen Energiebereich ausreichend abdeckt. Die Kalibrierung sollte jeweils vor Durchführung einer neuen Messkampagne oder bei größeren Messkampagnen nach einer festgelegten Anzahl von Messungen bzw. in bestimmten Intervallen (z.B. im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen oder der qualitätssichernden Maßnahmen) erfolgen.

I. Energiekalibrierung

Bei der Energiekalibrierung ist der Zusammenhang zwischen der Kanalnummer des Vielkanalanalysators und der Energie der emittierten Gammaquanten der Kalibrierprobe zu ermitteln bzw. zu überprüfen. Die hierzu übliche Vorgehensweise ist in Kapitel 6.7 (Energieauflösung) der DIN IEC 973 (Prüfverfahren für Germanium-Gammastrahlungsdetektoren) beschrieben.

II. Effizienzkalibrierung

Bei der Effizienzkalibrierung ist die Detektorausbeute zu überprüfen. Die Kalibrierung kann mittels numerischer Verfahren durchgeführt werden. Hierzu bieten die Hersteller solcher Messsysteme in der Regel eine entsprechende Software an, durch die die relevanten Messgeometrien und -bedingungen aus verschiedenen, im System hinterlegten Grundgeometrien simuliert bzw. angenähert und die hierfür relevanten Gesamtwirkungsgrade rechnerisch ermittelt werden können. Grundlage für die rechnergestützte Kalibrierung ist, dass für den Detektor seitens des Herstellers eine entsprechende „Charakterisierung“ vorliegt. Des Weiteren sind die erforderlichen Eingangs-

parameter (u.a. Messgeometrie, Position des Detektors relativ zum Messobjekt, die Zusammensetzung und die Dichte des Messobjekts sowie die Aktivitätsverteilung) zu ermitteln. Die resultierenden Effizienzkalibrierkurven können dann den aufgenommenen Spektren zur Auswertung zu Grunde gelegt werden. Die experimentelle Überprüfung der herstellerhinterlegten Kalibrierung bzgl. der Effizienz sollte durch geeignete Messungen von Referenzstrahlern (z.B. Punkt- oder Flächenquelle) mit bekannter Aktivität und/oder einer Gegenüberstellung der In-situ-Messergebnisse mit dem Auswertergebnis einer Probennahme bei der Inbetriebnahme des Gerätes durch den Anwender erfolgen. Die konstante Effizienz und Detektorfunktionsfähigkeit wird dann durch wiederkehrende Messungen, z.B. in monatlichen Abständen mit einer Punktquelle auf der Detektorachse, geprüft. Die Energiekalibrierung hingegen sollte arbeitstäglich bzw. messkampagnenbegleitend überprüft werden.

4. Messstrategien

In diesem Teil werden die vier verschiedenen flächenabhängigen Messstrategien

- 1 m²-Fläche,
- zusammenhängende Fläche,
- ganzer Raum und
- Bodenfläche

mit ihren Rand- und Rahmenbedingungen sowie den jeweiligen Einflussgrößen erläutert. Die Betrachtung der Messstrategien erfolgt hierbei beispielhaft anhand verschiedener derzeit gebräuchlicher Messsysteme. Auf die Eigenheiten der einzelnen Systeme wird – soweit erforderlich – bei der Beschreibung der jeweiligen Messstrategien eingegangen.

I. Zu berücksichtigende Aktivität

Bei der Freimessung sind jeweils nur die Kontaminationen zu berücksichtigen, die durch die Anlage(n) oder Einrichtung(en) auf dem Betriebsgelände aufgrund von Tätigkeiten gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a, c oder d StrlSchV verursacht worden sind.

Als Resultat einer Messung ist im Fall einer reinen Oberflächenkontamination die gesamte gemessene Oberflächenaktivität im geometrischen Sichtbereich des Detektors (Messfläche) auf die Mittelungsfläche zu beziehen. Im Fall von eingedrungener Aktivität sind entsprechende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen, die auf Grundlage des in den Voruntersuchungen ermittelten Nuklidvektors und der Eindringtiefe nuklid- und materialspezifisch zu berechnen sind. In der Regel bieten Messsysteme die Möglichkeit – unter Zugrundelegen der Dichte und Art des Materials – das Eindringverhalten bei der Kalibrierung zu berücksichtigen, so dass dies bei der Auswertung der Messergebnisse automatisch korrigiert wird. Bei volumengetragener Aktivität durch Aktivierung kann gleichermaßen verfahren werden, d.h. es sind entsprechende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen, die auf Grundlage des in der Voruntersuchung ermittelten Nuklidvektors und der Aktivitätsverteilung im aktivierten Material nuklid- und materialspezifisch zu berechnen sind.

II. Umfang der Voruntersuchung

Für alle vier Messstrategien müssen vor der eigentlichen Freimessung verschiedene Parameter durch Voruntersuchung(en) ermittelt werden. So ist beispielsweise für die Erstellung der Effizienzkalibrierung u.a. zu ermitteln, ob die für die Messung relevanten Radionuklide in die zu betrachtende Matrix eingedrungen sind. Ist dies der Fall, so ist deren Eindringtiefe in Form der Relaxationslänge (Abnahme der Aktivität auf $1/e$) zu bestimmen.

III. Bestimmung des Schlüsselnuklids

Anhand des im Zuge der Voruntersuchung(en) ermittelten Nuklidvektors ist das für die Messung relevante Schlüsselnuklid auszuwählen und ein entsprechend abgeleiteter Freigabewert zu bestimmen. Die hierzu denkbare Vorgehensweise ist in Tabelle 1 beispielhaft für die Herleitung nuklidspezifischer Oberflächenaktivitätsfreigabewerte dargestellt. Diese in Spalte 7 aufgeführten Werte ergeben sich durch Multiplikation des normierten Anteils der zu berücksichtigenden Radionuklide aus Spalte 6 mit dem Freigabewert aus Spalte 3 (in dem Beispiel wurden die Freigabewerte für Gebäude zum Abriss aus der Anlage III Tabelle 1 Spalte 10 StrlSchV gewählt). Die Auswahl der nach dem Abschneidekriterium gemäß Anlage IV Teil A Nummer 1 Buchstabe e Satz 3 StrlSchV („10%-Kriterium“) relevanten und in Spalte 6 aufgeführten Radionuklide liegt dabei im Ermessen des Betreibers, soweit die zuständige Behörde hierzu keine Regelung getroffen hat.

Tab.1: Bestimmung von abgeleiteten Oberflächenaktivitätsfreigabewerten

Nuklid	Anteil	Freigabewert [Bq/cm ²]	Sp.2/Sp.3 [cm ² /Bq]	Anteil auf 100% normiert	Relevante Nuklide (normiert) (10%-Abschneideregulung)	OA _{max} [Bq/cm ²]
1	2	3	4	5	6	7
C-14	3,5E-1	6E3	5,8E-5	2,0E-3		
Fe-55	6,0E-2	2E4	3,0E-6	8,3E-5		
Co-60*	8,3E-2	3E0	2,8E-2	7,7E-1	8,6E-1	2,58
Ni-63	3,6E-1	4E4	9,1E-6	2,5E-4		
Sr-90	5,3E-2	3E1	1,8E-3	4,9E-2		
Cs-137	3,3E-2	1E1	3,3E-3	9,1E-2	1,0E-1	1,00
Eu-154	2,0E-3	6E0	3,3E-4	9,0E-3		
Pu-239/240	1,0E-3	2E0	5,0E-4	2,1E-2		
Pu-241	5,4E-2	9E1	6,0E-4	1,7E-2		
Am-241	4,0E-3	3E0	1,3E-3	4,0E-2	4,4E-2	0,13
Summe	1		3,6E-2	1	1	3,71

* Schlüsselnuklid

IV. Zugrundelegen größerer Mittelungsflächen

Gemäß Anlage IV Teil D Nr. 5 Satz 2 StrlSchV kann die zuständige Behörde in begründeten Fällen bei der Freigabe von Gebäuden zum Abriss größere Mittelungsflächen als 1 m² zulassen. Da sich dies bei der Freimessung mittels In-situ-Gamma-spektrometrie anbietet, es aber hierfür weder Vorgaben noch ein bundeseinheitliches Kriterium gibt, wurde im Rahmen dieses Berichts ein Kriterium hergeleitet, das in Baden-Württemberg bei Bedarf zunächst bei Freimessungen mittels In-situ-Gamma-spektrometrie zur Anwendung kommen soll. Das Kriterium wird in Teil 7 dieses Berichts dargestellt.

Weitere für bestimmte Messstrategien relevante Parameter, die über die allgemeinen hinausgehen, werden – soweit erforderlich – bei der Beschreibung der jeweiligen Messstrategie erläutert.

4.1 Kollimierte Messung einer 1 m² großen Fläche

Bei der Freigabe von Gebäuden darf die nach Anlage IV Teil D Nr. 3 StrlSchV zu Grunde zu legende Mittelungsfläche bis zu 1 m² betragen. Aus diesem Grund soll in diesem Kapitel zunächst auf die Messung einer 1 m² großen Gebäudefläche eingegangen werden.

4.1.1 Detektor senkrecht zur auszumessenden Fläche

Bei dieser einfach zu modellierenden und daher gebräuchlichen Messanordnung befindet sich der Detektormittelpunkt (D) und der Mittelpunkt der Messfläche (R) auf gleicher horizontaler Ebene. Für die Messung einer 1 m² großen Fläche wird der Abstand des Detektors zum Mittelpunkt der – in der Regel quadratförmigen – auszumessenden Fläche konservativ so gewählt, dass die Eckpunkte der auszumessenden Fläche innerhalb des geometrischen Sichtbereichs des kollimierten Spektrometers liegen. In Abbildung 1 ist der Aufbau dieser Messanordnung schematisch, in Abbildung 2 die tatsächliche Messanordnung beispielhaft dargestellt. Wird für die Messung einer 1 m² großen quadratförmigen Fläche ein Kollimator mit einem Öffnungswinkel von beispielsweise 90° verwendet, ergibt sich hieraus ein Abstand des Detektors von der auszumessenden Fläche von etwa 70 cm. Bei der gewählten Messanordnung ist zu beachten, dass sich bei der Bewertung der Messergebnisse aufgrund der tatsächlichen Messfläche eine Konservativität mit einem Faktor von etwa 1,6 ergibt.

