

Versuch 1.11 - Kalibrierung von Kontaminationsmessgeräten

U. J. Schrewe

1. Erläuterungen zum Begriff Kalibrierung

Kalibrierung ist die Überprüfung von Messgeräten, für die es keine gesetzlichen Vorgaben gibt. Eine **Eichung** erfolgt hingegen nach besonderen gesetzlichen Vorgaben (eichrechtlichen Vorschriften). Somit ist Kalibrieren anders als Eichen keine hoheitliche Aufgabe (Eichämter), sondern kann auch vom Anwender selbst vorgenommen werden. Die Notwendigkeit regelmäßiger Kalibrierungen ergibt sich aus den Anforderungen der Qualitätssicherung, wie zum Beispiel in **DIN EN ISO 9001:2000** beschrieben. Bei Strahlungsmessgeräten existiert zusätzlich die Anforderung des **§67** der **Strahlenschutzverordnung** (StrlSchV):

§ 67 Strahlungsmessgeräte

(1) Zur Messung der Personendosis, der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung, der Oberflächenkontamination, der Aktivität von Luft und Wasser und bei einer Freimessung nach § 29 Abs. 3 aufgrund der Vorschriften dieser Verordnung sind, sofern geeichte Strahlungsmessgeräte nicht vorgeschrieben sind, andere geeignete Strahlungsmessgeräte zu verwenden. Es ist dafür zu sorgen, dass die Strahlungsmessgeräte

- 1. den Anforderungen des Messzwecks genügen,*
- 2. in ausreichender Zahl vorhanden sind und*
- 3. regelmäßig auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft und gewartet werden.*

(2) Der Zeitpunkt und das Ergebnis der Funktionsprüfung und Wartung nach Absatz 1 Satz 2 Nr. 3 sind aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind zehn Jahre ab dem Zeitpunkt der Funktionsprüfung oder Wartung aufzubewahren und auf Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen oder bei einer von ihr zu bestimmenden Stelle zu hinterlegen.

(3) Strahlungsmessgeräte, die dazu bestimmt sind, fortlaufend zu messen, um bei Unfällen oder Störfällen vor Gefahren für Mensch und Umwelt zu warnen, müssen so beschaffen sein, dass ihr Versagen durch ein deutlich wahrnehmbares Signal angezeigt wird, sofern nicht zwei oder mehrere voneinander unabhängige Messvorrichtungen dem gleichen Messzweck dienen.

(4) Die Anzeige der Geräte zur Überwachung der Ortsdosis oder Ortsdosisleistung in Sperrbereichen muss auch außerhalb dieser Bereiche wahrnehmbar sein.

Das Wörterbuch der Metrologie verwendet folgende Formulierung zur Beschreibung einer Kalibrierung:

*.....**Kalibrieren** umfasst die Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den ausgegebenen Werten eines Messmittels [...] und den bekannten Werten der Messgröße unter bekannten Bedingungen...*

In der **DIN 1319-1** wird im **Abschnitt 2 Begriffe** folgende Definition für **Kalibrierung** verwendet:

Ermitteln des Zusammenhangs zwischen Messwert oder Erwartungswert der Ausgangsgröße und dem zugehörigen wahren oder richtigen Wert der als Eingangsgröße vorliegenden Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen.

Bemerkungen: Bei der Kalibrierung erfolgt kein Eingriff, der das Messgerät verändert. Das Ergebnis einer Kalibrierung erlaubt auch das Ermitteln oder Schätzen von Messabweichungen des Messgeräts, der Messeinrichtung oder der Maßverkörperung oder die Zuordnung Werten zu Teilstreichen auf beliebigen Skalen.