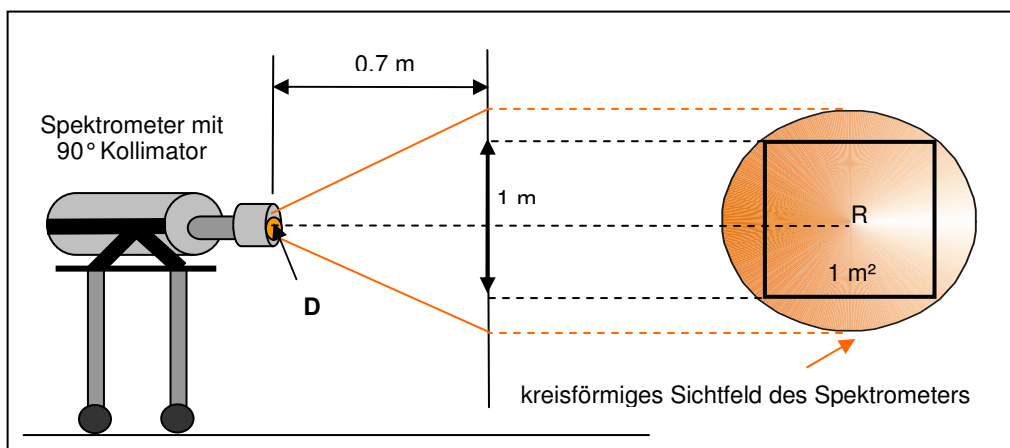


Abb. 1: Schematische Messanordnung

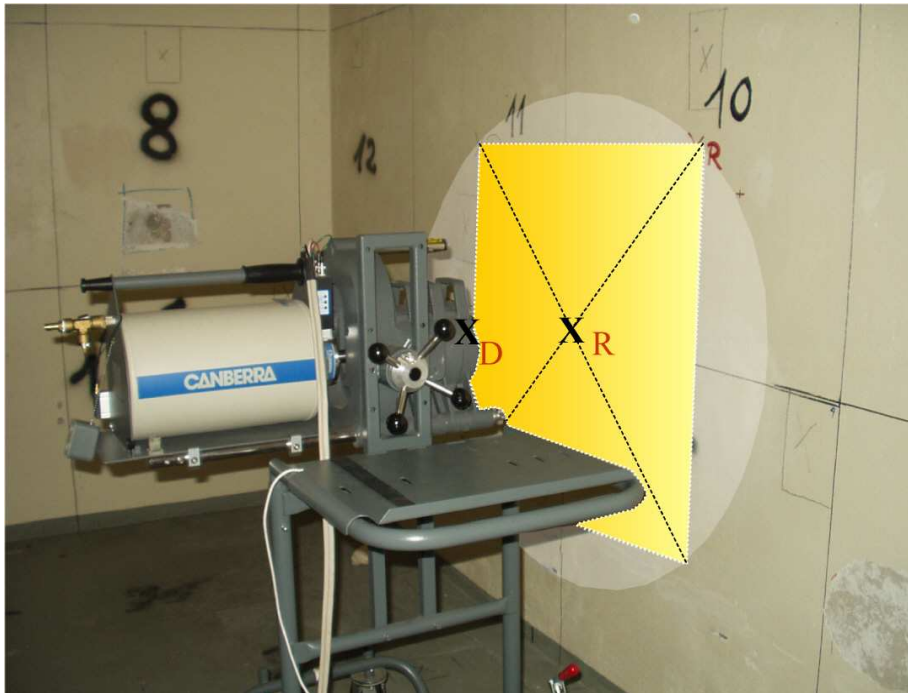


Abb. 2: beispielhafte Messanordnung

Vor – systemabhängig zum Teil auch nach – der eigentlichen Messdurchführung wird die mit Hilfe der erforderlichen Eingabeparameter (z.B. Detektorhöhe, Matrix, Leitnuklid usw.) ermittelte Effizienzkalibrierung in die Auswertesoftware implementiert. Diese Vorgehensweise wird, ohne auf die Details einzugehen, für ein bestimmtes Messsystem (INSIKONT) mit Hilfe der drei folgenden Eingabemasken „Messung“, „Verteilung“ und „Freimessung“ beispielhaft dargestellt (die Angabe der „Detektorhöhe“ entspricht in der Eingabemaske „Messung“ dem eigentlichen Abstand des Detektors zum Mittelpunkt der auszumessenden Fläche).

Messung		Verteilung	Freimessung
Detektor			
Detektor	20090	<input checked="" type="radio"/> mit <input type="radio"/> ohne Kollimator	Detektorhöhe: 140 cm
			Neigungswinkel: 0 Grad
Zeit		Matrix	
Meßzeit (real):	3603,7 s	<input type="radio"/> Boden	
Meßzeit (live):	3600 s	<input checked="" type="radio"/> Beton	Dichte: 2,35 g/cm ³
Meßdatum:	29.04.2004	<input type="radio"/> Stahl	
Bezugsdatum:	29.04.2004		
Kommentar			
OBJ_FCALWw_E_L0300_B0098_H0140			
P_20090.PAR_H_0140_U_MB_			

Abb. 3: Eingabemaske – Messung

Abb. 4: Eingabemaske – Verteilung

Abb. 5: Eingabemaske – Freimessung

Auf Grundlage des sich aus dem Nuklidvektor ergebenden Schlüsselnuclids (die Angabe des „Leitnuclids“ entspricht in der Eingabemaske „Freimessung“ dem Schlüsselnuclid) und der vorgegebenen Mittelungsfläche von 1 m² kann dann die vom Anwender gewünschte Analyse des γ -Spektrums mittels der Auswertesoftware vorgenommen werden.

Bei einem der im Rahmen dieses Berichts betrachteten Messsysteme (INSIKONT) können sog. Ausschlusswerte bestimmt werden. Der für begrenzte Flächenquellen relevante Ausschlusswert 2 (ASW 2) berücksichtigt dabei zuzüglich zur gemessenen Aktivität verschiedene Kalibrier- und Messunsicherheiten. Hierbei wird für die Modellannahme eine frei wählbare Flächenquelle, die der gewählten Mittelungsfläche entspricht, berechnet. Für den Fall, dass das Schlüsselnuklid nicht nachgewiesen werden kann, ergibt sich für den ASW 2 und die Nachweisgrenze der gleiche Wert. Der ermittelte ASW 2 bedeutet also, dass die gesamte vorhandene Oberflächenaktivität im geometrischen Sichtbereich des kollimierten Detektors bezogen auf die Mittelungsfläche den angegebenen Wert nicht überschreitet. Um eine Freigabe zu erwirken, muss dieser Wert unterhalb des abgeleiteten Freigabewertes liegen.

4.1.2 Detektor geneigt zur auszumessenden Fläche

Abhängig von dem verwendeten Messsystem besteht teilweise auch die Möglichkeit auf Grundlage der systemhinterlegten mathematischen Effizienzkalibrierung auf eine Verschiebung des Detektors bei den Messungen einzelner Flächen zu verzichten. So können mehrere zu untersuchende Flächen durch Neigen des Detektorsystems von einer Position ausgemessen werden. Dieses Vorgehen soll beispielhaft anhand eines im Rahmen dieses Berichts betrachteten Messsystems (ISOCS) dargestellt werden.

Zur Erstellung der mathematischen Effizienzkalibrierung – in diesem Fall mit dem Template¹ „Rectangular Plane“ – ist vor allem die Beziehung der drei Geometriepunkte D (Detektormittelpunkt), A (Detektorachsenaufpunkt auf der Messfläche) und R (Mittelpunkt der Messfläche) zueinander von Bedeutung (s. Abbildung 6). R ist dabei der Bezugspunkt für die übrigen Geometriepunkte, während D und A auf einer Geraden liegen. D´ ist der auf die Messfläche projizierte Detektormittelpunkt D.

¹ Hierbei handelt es sich um eine vom System vorgegebene Grundkalibrierung, die dann einzelfallabhängig der jeweiligen Messstrategie angepasst wird.

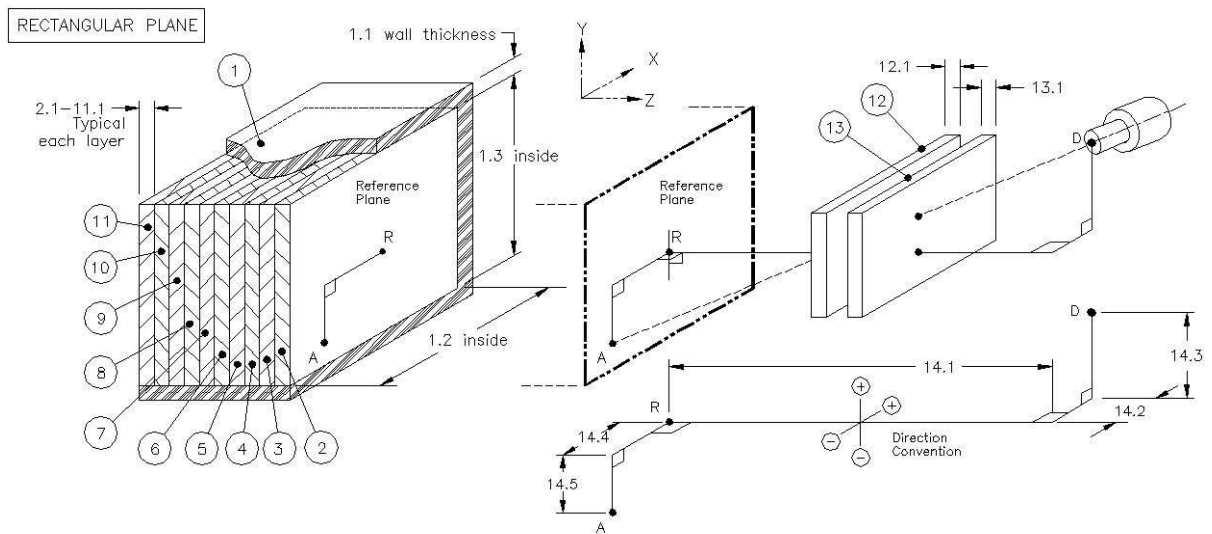


Abb. 6: Template „Rectangular Plane“

Die Berücksichtigung dieser Geometriefaktoren erfolgt über eine entsprechende Eingabemaske, die in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt ist.

ISOCS, Template: RECTANGULAR_PLANE

Delete Help

Template Version: default

Save Data As User Version

Detector and End-Cap: none

Diam. 0 Length 0

Geometry Information: Description none, Comment none

Dimensions Scale: mm cm inch foot m

Edit Additional Equipment: Collimator none, Housing none

OK, Cancel, Help, Show Template

Geometry Elements		Dimensions					RelConc	Density and Material		Select from List
#	Description	d.1	d.2	d.3	d.4	d.5		g/cm3	Material	
1	Side Walls	0	0	0			0	none	Call MuEditor: 304ss acrylic aluminum cellulose concrete copper csteel dirt1 dirt2 dirt3 dirt4 dryair drydirt epoxy germanum glass hdepoxy hpolyeth iron	
2	Layer 1	0					0	none		
3	Layer 2	0					0	none		
4	Layer 3	0					0	none		
5	Layer 4	0					0	none		
6	Layer 5	0					0	none		
7	Layer 6	0					0	none		
8	Layer 7	0					0	none		
9	Layer 8	0					0	none		
10	Layer 9	0					0	none		
11	Layer 10	0					0	none		
12	Absorber1	0					0	none		
13	Absorber2	0					0	none		
14	Source-Detector	0	0	0	0	0	0	none		

Abb. 7: Eingabemaske Template „Rectangular Plane“

Der Abstand des Detektors zur auszumessenden Fläche wird dabei so gewählt, dass der Durchmesser der durch den Kollimator umschriebenen Fläche mindestens die freizumessende Fläche abdeckt. Da D' , A und R auf einer Geraden liegen, sind lediglich vertikale Verschiebungen zu berücksichtigen.

In Abbildung 8 umschreibt der angedeutete Lichtkegel das tatsächliche Blickfeld des geneigten Detektors während die quadratische Fläche die Mittelungsfläche darstellt.

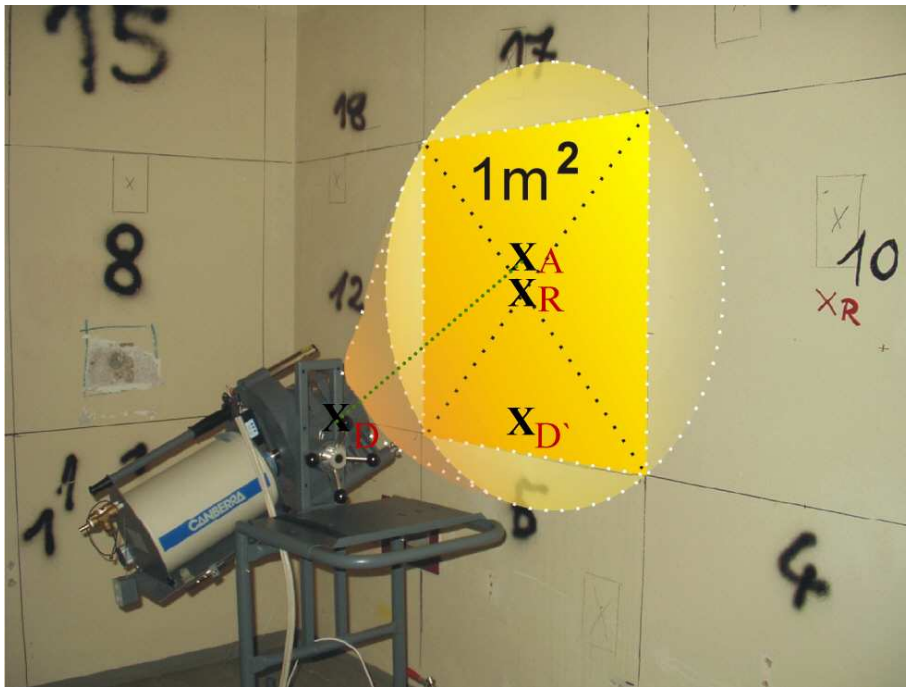


Abb. 8: Messaufbau – Detektor geneigt

4.2 Messung zusammenhängender Flächen²

Werden die Messergebnisse der auszumessenden Flächen, die (wesentlich) größer als 1 m² sind, auf eine Mittelungsfläche von 1 m² bezogen, so sind keine über die in Teil 4 beschriebenen, hinausgehenden Voruntersuchungen erforderlich bzw. weitere Randbedingungen zu beachten. Bei Inanspruchnahme von größeren Mittelungsflächen, muss die weitere Vorgehensweise mit der zuständigen Behörde abgestimmt sein. Diese kann speziell bei der Freigabe von Gebäuden zum Abriss gemäß Anlage IV Teil D Nr. 5 StrlSchV in begründeten Fällen größere Mittelungsflächen als 1 m² zulassen. In Baden-Württemberg wurde hierzu ein Kriterium erarbeitet, dass in Teil 7 dieses Berichts dargestellt ist.

4.2.1 Detektor senkrecht zur auszumessenden Fläche

Bei dieser einfach zu modellierenden und daher gebräuchlichen Messanordnung befindet sich der Detektormittelpunkt (D) und der Mittelpunkt der Messfläche (R) auf gleicher horizontaler Ebene. Für die Messung zusammenhängender Flächen (z.B. einer Wand) wird der Abstand des Detektors zum Mittelpunkt der zu messenden Fläche so gewählt, dass die Eckpunkte der Messfläche innerhalb des geometrischen Sichtbereiches des kollimierten Spektrometers liegen. Wird für die Messung beispielsweise ein Kollimator mit einem Öffnungswinkel von 90° verwendet, so ergibt sich für eine zu messende Fläche von 5 m x 5 m ein Abstand des Detektors von der zu messenden Fläche von etwa 3,5 m. Die Messzeit ist so zu wählen, dass die Nachweisgrenze den abgeleiteten Freigabewert für das Schlüsselnuklid, der sich aus dem Nuklidvektor unter Anwendung der Summenformel ergibt (s. Teil 4), unterschreitet. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 9 für eine Mittelungsfläche von 1 m² und das Schlüsselnuklid Cs-137 dargestellt. Die Kurvenscharen der Abbildung 9 sind detektorspezifisch. Sie stellen die Nachweisgrenze in Bq/m² in Abhängigkeit von der Messzeit und dem Abstand des Detektors von der zu messenden Fläche dar und müssen vor Anwendung des Verfahrens durch eine Messserie ermittelt werden.

² Zusammenhängende Flächen können Wände, Boden, Decke etc. sein.

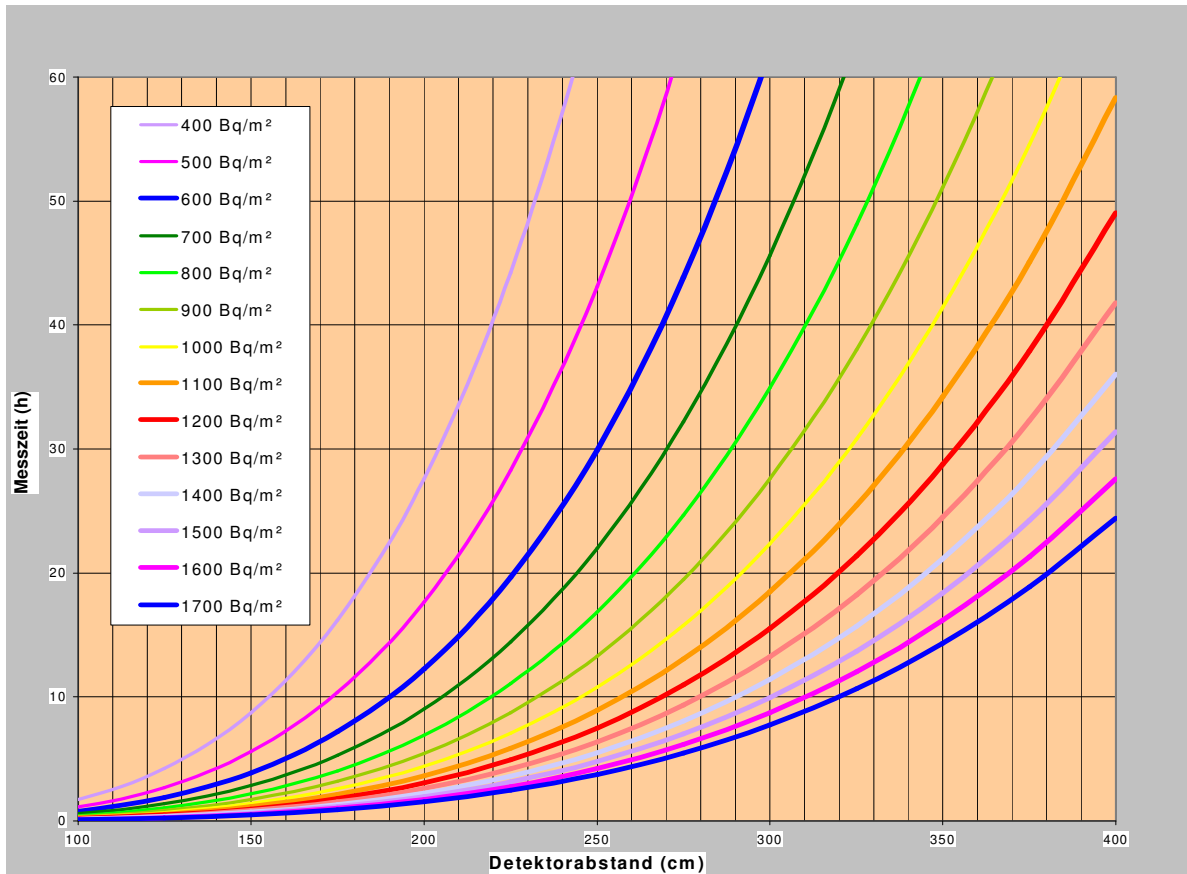


Abb. 9: Darstellung der Messzeit, die zum Erreichen einer bestimmten Nachweisgrenze in Bq/m² bezogen auf das Nuklid Cs-137 erforderlich ist, in Abhängigkeit vom Abstand des Detektors von der zu messenden Fläche

Ist die Einhaltung des erforderlichen Abstands zwischen Detektor und der zu messenden Fläche z.B. aufgrund räumlicher Gegebenheiten nicht möglich, erfolgt eine Unterteilung der Fläche in entsprechend kleiner dimensionierte, sich überlappende Messflächen (siehe Abbildung 10). Weitere Kriterien für die Festlegung der Größe der Messfläche und damit für den Messumfang können u.a. die im jeweiligen Freigabeverfahren zugelassene Mittelungsfläche, der für das Schlüsselnuklid zu unterschreitende abgeleitete Freigabewert sowie die Einhaltung von akzeptablen Messzeiten sein.

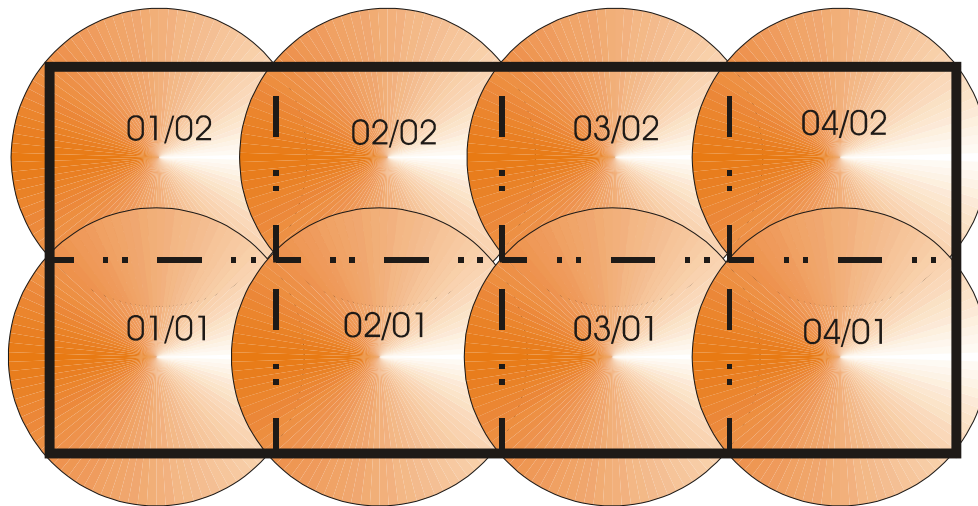


Abb. 10: Messflächeneinteilung

Die mit Hilfe der erforderlichen Eingabeparameter (z.B. Detektorhöhe, Matrix, Schlüsselnuclid usw.) ermittelte Effizienzkalibrierung wird in die Auswertesoftware implementiert. Auf Grundlage des sich aus dem Nuklidvektor ergebenden Schlüsselnuclids und der vorgegebenen Mittelungsfläche von 1 m^2 wird die vom Anwender gewünschte Analyse des γ -Spektrums mittels der Auswertesoftware vorgenommen.

4.2.2 Detektor geneigt zur auszumessenden Fläche

Abhängig von dem verwendeten Messsystem besteht teilweise auch die Möglichkeit, auf Grundlage der systemhinterlegten mathematischen Effizienzkalibrierung auf eine Verschiebung des Detektors bei den Messungen einzelner Flächen zu verzichten. So können mehrere auszumessende Flächen durch Neigen des Detektorsystems von einer Position ausgemessen werden. Dies soll beispielhaft anhand eines im Rahmen dieses Berichts betrachteten Messsystems (ISOCS) dargestellt werden. Die Erstellung der mathematischen Effizienzkalibrierung wird mit dem Template „Rectangular Plane“ durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.1.2). Das Detektorsystem wird so positioniert, dass die Eckpunkte der auszumessenden Fläche im geometrischen Sichtbereich des kollimierten Spektrometers liegen. Die mathematische Effizienzkalibrierung erlaubt es hierbei, das System schräg zu der zu messenden Fläche zu positionieren, wobei sich dies jedoch ungünstig auf die Nachweisgrenze und damit auf die erforderliche Messzeit auswirkt.

Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Anordnung zur Messung einer Fläche von deutlich mehr als 9 m^2 . Die gemessene Aktivität wird dabei über 1 m^2 (s. markiertes Quadrat) in einem ungünstigen Teil des Sichtbereichs und somit entsprechend konservativ gemittelt. Diese Vorgehensweise kann dann praktiziert werden, wenn die gemessene Aktivität ausreichend gering ist.

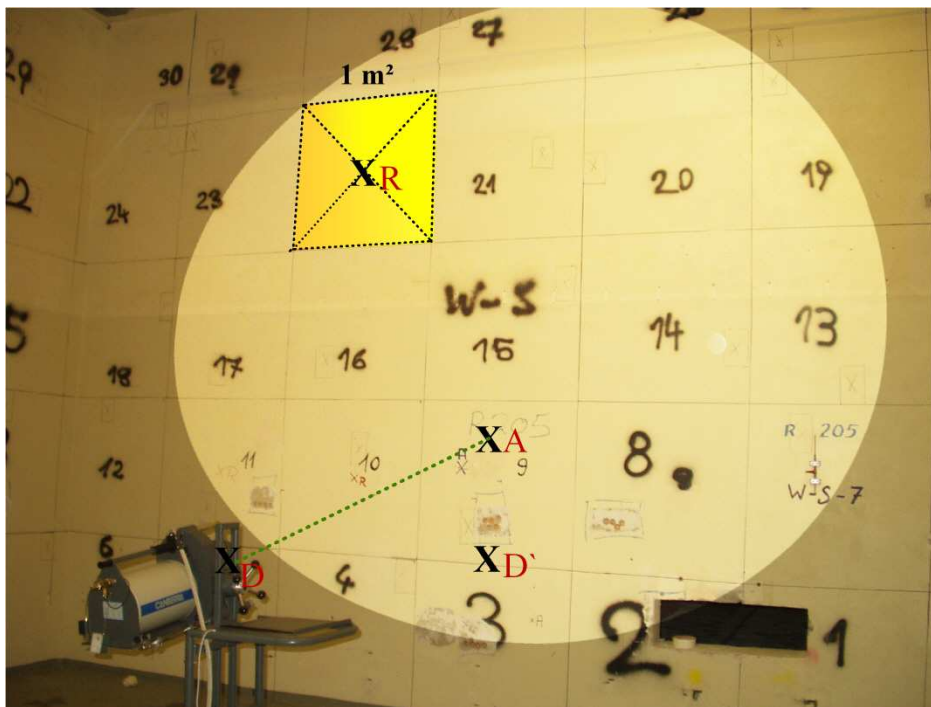


Abb. 11: Anordnung zur Messung einer Fläche von deutlich mehr als 9 m^2 mit einer Mittelungsfläche von 1 m^2

Abbildung 12 zeigt den gleichen Messaufbau. In diesem Fall wurde durch geeignete Voruntersuchungen gezeigt, dass das baden-württembergische Kriterium für eine größere Mittelungsfläche erfüllt ist (s. Teil 7). Daher darf über eine größere Fläche – in diesem Fall 9 m^2 – gemittelt werden. Da die Fläche des Sichtfelds des kollimierten Detektorsystems deutlich mehr als 9 m^2 beträgt, ergibt sich hieraus eine entsprechend konservative Interpretation der Messergebnisse.