Bei der Kalibrierung von Kontaminationsmessgeräten gilt nach Anmerkung 2 in der **DIN1319-1** zusätzlich:

*.....es muss der **Zusammenhang** zwischen den Messwerten und dem **vereinbarten richtigen Wert der Messgröße** ermittelt werden.....*

Der geforderte *Zusammenhang* entspricht einem **Kalibrierfaktor** (oder in einigen Fällen einer **Kalibrierfunktion**). Der *vereinbarte richtige Wert der Messgröße* ist bei Kontaminationsmessgeräten die **Oberflächenemissionsrate pro Flächeneinheit** (kurz: **spezifische Oberflächenkontamination**), die von einer homogen kontaminierten, ausgedehnten Referenzfläche ausgeht.

Zusammenfassend ergibt sich: Bei einem kalibrierfähigen Messgerät, dessen Anzeige proportional zur spezifischen Oberflächenkontamination einer Fläche ist, ermittelt man bei der Kalibrierung den Anzeigewert bezüglich einer bekannten spezifischen Oberflächenkontamination auf einer idealen Referenzfläche. Diese ideale Referenzfläche sollte im Idealfall (deutlich) größer als der Detektor sein. Der Quotient aus der bekannten spezifischen Oberflächenkontamination und dem zugehörigen Anzeigewert ist der Kalibrierfaktor. Um eine unbekannte spezifische Oberflächenkontamination zu ermitteln, muss man den Anzeigewert mit dem Kalibrierfaktor multiplizieren. Da typische Kalibrierquellen nicht immer die beschriebenen Eigenschaften für ideale Referenzflächen erfüllen, weil sie oft kleiner sind als die Detektorfenster, muss das Kalibrierverfahren modifiziert werden. Man behilft sich damit, dass man kleinere Quellen in verschiedenen Punkten vor dem Detektorfenster positioniert und über die so bestimmten, ortsabhängigen Kalibrierfaktoren mittelt. Die genauen Mess- und Kalibrierverfahren für Oberflächenkontaminationsmessgeräte werden in **DIN ISO 7503** beschrieben.

2. Erläuterung von Grundbegriffen nach DIN ISO 7503 Teil 1

Nach **DIN 7503 Teil 1** zerlegt man die von einer aktiven Schicht mit der Gesamtaktivität A ausgehende Strahlung in sechs Teilmengen q_i , mit $A = \sum_{i=1,6} q_i$. Die Teilmengen unterscheiden sich entweder nach geometrischen Kriterien oder hinsichtlich ihrer Bedeutung beim Nachweis in einem Kontaminationsmessgerät.

Mit Hilfe der in Tabelle 1 beschriebenen Gruppeneinteilung kann man die in Tabelle 2 angegebenen Begriffsbestimmung vornehmen.

Tab. 1 Gruppeneinteilung verschiedenen Strahlungsanteile aus der Kalibrierquelle.

Gruppe	Name	Beschreibung
1	q_1	Teilchen, die den Detektor unmittelbar erreichen
2	q_2	Teilchen, die den Detektor infolge Rückstreuung aus der Quelle bzw. an der Halterung erreichen.
3	q_3	Teilchen, die eine Quelle in Richtung des oberen 2π -Raumwinkels verlassen, aber den Detektor wegen Absorption in der Luft nicht erreichen.
4	q_4	Teilchen, die in den oberen 2π -Raumwinkel emittiert werden, aber die Quelle wegen Selbstabsorption nicht verlassen.
5	q_5	Teilchen, die eine Quelle in Richtung des oberen 2π -Raumwinkels verlassen, aber aus geometrischen Gründen den Detektor verfehlen.
6	q_6	alle Teilchen, die in den unteren 2π -Raumwinkel emittiert werden, einschließlich rückgestreuter Teilchen, mit Ausnahme der Teilchengruppe 2.