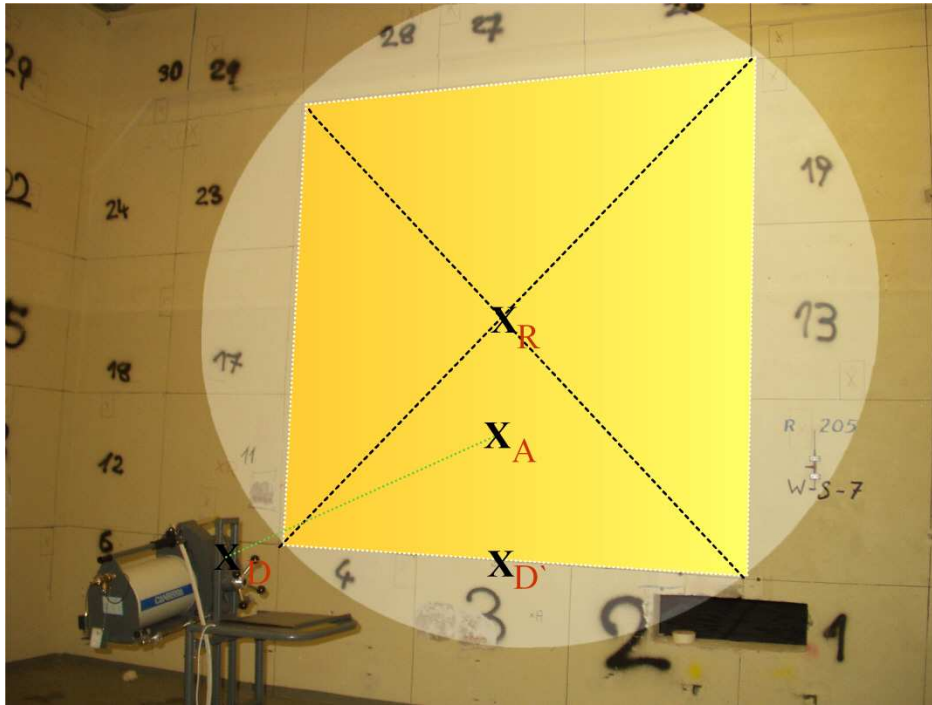


Abb. 12: Anordnung zur Messung einer Fläche von deutlich mehr als 9 m^2 mit einer Mittelungsfläche von 9 m^2

4.3 Messung ganzer Räume

Werden die Messergebnisse der Raummessungen mit Messflächen, die wesentlich größer als 1 m^2 sind, auf eine Mittelungsfläche von 1 m^2 bezogen, so sind keine über die in Teil 4 beschriebenen, hinausgehenden Voruntersuchungen erforderlich bzw. weitere Randbedingungen zu beachten. Bei Inanspruchnahme von größeren Mittelungsflächen, muss – wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben – die weitere Vorgehensweise mit der zuständigen Behörde abgestimmt sein. Diese kann speziell bei der Freigabe von Gebäuden zum Abriss gemäß Anlage IV Teil D Nr. 5 StrlSchV in begründeten Fällen größere Mittelungsflächen als 1 m^2 zulassen. In Baden-Württemberg wurde hierzu ein Kriterium erarbeitet, dass in Teil 7 dieses Berichts dargestellt ist.

4.3.1 Messungen bei Würfelähnlichkeit der Räume

Ganze Räume oder Raumbereiche können mit einem unkollimierten Detektor ausgemessen werden. Der verwendete Detektor sollte dazu allseitig gleich empfindlich sein. Zum Nachweis wird für einen unkollimierten achsialsymmetrischen Detektor eine Punktquelle – ausgehend von der Detektorachse – in festgelegten Winkelschritten und stets in gleichem Abstand vom Detektor positioniert und gemessen. Das Resultat dieser Vorgehensweise ist beispielhaft in Abbildung 13 grafisch dargestellt.

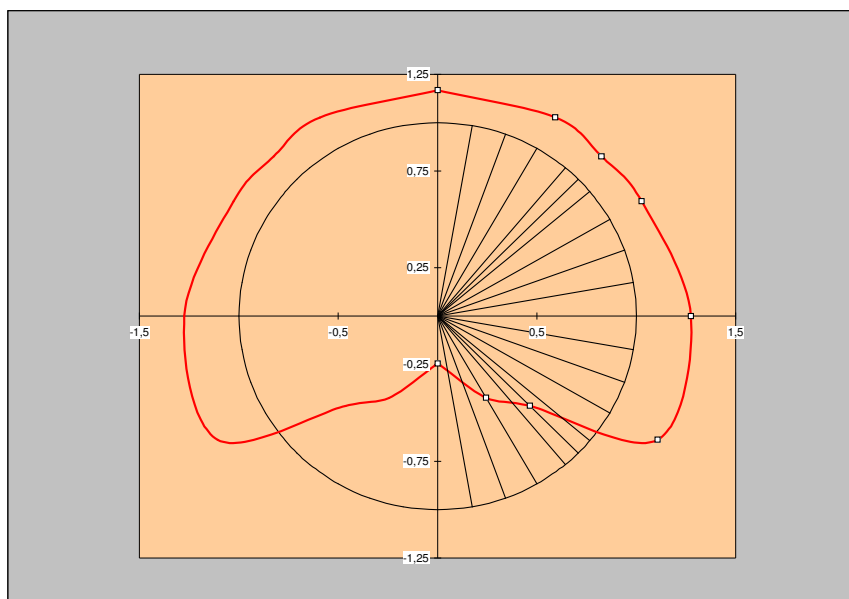


Abb. 13: Gesichtsfeld eines speziellen Detektors in Abhängigkeit vom Polarwinkel ohne Kollimator

Hat ein Detektor dieses Spezifikum (allseitig gleiche Empfindlichkeit), so kann die Kontamination auf der Oberfläche einer Halbkugel, in deren Mittelpunkt der Detektor steht, als Punktquelle auf der Detektorachse quantitativ äquivalent angegeben werden.

Der auszumessende Raum wird hierfür zunächst in würfelähnliche Kuben zerlegt. Der Abstand der Flächenquelle zum Detektor wird als der Radius der mit dem Kubus flächengleichen Kugel angenommen (s. Abbildung 14).

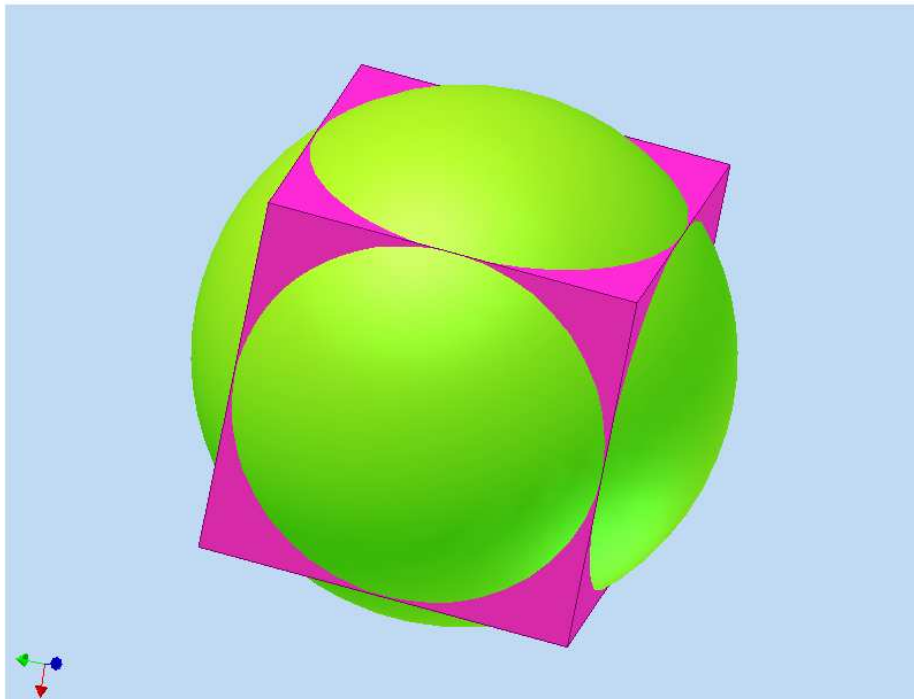


Abb. 14: Messflächenkugel und zu messender Raum

In jedem Kubus werden 2 Messungen in entgegengesetzter Richtung durchgeführt.

Zur Veranschaulichung dieser Vorgehensweise soll folgendes Beispiel dienen. Ein Raum (s. Abbildung 15) wird zunächst als würfelähnlicher Kubus betrachtet und der Radius der flächengleichen Kugel berechnet. In Tabelle 2a werden die 6 Flächen des Raums mit A bis F bezeichnet und ihre Maße angegeben. Ein Kubus soll dann als würfelähnlich akzeptiert werden, wenn keines seiner Maße mehr als 25 % von der Kantenlänge des flächengleichen Würfels abweicht. Dazu werden die Flächeninhalte berechnet, aufsummiert und die Kantenlänge des flächengleichen Würfels bestimmt. Die einzelnen Flächenmaße werden gegen diese Kantenlänge auf "Würfelähnlichkeit" geprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass der ursprüngliche Raum zunächst zu stark

quaderförmig ist (s. Tabelle 2a). Bei Zerlegung in 4 Kuben wird jedoch die geforderte Würfelähnlichkeit erzielt (s. Tabelle 2b).

Tab. 2a: Oberflächen- und Radius-Berechnung

Raum Wand	Maß 1 [m]	Maß 2 [m]	Fläche [m ²]	Prüfung auf < 25% Abweichung	
A	3,72	3,64	13,54	A, Maß 1	1,22
B	1,92	3,64	6,99	A, Maß 2	1,20
C	3,72	3,64	13,54	B, Maß 1	0,63
D	1,92	3,64	6,99		
E	3,72	1,92	7,14		
F	3,72	1,92	7,14	Kantenlänge Würfel	
		Summe	55,34		3,04
		K Radius	2,10		

Tab. 2b: Oberflächen- und Radius-Berechnung

Raum Wand	Maß 1 [m]	Maß 2 [m]	Fläche [m ²]	Prüfung auf < 25% Abweichung	
A	1,86	1,82	3,39	A, Maß 1	1,00
B	1,92	1,82	3,49	A, Maß 2	0,97
C	1,86	1,82	3,39	B, Maß 1	1,03
D	1,92	1,82	3,49		
E	1,86	1,92	3,57		
F	1,86	1,92	3,57	Kantenlänge Würfel	
		Summe	20,90		1,87
		K Radius	1,29		
		Teiler 1	2		
		Teiler 2	2		
		Teiler 3	1		

Aus dieser Überlegung folgt, dass in dem gewählten Beispiel insgesamt 8 unkollimierte Messungen im Raum durchzuführen sind, wobei der Detektor jeweils im Mittelpunkt eines Kubus positioniert wird. Zur Auswertung jeder Messung wird der Kugelradius („K Radius“ in Tab. 2a und 2b) als Abstand der Punktquelle vom Detektor herangezogen. In Abbildung 15 werden die Schnittkreise der zur Auswertung verwendeten Kugeln mit den Flächen des Raumes dargestellt.

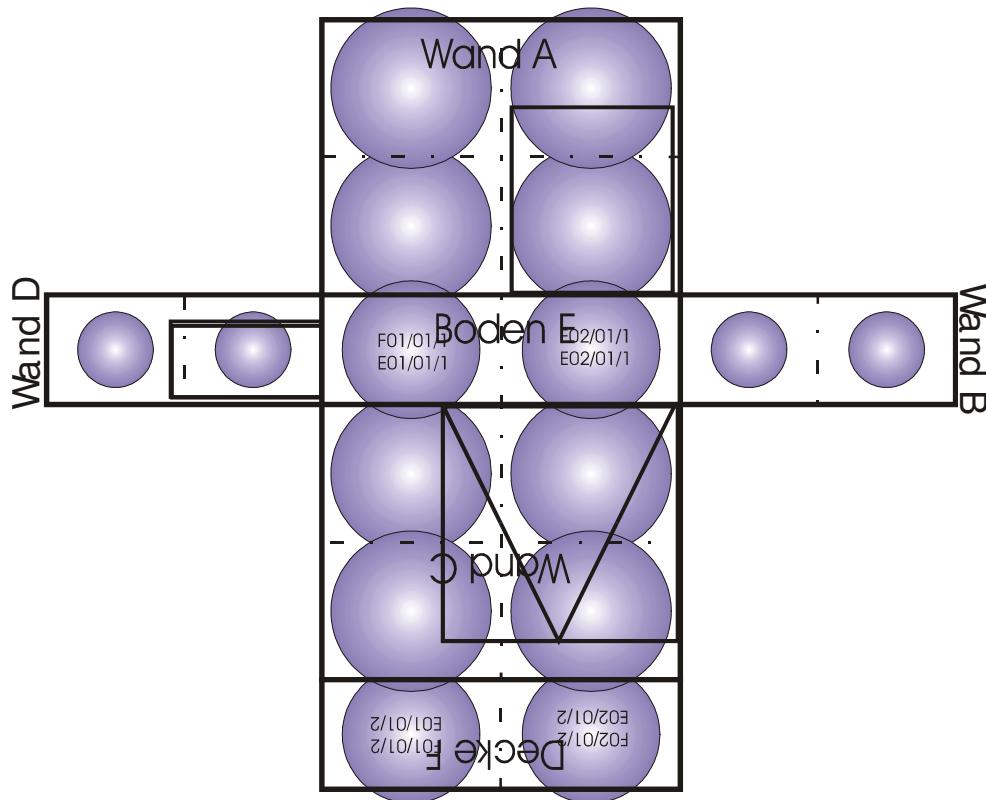


Abb. 15: Abbildung des Messrasters für zwei mal vier unkollimierte Messungen in einem Raum

Bei Verarbeitung der Messdaten bei einem im Rahmen dieses Berichts betrachteten Messsystem (INSIKONT) wird die gemessene Aktivität sowie ein Ausschlusswert 1 (ASW1) angegeben, welcher die Messunsicherheit sowie den Kalibrierfehler enthält. Wird keine Aktivität gefunden, so stellt ASW1 die Nachweisgrenze des Verfahrens dar. Die Nachweisgrenze fällt einerseits mit der Wurzel aus der Messzeit und steigt andererseits mit dem Quadrat des zur Auswertung verwendeten Kugelradius. Die Abbildungen 16 und 17 zeigen diese Zusammenhänge anhand einer Reihe von Messungen in aktivitätsfreien Räumen. Als Schlüsselnuclid wurde hierbei Cs-137 gewählt.

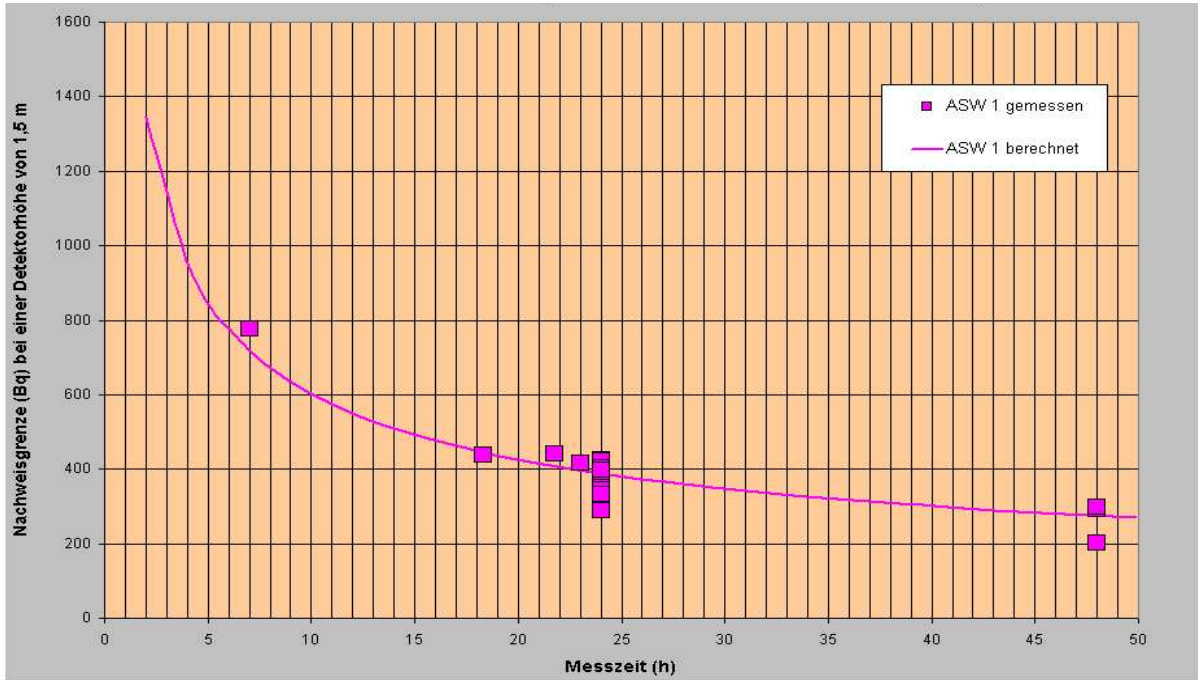


Abb. 16: Ausschusswert 1 als Nachweisgrenze bei konstanter Detektorhöhe in Abhängigkeit von der Messzeit, ermittelt durch Messungen in aktivitätsfreien Räumen mit einem unkollimierten Detektor bezogen auf Cs-137

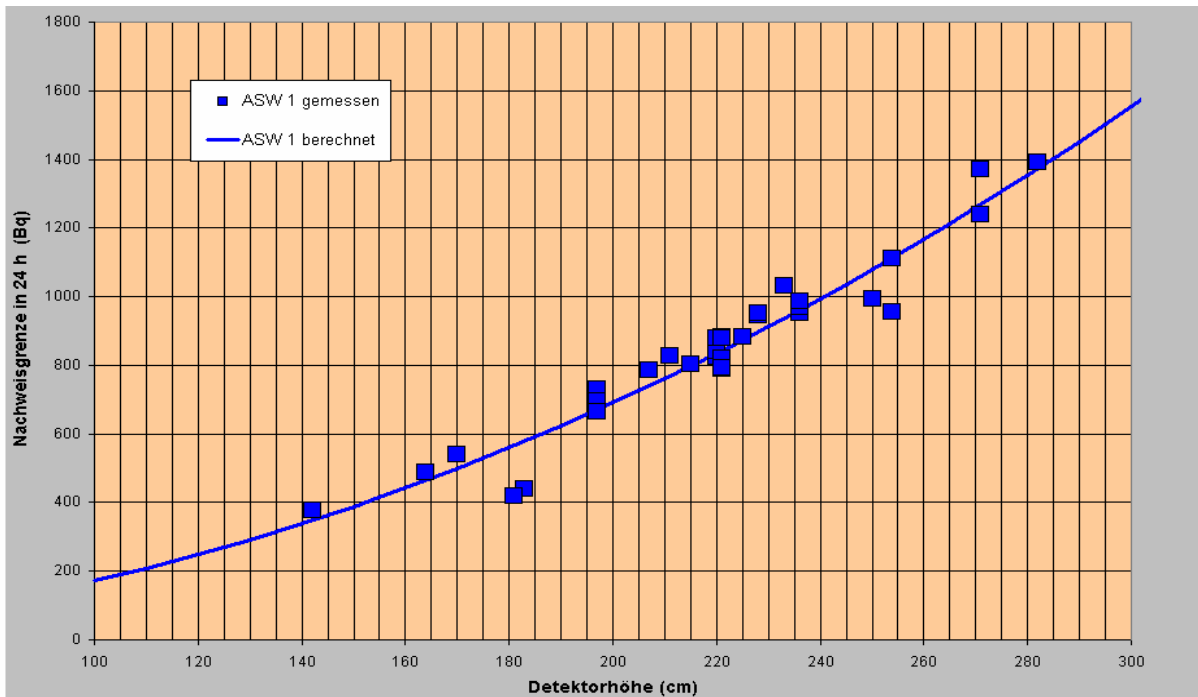


Abb. 17: Ausschusswert 1 als Nachweisgrenze bei konstanter Messzeit (24 h) in Abhängigkeit vom Detektorabstand, ermittelt durch Messungen in aktivitätsfreien Räumen mit einem unkollimierten Detektor bezogen auf Cs-137

Daraus resultiert wiederum eine Grafik (s. Abbildung 18), aus der bei vorgegebener Nachweisgrenze, welche den abgeleiteten Freibewert für das Schlüsselnuklid darstellt, die erforderliche Messzeit in Abhängigkeit vom verwendeten Detektorabstand abgelesen werden kann.

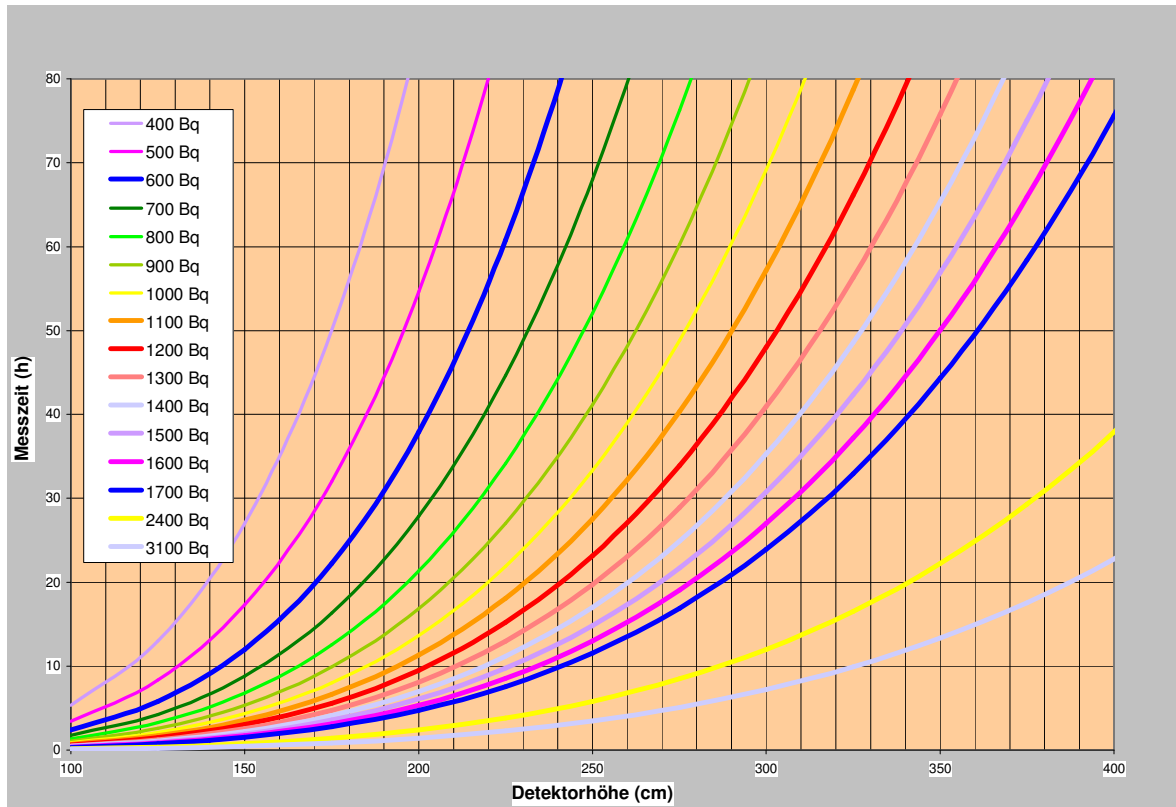


Abb. 18: Darstellung der Messzeit, die zum Erreichen einer bestimmten Nachweisgrenze in Bq bezogen auf das Nuklid Cs-137 erforderlich ist, in Abhängigkeit vom Abstand des Detektors zu der zu messenden Fläche

4.3.2 Messungen unter Verwendung systemhinterlegter Messgeometrien

Systembedingt können Räume auch mit verschiedenen im System hinterlegten Messgeometrien beschrieben werden. Dies soll beispielhaft anhand eines im Rahmen dieses Berichts betrachteten Messsystems (ISOCS) gezeigt werden. Zur Erstellung der mathematischen Effizienzkalibrierung bei Raummessungen stehen bei diesem System zwei verschiedene Standardgeometrien zur Auswahl. Zum einen das Template „Room/Box“ (s. Abbildung 19) zum anderen das Template „Well or Marinelli Beaker“ (s. Abbildung 20).