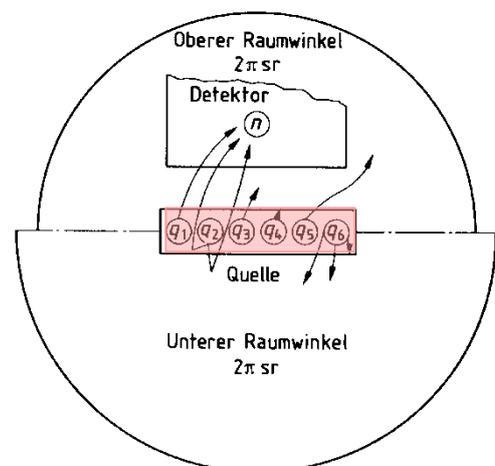


Abb. 1 Querschnitt durch eine Kombination von Kalibrierquelle und Detektor zur Erläuterung der in Tabelle 1 dargestellten Gruppeneinteilung.

Tab. 2 Begriffsbestimmungen

Begriff	Symbol	Einheit	Definition
Aktivität einer Quelle ¹⁾	A	Bq	$A = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$
Oberflächenemissionsrate einer Quelle	$q_{2\pi}$	s^{-1}	$q_{2\pi} = q_1 + q_2 + q_3 + q_5$
Wirkungsgrad einer Quelle	ε_S		$\varepsilon_S = \frac{q_{2\pi}}{A} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}{q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6}$
Ansprechvermögen des Messgerätes	ε_i		$\varepsilon_i = \frac{n - n_B}{q_{2\pi}} = \frac{n - n_B}{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}$
Eigen-Ansprechvermögen des Messgerätes	I_i		$I_i = \frac{n - n_B}{q_1 + q_2}$
Aktivitätsbezogene Impulsrate eines Messgerätes	R_i		$R_i = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_S = \frac{n}{A}$

1) Bei der genannten vereinfachten Definition der Aktivität ist vorausgesetzt, dass bei jedem Zerfallsergebnis genau ein Strahlungsteilchen entsteht.

Die in Tab. 2 definierte **Oberflächenemissionsrate** $q_{2\pi}$ entspricht der Gesamtaktivität A einer Kalibrierquelle minus dem Selbstabsorptionsanteil (Strahlungsanteil q_4) geteilt durch zwei (da der in den unteren Halbraum emittierte Anteil q_6 nicht in $q_{2\pi}$ enthalten ist). Bei der Definition der Nachweiswahrscheinlichkeit nach Methode (1) im Abschnitt 3 wird eine weitere Größe benötigt, die **Oberflächenemissionsrate pro Flächeneinheit** E_{SC} . Diese ist hinsichtlich der enthaltenen Strahlungsanteile aus der Kalibrierquelle analog zu $q_{2\pi}$ definiert, jedoch wird $q_{2\pi}$ auf die aktive Fläche F der Quelle (SC) bezogen:

$$E_{SC} = \frac{q_{2\pi}}{F}$$

mit:

$q_{2\pi}$ = Oberflächenemissionsrate in den Halbraum 2π

F = Fläche der aktiven Schicht der Quelle

3. Kalibriermethoden nach DIN ISO 7503

Methode (1) – Kalibrierung mit großen Quellen: Nach **DIN ISO 7503 Teil 1** kann die Kalibrierung von Kontaminationsmessgeräten mit Hilfe von Kalibrierquellen **bekannter Oberflächenemissionsrate pro Flächeneinheit** E_{SC} durchgeführt werden, sofern die Fläche der Kalibrierquelle größer ist als die Fensterfläche des Kontaminationsmonitors. Dieses Verfahren wird als Kalibriermethode (1) bezeichnet. Zur Bestimmung des über die aktive Fläche W des Kontaminationsmonitors gemittelten Ansprechvermögens $\varepsilon_{(1)}$ dient als Kalibriergleichung (Gl.1):

$$\varepsilon_{(1)} = \frac{n - n_B}{E_{SC} \cdot W} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

n = gemessene Gesamtzählrate (Einheit: s^{-1})

n_B = Nulleffektzählrate (Einheit: s^{-1})

E_{sc} = Oberflächenemissionsrate pro Flächeneinheit
(Einheit: $s^{-1} \text{ cm}^{-2}$)