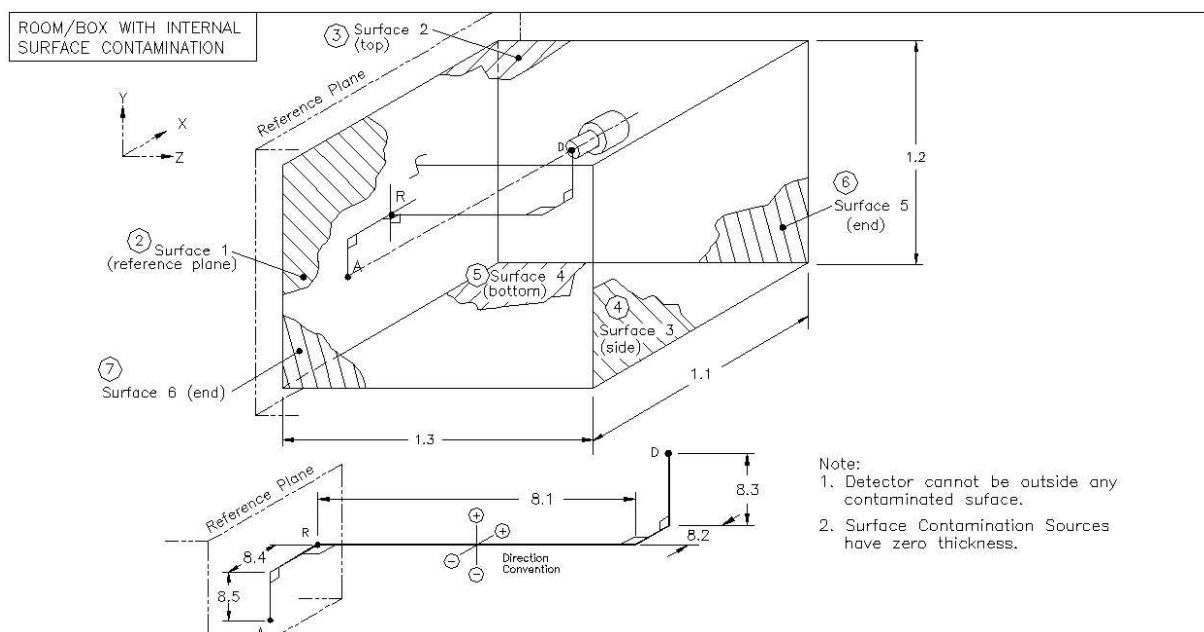


Abb. 19: Template Room/Box

Im Gegensatz zum Template „Room Box“ kann im Template „Well or Marinelli Beaker“ die Beschreibung einer inaktiven Schicht, die der eigentlichen Aktivität vorgelagert ist, erfolgen, so dass eine eingedrungene Aktivität simuliert werden kann. Die Berücksichtigung der tatsächlichen Relaxationslänge kann durch diese Vorgehensweise aber nur andeutungsweise erfolgen.

WELL OR
MARINELLI BEAKER

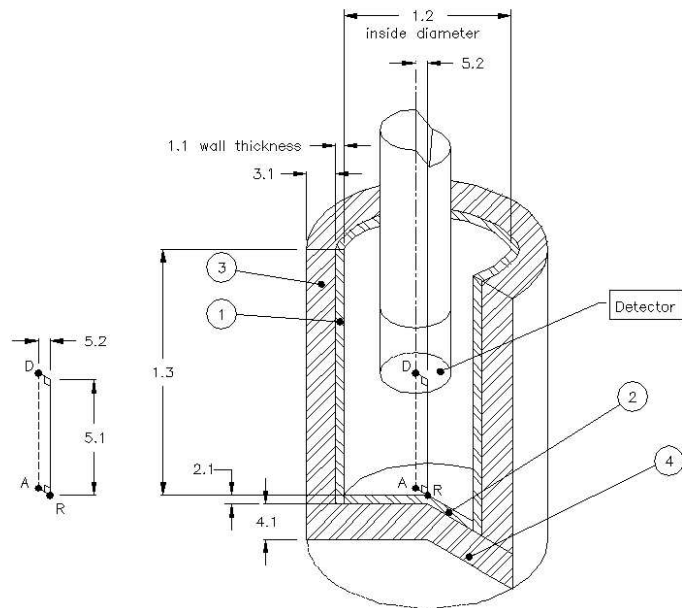


Abb. 20: Template Well or Marinelli Beaker

Im Template „Well or Marinelli Beaker“ wird der auszumessende Raum einem Marinelli-becher angenähert, wobei die Diagonale des von der Detektorachse aus gesehenen gegenüberliegenden Wand dem Durchmesser des Bechers entspricht. Dies ist schematisch in Abbildung 21 dargestellt.

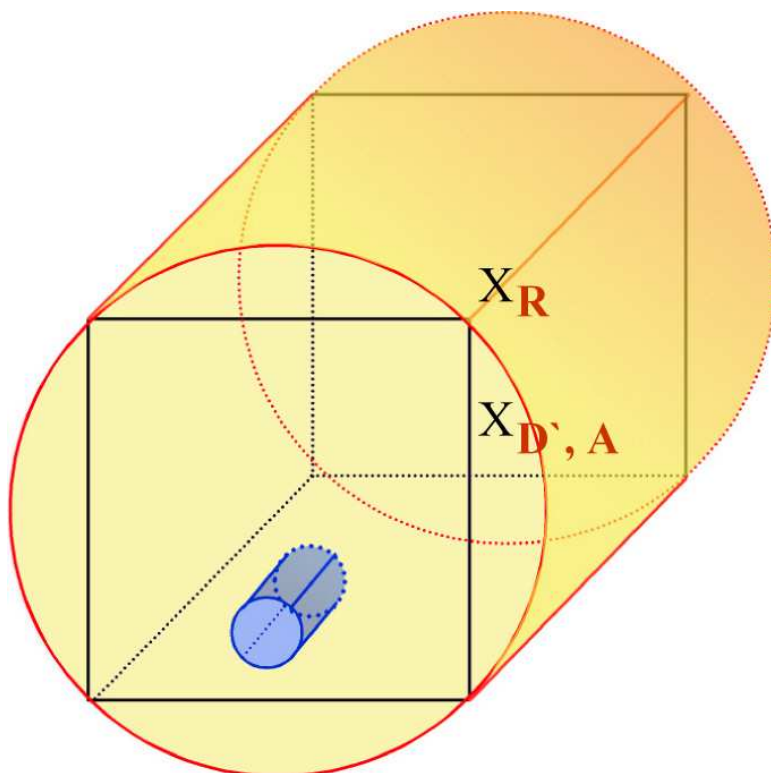


Abb. 21: Schematische Darstellung der Messanordnung „Marinelli-becher“

Bezugspunkt zur Lage der Geometriepunkte D (Detektormittelpunkt) und A (Detektorachsenaufpunkt auf der Messfläche) ist R (Mittelpunkt der Messfläche). Die Mittelungsfläche entspricht hierbei maximal der tatsächlichen Fläche des Raumes, während die Effizienz für die größere Oberfläche des Bechers berechnet wird. Hieraus ergibt sich eine entsprechend konservative Betrachtung.

Zur Freimessung eines Raumes werden zwei unkollimierte Messungen in entgegengesetzter Richtung durchgeführt, um sicherzustellen, dass der ganze Raum ausgemessen wird. Das Messergebnis ergibt sich dann aus dem Mittelwert der beiden Einzelmessungen. Bei geeigneter Geometrie des auszumessenden Raumes kann die Raummessung auch durch eine Messung durchgeführt werden. Auf eine Neigung des Detektors kann verzichtet werden. Um eine größtmögliche Effizienz zu erreichen, sollten A, D und R in einer Ebene vertikal zu der dem Detektor gegenüberliegenden Fläche liegen. Die mathematische Effizienzkalibrierung erlaubt es aber auch, das System schräg zu der auszumessenden Fläche zu positionieren. Abbildung 22 zeigt beispielhaft eine Messanordnung.

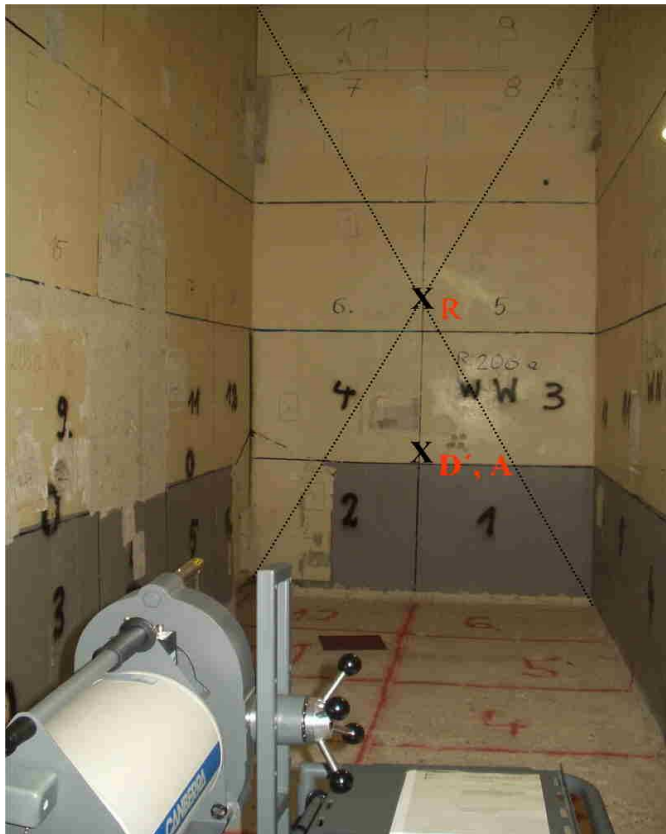


Abb. 22: Messanordnung zur Raummessung

4.4 Messung von Bodenflächen

Bei der Messung von Bodenflächen ist stets davon auszugehen, dass die Aktivität in den Boden eingedrungen ist. In der Voruntersuchung ist neben dem Nuklidvektor, dem Schlüsselnuklid für die Freimessung und der lateralen Aktivitätsverteilung auch die Tiefenverteilung der Aktivität zu ermitteln. Im nachfolgenden Beispiel wird eine Bodenfläche betrachtet, bei der die Aktivitätskonzentration von der Oberfläche in die Tiefe exponentiell abnimmt (Relaxationslänge).

Die freizumessende Bodenfläche wird in verschiedene Areale eingeteilt, bei denen auf Grund der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheit verschiedenartiges Eindringverhalten der Aktivität zu erwarten ist. Auf jedem Areal wird die Relaxationslänge durch Tiefenprofil-Probenentnahme ermittelt. Der Probenumfang wird im Einzelfall festgelegt, wobei die Betriebshistorie der einzelnen Areale zu berücksichtigen ist. Für jedes Areal wird die mittlere Relaxationslänge verwendet. Daraufhin wird für jedes Areal in Abhängigkeit vom Nuklidvektor, der hier für alle Areale gleich sein soll, und in Abhängigkeit von der Relaxationslänge der Freigabewert für das Schlüsselnuklid abgeleitet. Dabei sind die flächenbezogenen Freigabewerte O_i nach Anlage IV Teil E Nr. 5 StrlSchV aus den massenspezifischen Freigabewerten R_i der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV zu berechnen. Es lässt sich zeigen, dass die mittlere Eindringtiefe d nach Anlage IV Teil E Nr. 5 StrlSchV mit der zweifachen Relaxationslänge gleichgesetzt werden kann. Dieser Zusammenhang wird für die lineare und für die exponentielle Abnahme der Aktivität in Abbildung 23 grafisch dargestellt.

Die Freimessung mittels kollimierter In-situ-Gammaspektrometrie erfolgt gegen den abgeleiteten Freigabewert für das Schlüsselnuklid, wobei der Parameter Relaxationsmassenflächendichte, d.h. Produkt aus Relaxationslänge und Bodendichte, Verwendung findet.

Wird bei der Freimessung Cs-137 als Schlüsselnuklid zu Grunde gelegt, muss man berücksichtigen, dass Cs-137-Kontaminationen aus anderen Quellen (z.B. Tschernobyl-Unfall) vorliegen. Im Sinne der Strahlenschutzverordnung muss dann ein Verfahren gefunden werden, dass nur die durch die Anlage(n) oder Einrichtung(en) auf dem Betriebsgelände verursachten Kontaminationen berücksichtigt werden.

Im Vergleich zur Messung von Gebäuden kann die Positionierung des Detektors auf unebenen Bodenflächen z.T. sehr aufwändig sein. Bei Bedarf müssen daher geeignete Hilfsmittel, z.B. Kräne zum Einsatz kommen.

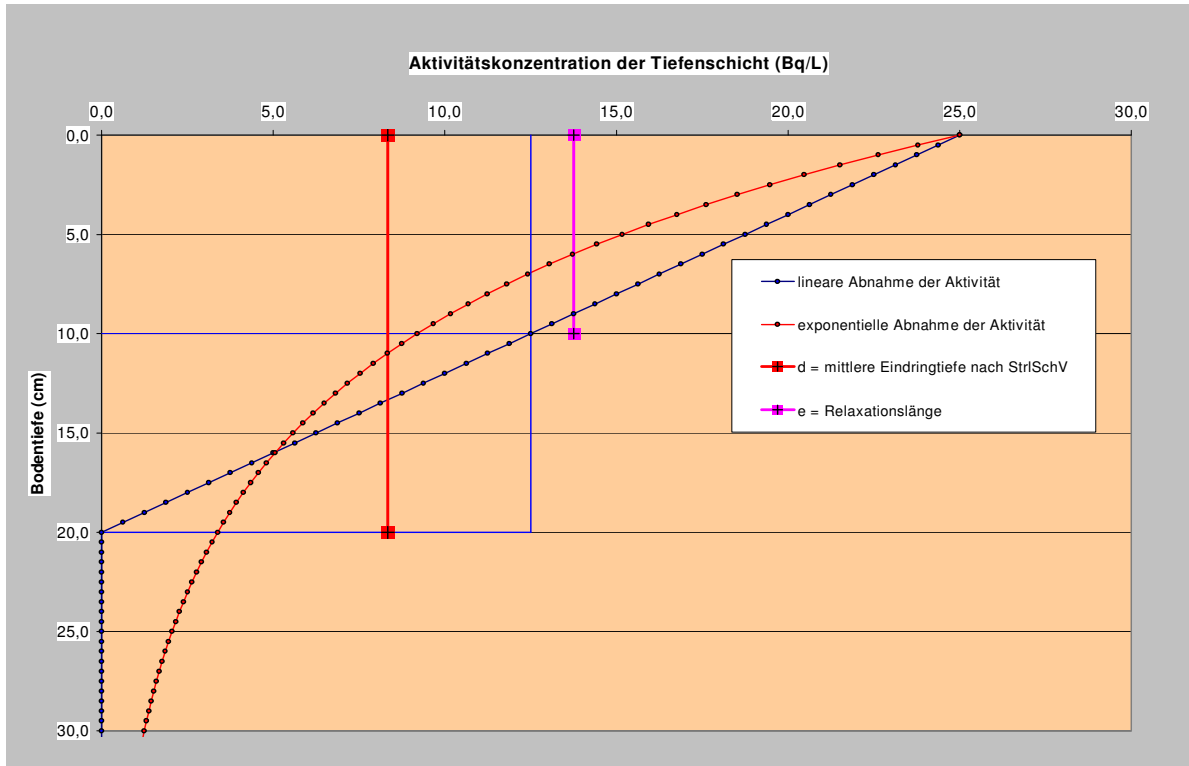


Abb. 23: Mathematisches Modell der Bodenkontamination

5. Qualitätssichernde Maßnahmen

Zum Nachweis der gleichbleibenden Qualität der In-situ-Gammaspektrometrie sind verschiedene Maßnahmen im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung durchzuführen. Diese beinhalten die Überprüfung der Energiekalibrierung und der Detektoreffizienz. Die Dokumentation der ermittelten Ergebnisse sollte auch nachträglich das Erkennen von Abweichungen und deren Korrekturen ermöglichen. Sinnvollerweise sollte ein Qualitätssicherungsplan aufgestellt werden, der insbesondere die Maßnahmen sowie die Prüfmittel und -intervalle zur Sicherung bzgl. einer gleichbleibenden Qualität beschreibt. Weitere Ausführungen hierzu sind in Teil 12 der DIN 25462 beschrieben.

6. Dokumentation

Festlegungen zur Dokumentation im Zusammenhang mit der Freigabe finden sich in § 29 Abs. 3 und § 70 Abs. 3 StrlSchV. Nach § 29 Abs. 3 StrlSchV sind die für die Feststellung der Übereinstimmung mit den Anforderungen im Freigabebescheid erforderlichen Freimessungen und deren Ergebnisse zu dokumentieren. Nach § 70 Abs. 3 StrlSchV ist über die freigegebenen Stoffe Buch zu führen, wobei die getroffenen Festlegungen nach den Anlagen III und IV StrlSchV anzugeben sind. Die Unterlagen sind 30 Jahre aufzubewahren.

Des Weiteren sind die Hinweise zur Dokumentation in Teil 6 und 7 der DIN 25457 sowie in der DIN 25462 zu beachten.

Zu den mit der In-situ-Gammaspektrometrie durchgeführten Messungen sind

- das Messverfahren (z.B. Typ der Messanlage, Messanordnung, Auswertungsprogramm, Kalibrierung, Messraster),
- der Messgegenstand (z.B. Gebäude-Nr., Raum-/Flächen-Nr., Bodenflächen, Baustoff, Oberflächen-/Bodenbeschaffenheit, Geometrie),
- die Messung und das Messergebnis (z.B. Messgeometrie, Untergrundspektrum, gemessenes Spektrum, Messzeit, Messort, Messfläche, flächenbezogene bzw. massenspezifische Aktivität der Schlüsselnuklide und der sonstigen Radionuklide, Erkennungsgrenzen, Datum, Durchführender) und
- die Freigabe (z.B. Anlage, Gebäude-Nr., Raum-/Flächen-Nr., Bodenfläche, Messwerte und Freigabewerte, Freigabevermerk, Datum und Unterschrift des Verantwortlichen).

zu dokumentieren.

Außerdem sind Aufzeichnungen über Zeitpunkt der Durchführung und Ergebnisse der Qualitätskontrollmaßnahmen zu führen.

Nach DIN 25457 sind die Aufzeichnungen aus den qualitätssichernden Prüfungen sowie die Dokumentation der Messungen mindestens bis zur abschließenden Entscheidung der Behörde über die Freigabe aufzubewahren.

Ein Teil der Daten wird bereits durch die Software der Messgeräte aufgezeichnet. Ansonsten hat sich in der Praxis das Verwenden von entsprechenden Formblättern bewährt. Hilfreich kann auch eine Zeichnung des Messgegenstandes (z.B. Gebäude, Raum oder Fläche) sein, in der die einzelnen Messpunkte angegeben sind.

7. Kriterium für die Zulassung größerer Mittelungsflächen

7.1 Vorgehen

Gemäß Anlage IV Teil D Nr. 5 Satz 2 StrlSchV kann die zuständige Behörde in begründeten Fällen bei der Freigabe von Gebäuden zum Abriss größere Mittelungsflächen als 1 m² zulassen. Da es hierfür keine bundeseinheitlichen Vorgaben gibt, wurde im Rahmen dieses Berichts folgendes Kriterium hergeleitet:

$$(F1) \quad X_M \cdot (1 + 2 \cdot \sigma_r) \leq \text{FGW}$$

X_M = Messwert (Freimessung)

FGW = Freigabewert

σ_r = relative Standardabweichung (Stichprobenmessung), wobei sich die relative Standardabweichung aus der Division der Standardabweichung durch den Mittelwert ergibt

$$(F2) \quad \sigma_r = \frac{\sigma}{x}$$

Die Standardabweichung und der Mittelwert lassen sich dabei durch folgende Rechenoperationen darstellen:

$$(F3) \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

σ = Standardabweichung

x_i = einzelner Messwert der Stichprobenmessungen

n = Anzahl der Stichprobenmessungen

\bar{x} = Mittelwert der Stichprobenmessungen, wobei für \bar{x} gilt:

$$(F4) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Bei der Anwendung dieses Kriteriums sind sowohl die im Kapitel 7.2 genannten Randbedingungen als auch die im Kapitel 7.3 aufgeführten Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Zunächst aber soll das o.g. Kriterium mit Hilfe der beiden folgenden Abbildungen veranschaulicht werden. In beiden Abbildungen bzw. Diagrammen wurde willkürlich ein Freigabewert mit 10 Bq/cm^2 angesetzt. Mit Hilfe der in den Voruntersuchungen gewonnen Messwerte (jeweils 20 Stück) wurde in beiden Beispielen die relative Standardabweichung ermittelt. In einem Fall wurde eine geringe Streuung der Messwerte der Voruntersuchung unterstellt (Abbildung 24), in dem anderen Fall eine gegenüber des ersten Beispiels größere Streuung (Abbildung 25), wobei diese zur Veranschaulichung des Kriteriums nicht quantifiziert werden. Wird der ursprüngliche Freigabewert von 10 Bq/cm^2 durch den Klammerausdruck³ in der Formel (F1) dividiert, so ergibt sich der maximal zulässige Ausschöpfungsgrad des ursprünglichen Freigabewerts. Dieser Wert wurde in das jeweils entsprechende Diagramm als blauer Balken eingetragen. Da mit Hilfe der beiden Diagramme nur eine bildliche Veranschaulichung der o.g. Bedingung bei verschiedenen Streubreiten der Aktivitätsverteilung gegeben werden soll, wurde auf eine Quantifizierung der beiden Werte verzichtet.