W = aktive Fensterfläche des Detektors (Einheit: cm^2)

Methode (2) – Kalibrierung mit kleinen Quellen : Oft verwendet man Kalibrierquellen, deren Fläche kleiner ist als die aktive Fensterfläche der Kontaminationsmessgeräte. Nach **DIN ISO 7503 Teil 1** kann in diesem Fall ein mittleres Ansprechvermögen $\bar{\varepsilon}_{(2)}$ durch die Mittelwertbildung über eine Anzahl i einzelner Kalibriermessungen $\varepsilon_{i(2)}$ gewonnen werden, bei denen die Kalibrierquelle an verschiedenen repräsentativen Stellen vor dem Detektorfenster positioniert wird. Für das Ansprechvermögen $\varepsilon_{i(2)}$ der i -ten Einzelmessung nach Kalibriermethode (2) gilt die Kalibriergleichung (Gl. 2):

$$\varepsilon_{i(2)} = \frac{n_i - n_B}{q_{2\pi,sc}} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit:

$\varepsilon_{i(2)}$ = Ansprechvermögen der i -ten Kalibriermessung

$q_{2\pi,sc}$ = Oberflächenemissionsrate der Quelle (SC)

Für das mittlere Ansprechvermögen $\bar{\varepsilon}_{(2)}$ aus N Einzelkalibrierungen $\varepsilon_{i(2)}$ gilt:

$$\bar{\varepsilon}_{(2)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1,N} \varepsilon_{i(2)} \quad (\text{Gleichung 3})$$

FHT 111 M

Abb. 2 Die Abbildung zeigt die Geometrieverhältnisse am Beispiel eines speziellen Detektors (FHT111M):

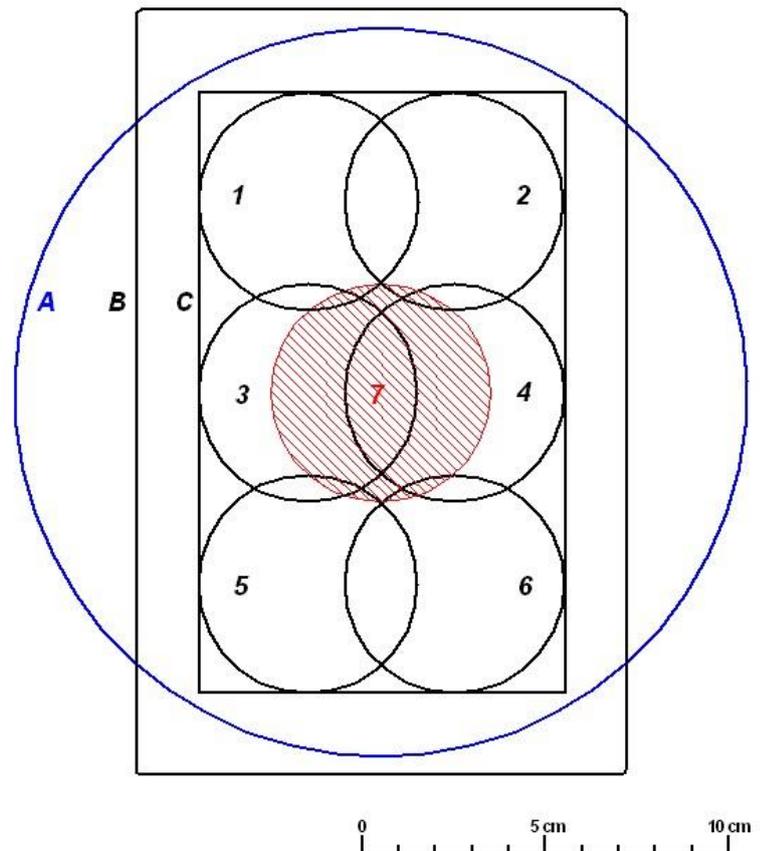
A = „große“ Kalibrierquelle (BH218)

B = äußerer Rand des Detektors

C = Detektorfensterfläche

1 – 7 = Messpositionen für die „kleinen“ Kalibrierquellen (BH220, BH219)

Man erkennt, dass mit der „großen“ Quelle die Kalibriermethode (1) verwendet werden kann. Die kleinen Quellen werden in den Positionen 1 – 6 positioniert, um den geometrischen Kalibrierfaktor (siehe Gl. 5) zu bestimmen. Die zentrale Position 7 dient als Referenzposition. Die Kalibrierung erfolgt nach der Methode (2) unter Verwendung von Gl. 4.



4. Kontaminationsmessgeräte

Im Labor für Radioökologie und Strahlenschutz werden mehrere unterschiedliche Kontaminationsmessgeräte und verschiedene Kalibrierquellen verwendet. Die wichtigen Geräteparameter sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Hinweise zum Laborversuch: Aus Zeitgründen können während eines Labortermins nicht alle möglichen Kombinationen von Messgeräten und Kalibrierquellen untersucht werden. Aus diesem Grund sollen die neuen Oberflächenkontaminationsmonitore (**LB1233** und **FHT111M**, beide mit Digitalanzeige und dünnen Eingangsfensterfolien), nach beiden Verfahren, die in DIN ISO /503 beschrieben sind, kalibriert werden. Für die älteren, analog anzeigenden Geräte (**LB1210B** und **FHT111G**), die Proportional-Endfenstersonde (**LB1238**) und die Tritium-Sonde (**LB1239**) soll nur jeweils ein repräsentativer Wert des Ansprechvermögens bestimmt werden soll (wählen Sie an Hand der Detektor- und Quellenspezifikation die geeignete Quelle aus). Der Versuchsbetreuer wird Sie in die Gerätebedienung einweisen. Ausführliche Bedienungsanleitungen sind im Internet verfügbar.

Achtung: Die Fensterfolien der Kontaminationsmessgeräte sind sehr empfindlich! Sie dürfen auf keinen Fall berührt oder mit spitzen Gegenständen verletzt werden.

Tab. 3 Zusammenstellung der Gerätebezeichnungen und der wichtigen Parameter der Kontaminationsmessgeräte.

Nr	Typenbezeichnung	Hersteller	Anzeigart	Strahlenarten	Geräte- bzw. Inventarnummer	Zählrohrtyp Zählgas	Fenster: Material Dicke mg/cm ²	Fensterfläche cm ²
1	LB1210B	Berthold	analog	$\beta + \gamma$	IL 259 a	ZFG Xenon	Ti 5	100
2	FHT111G	Thermo	analog	α $\beta + \gamma$	42481/70 42418/20	ZFG Butan	Me-K 0,9	112
3	LB1233	Berthold	digital	α $\beta + \gamma$	IL 383	ZGF P10	Me-K 0,3	209
4	LB1239	Berthold	digital	weiche β , (³ H- β)	172741- 1113	ZGF P10	Offen 0	22,17 ¹⁾ 1,77 ²⁾
5	LB1238	Berthold	digital	α $\beta + \gamma$	6038	ZFG	2	6,16
6	FHT111M	Thermo	digital	α $\beta + \gamma$	IL310	ZGS Butan	Me-K 0,9	166
7	CoMo-170	Nuvia	digital	α $\beta + \gamma$	8761	Platikszi- n- tillation		170

ZGF - Gasdurchflusszählrohr, ZGS - Zählrohr mit Gasspüleinrichtung, ZFG - Zählrohr mit fester Gasfüllung, Me-K - metallisierte Kunststoffolie

¹⁾ Fensterfläche ohne Blende, ²⁾ Fensterfläche mit Blende \varnothing 1,5 cm

Abb. 3 Das Bild zeigt die beiden analog anzeigenden älteren Kontaminationsmessgeräte **Nr. 1** und **Nr. 2 LB1210B** und **FHT111G**.