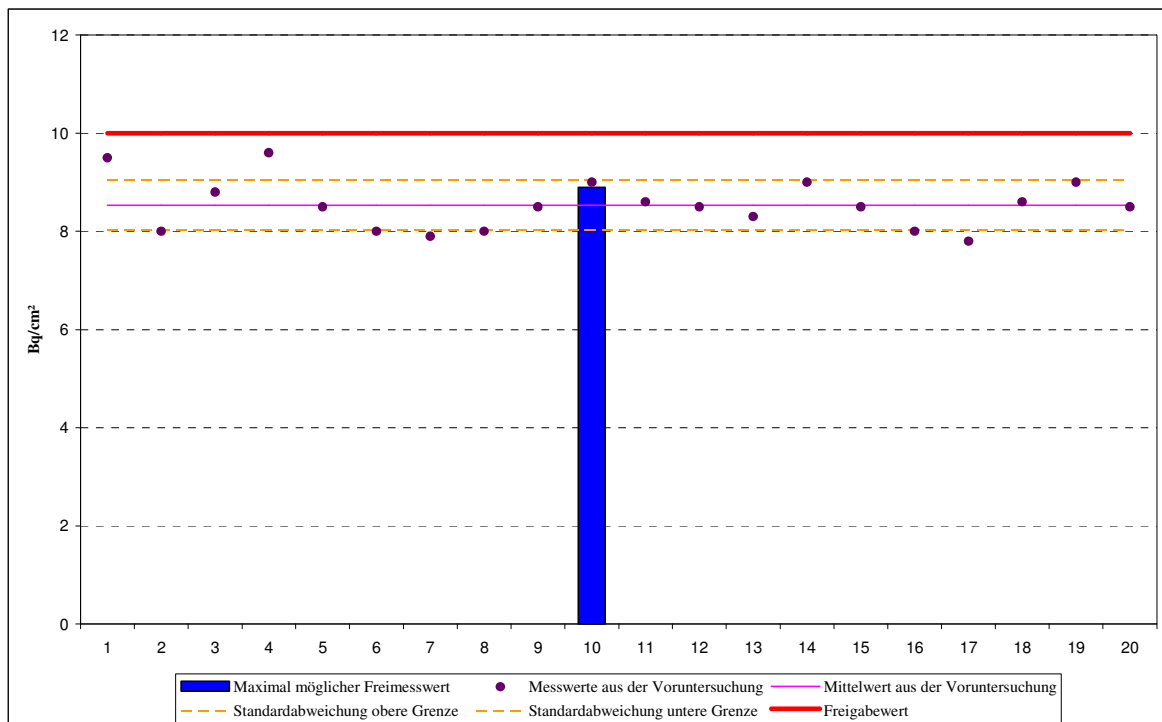


Abb. 24: Kriterium – kleine Streuung

³ Dieser berücksichtigt die Streubreite der Messwerte aus der Voruntersuchung.

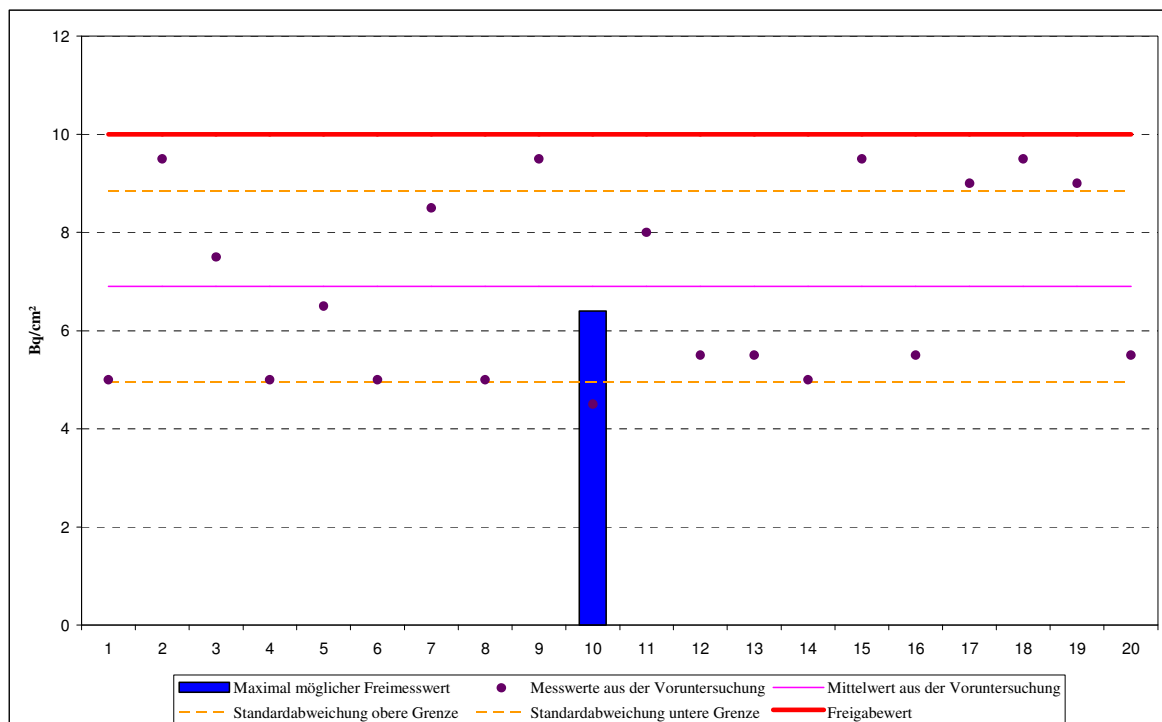


Abb. 25: Kriterium – große Streuung

7.2 Randbedingungen

Bei der Anwendung des o.g. Kriteriums sind folgende Randbedingungen zu beachten:

1. Auf die Größe der von der Strahlenschutzverordnung abweichenden Mittelungsfläche ist im Antrag auf Freigabe bzw. im Freigabeverfahren einzugehen.
2. Die messtechnischen Randbedingungen (z.B. Messzeit) zur Ermittlung der relativen Standardabweichung müssen den eigentlichen Freimessbedingungen entsprechen.
3. Zur Ermittlung der relativen Standardabweichung ist ein repräsentativer Stichprobenumfang beispielsweise im Rahmen der Voruntersuchung zu erheben. Die Zahl der Stichproben soll dabei so gewählt werden, dass die relative Standardabweichung mit ausreichend statistischer Sicherheit ermittelt werden kann. Als Faustregel hierfür gilt, dass mindestens 20 Messergebnisse vorliegen sollen. In Abhängigkeit von der Mittelungsfläche können auch weniger Messergebnisse ausreichend bzw. angemessen sein. Eine Mindestprobenzahl von 5 darf aber nicht unterschritten werden. Als Entscheidungshilfe hierzu können auch die Angaben in Kapitel 4.4 der ISO 11932 „Aktivitätsmessungen an Feststoffen, die

zum Recycling, zur Wiederverwendung oder Beseitigung als nicht-radioaktiver Abfall bestimmt sind⁴ herangezogen werden.

4. Bei der Ermittlung der relativen Standardabweichung sind Messergebnisse unterhalb der Erkennungsgrenze mit dem Wert der Erkennungsgrenze und Messergebnisse oberhalb der Erkennungsgrenze mit dem jeweiligen Messwert gleichzusetzen.
5. Stellen, an denen Messwerte oberhalb der Freigabewerte detektiert werden, sind zunächst zu dekontaminieren, d.h. in die Betrachtung dürfen nur Flächen einbezogen werden, die die Freigabewerte nicht überschreiten.
6. Die Art der Stichprobenmessungen (z.B. direkte Kontaminationsmessung oder Auswertung von repräsentativen Bohrproben) ist dem jeweiligen Anwender überlassen.
7. Über die Art und den Umfang der Stichprobenmessungen sind Aufzeichnungen zu führen, die der Dokumentation über das jeweilige Freigabeverfahren beizufügen sind.

7.3 Einflussfaktoren

Bei der Zulassung größerer Mittelungsflächen kann die **Betriebshistorie**, insbesondere die bisherige Nutzung, Störungen sowie die Feststellung von besonderen Ereignissen und Änderungen innerhalb der Anlage, einen entscheidenden Einfluss haben. Aus diesem Grund sind entsprechende Unterlagen im Rahmen des Antrags auf Zulassung von größeren Mittelungsflächen vorzulegen, zu prüfen und der Entscheidung zu Grunde zu legen. Eine mögliche Vorgehensweise zur Entscheidungsfindung kann die Einteilung der freizumessenden Flächen in bestimmte Verdachtsklassen sein, die die Verteilung der möglichen Kontamination bzw. Aktivierung berücksichtigt.

Die Berechnung der relativen Standardabweichung des Kriteriums geht davon aus, dass es sich bei der **Aktivitätsverteilung** um eine Normalverteilung handelt. Die statistische Auswertung von Stichprobenmessungen aus kontaminierten Flächen zeigt jedoch, dass die Aktivitätsverteilung in der Regel nicht einer Normalverteilung sondern eher einer Log-Normalverteilung entspricht. Ein Teil der Messwerte der Stichprobenmessung kann dabei im Bereich der Erkennungsgrenze liegen. Der Freigabewert selbst darf bei den Stichprobenmessungen nicht überschritten werden. Hieraus folgt, dass die Messwerte in einem relativ eng begrenzten Bereich liegen, in dem

es schwer fällt, die Art der Verteilung festzulegen. Dies gilt auch für Flächen die nur gering (unterhalb des Freigabewertes) kontaminiert sind. Zudem ist in der Praxis die Zahl der vorliegenden Stichprobenmessungen zur Festlegung einer Verteilung nicht groß genug. Der Fehler, der sich ergibt, wenn man anstelle einer Log-Normalverteilung von einer Normalverteilung ausgeht, ist für das Kriterium vernachlässigbar, da er im Bereich von wenigen Prozent liegt. Zur Vereinfachung wird daher empfohlen, zur Berechnung der relativen Standardabweichung eine Normalverteilung zu Grunde zu legen.

Die Größe der Mittelungsfläche wird auch limitiert durch die **räumlichen Gegebenheiten**. Bei der Durchführung von In-situ-Messungen ist ausreichend Platz für das Messgerät und "freie Sicht" auf die zu messende Fläche erforderlich.

8. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Bericht werden verschiedene Messstrategien zu unterschiedlichen Messaufgaben mit Hilfe der In-situ-Gammaspektrometrie beschrieben. Bei den Messaufgaben handelt es sich um Vorgehensweisen zur Gebäudefreimessung und zur Freimessung von Bodenflächen im Rahmen der Freigabe nach § 29 StrlSchV. Dabei werden insbesondere die Anforderungen, die sich sowohl aus der In-situ-Gammaspektrometriemessung grundsätzlich (z.B. Kalibrierung und Qualitätssicherung) als auch aus den Messaufgaben im Einzelnen ergeben, und die Durchführung der Messungen unter Zuhilfenahme zweier gebräuchlicher Messsysteme beschrieben. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass andere Anwendungsfälle, Messstrategien sowie technische Realisierungen als die in diesem Bericht beschriebenen, grundsätzlich möglich sind. Ziel dieses Berichts ist es, alle Betroffenen (Betreiber, Behörden und Sachverständigen) über mögliche Strategien einschl. der daraus resultierenden Einflussgrößen zur Freimessung von Gebäuden und Bodenflächen zu informieren, um ein möglichst einheitliches Verständnis hinsichtlich der Möglichkeiten der In-situ-Gammaspektrometrie zu erreichen.

Die In-situ-Gammaspektrometrie bietet die Möglichkeit, mit nur einer Messung auch sehr große Flächen bis hin zu ganzen Räumen auszumessen. Dagegen schreibt die Strahlenschutzverordnung in Anlage IV Teil D Nr. 3 für die Freimessung von Gebäuden eine Mittelungsfläche von maximal 1 m² vor. In begründeten Fällen kann die zuständige Behörde bei Gebäuden, die nach der Freimessung abgerissen werden sollen, gemäß Anlage IV Teil D Nr. 5 Satz 2 der Strahlenschutzverordnung größere Mittelungsflächen zulassen. Da es hierfür generell und für die In-situ-Gammaspektrometrie speziell keine einheitlichen Vorgaben bzw. Bedingungen gibt, wird im Rahmen dieses Berichts ein Kriterium vorgeschlagen, bei dessen Anwendung nach Auffassung der Verfasser dieses Berichts die Voraussetzungen vorliegen, größere Mittelungsflächen im Freigabeverfahren zuzulassen. Das Kriterium selbst stammt ursprünglich aus der Richtlinie „*Inaktivfreigabe von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen (Freimessrichtlinie)*“ der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) [HSK-R-13/d vom Februar 2002] und hat sich in der Schweiz bewährt, wurde aber im Rahmen dieses Berichts insbesondere um die aufgestellten Randbedingungen modifiziert.