Abb. 4 Im Bild werden das Kontaminations-messgerät **Nr. 3 LB1233** und die elektronische Bedieneinheit, UMO – Universeller Monitor für den Strahlenschutz, dargestellt. Der **LB1233** ist ein Monitor speziell zur Untersuchung von Kontaminationen auf Flächen.



Abb. 5 Das Bild zeigt die Tritiumsonde **Nr. 4 LB1239** zusammen mit dem UMO. Erkennbar ist die fensterlose Öffnung der Tritiumsonde, die nur mit einem sehr dünnen Gitter versehen ist. (Behandeln Sie deshalb die Sonde mit besonderer Vorsicht.)



Abb. 6 Im Bild erkennt man wieder den UMO, diesmal in Kombination mit der Proportional-Endfenstersonde **5 LB1238**. Die Sonde ist besonders geeignet für die Untersuchung von Hohlräumen und Rohrleitungen.



Abb. 7 Im Bild rechts ist der Kontaminationsmonitor **Nr. 6 FHT111M** gezeigt. Der **FHT111M** ist ähnlich wie der in **Abb. 2** dargestellte **LB1233** Monitor besonders für die Untersuchung von Kontaminationen auf größeren Flächen geeignet.



Abb. 8 Im Bild rechts ist der Kontaminationsmonitor **Nr. 7 CoMo-170** auf dem Wischtestmessplatz (Zubehör) gezeigt. Der **CoMo-170** ist ähnlich wie der in **Abb. 2** dargestellte **LB1233** Monitor besonders für die Untersuchung von Kontaminationen auf größeren Flächen geeignet. Besonders vorteilhaft ist die gleichzeitige Anzeige der α und β Impulsrate.



5. Kalibrierquellen und ihre Verwendung

Für die Kalibrierung der Kontaminationsmonitore stehen verschiedene Kalibrierquellen zur Verfügung. Die wichtigsten Quellenparameter finden Sie in der Tabelle 4.

Achtung: Um eine Kontamination von Personen und Geräten zu vermeiden, sollte eine Person Schutzhandschuhe tragen und mit diesen ausschließlich die Kalibrierquellen berühren, nicht jedoch Laboreinrichtungen und Geräte.

Tab. 4 Kalibrierquellen zur Bestimmung von spezifischen Oberflächenkontaminationen mit Hilfe von Oberflächenkontaminationsmessgeräten.

Labor für Radioökologie und Strahlenschutz

Prof. Dr. Ulrich J. Schrewe
Ricklinger Stadtweg 120, D-30459 Hannover
Tel.: 0511/ 9296-1359
Email: ulrich.schrewe@hs-hannover.de

	Nuklid	Hersteller	Nr.	$A^{1)}$ Bq	$q_{2\pi}^{1)}$ s^{-1}	Bezugsdatum	Geometrie	F cm^2
1	3H	QSA Global	PD951 ^{*)}	10^4	141	12.06.2007	Rechteck 15,2 x 1,5 cm^2	22,32 ²⁾
			MU801 ⁺⁾		173	23.09.2004		
2	^{14}C	Amersham	BU164	ca. 100	nicht bekannt	~ 1980	Kreis, R = 1,425cm	6,4
3	^{90}Sr	Amersham	BH220	1040	1169	15.08.1988	Kreis R = 3 cm	27,0
4	^{238}Pu	Amersham	BH219	900	429	15.08.1988	Kreis R = 3 cm	27,0
5	^{238}Pu	Amersham	BH218	1110	527	05.08.1988	Kreis R ~ 10 cm	304,8
6	^{241}Am	QSA Global	OT718	849	408	11.12.2006	Quadrat 100 cm^2	100,0

¹⁾ Die Werte für die Aktivität A und die Oberflächenemissionsrate $q_{2\pi}$ beziehen sich auf das angegebene Bezugsdatum. Die Werte müssen mit Hilfe des Zerfallsgesetzes auf die am Messtag gültigen umgerechnet werden
²⁾ Die angegebene Fläche F ist kleiner als die Rechteckfläche, da die Ecken abgerundet sind.

^{*)} Kalibrierquelle der FH-Hannover; ⁺⁾ Kalibrierquelle des NLWKN, verwendet als Vergleichsquelle.

Abb. 9 Das Bild zeigt die Kalibrierquellen **Nr. 3** und **Nr. 4**, **BH220** (^{90}Sr , R = 3 cm) und **BH219** (^{238}Pu , R = 3 cm) auf der linken Seite und die **Nr. 6** **OT718** (^{241}Am , 10 x 10 cm^2) rechts.



Abb. 10 Das Bild zeigt auf der linken Seite die Kalibrierquelle **Nr. 1** **PD951**, in der Mitte **Nr. 2** **BU164** (^{14}C , R = 1,4 cm) auf der rechten Seite **Nr. 5** **BH218** (^{238}Pu , R = 10 cm).



Die verschiedenen Kalibrierquellen werden in folgender Weise verwendet:

- a. Die Kalibrierquelle **Nr. 5** **BH218** hat einen Durchmesser von ca. 20 cm. Die aktive Fläche ist größer als die Fensterfläche des **FHT111M** Kontaminationsmonitors, so dass

die Kalibriermethode (1) entsprechend **Gleichung (1)** verwendet werden kann. Die aktive Fensterfläche des **LB1233** kann nicht vollständig von der Kalibrierquelle **BH218** bedeckt werden. Der nicht erfasste Flächenanteil beträgt jedoch nur 1%, so dass die Methode (1) zwar verwendet werden kann, aber das gemessene Ansprechvermögen mit dem Faktor $k_1 = 1,01$ korrigiert werden muss.

b. Zur Vereinfachung wird der Kalibriervorgang nach Methode (2) in zwei Schritte zerlegt, wobei die Gleichung (Gl. 2) durch die Gleichungen (Gl. 3) und (Gl. 4) ersetzt werden :

- i. Während des Messbetriebs werden die Kontaminationsmonitore routinemäßig mit einer kleinen kreisförmigen Kalibrierquelle (**BH220** oder **BH219**, mit Radius $R \cong 3\text{ cm}$ und Fläche $A = 27\text{ cm}^2$) geprüft, wobei die Quelle die im Zentrum des Detektorfensters positioniert wird (vergleiche Position 7 in Abb. 2). Mit diesen regelmäßig wiederholten Messungen soll die Konstanz und die Reproduzierbarkeit der Detektoreigenschaften geprüft werden. Das Ansprechvermögen des Kontaminationsmonitor für die zentrale Positionierung der Kalibrierquelle wird als $\varepsilon_{Z(2)}$ bezeichnet.
- ii. Die Änderung des Ansprechvermögens über die Fensterfläche wird mit Hilfe eines Kalibrierfaktor k_g berücksichtigt ($k_g =$ geometrischer Kalibrierfaktor), wobei k_g das Verhältnis des mittleren Ansprechvermögens $\bar{\varepsilon}_{(2)}$ und des zentralen Ansprechvermögens $\varepsilon_{Z(2)}$ ist. (Der Index (2) bezieht sich auf die Kalibriermethode (2) entsprechend Gleichung 2 und Gleichung 3). Es gilt dann für $\bar{\varepsilon}_{(2)}$:

Es gilt:
$$\bar{\varepsilon}_{(2)} = \varepsilon_{Z(2)} \cdot k_g \quad \text{(Gleichung 4)}$$

mit
$$\varepsilon_{Z(2)} = \frac{n_Z - n_B}{q_{2\pi,sc}} \text{ - gemessen im Detektorzentrum,}$$

und
$$k_g = \frac{\bar{\varepsilon}_{(2)}}{\varepsilon_{Z(2)}} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1,N} n_i - n_B}{n_Z - n_B} \quad \text{(Gleichung 5)}$$

wird geometrischer Kalibrierfaktor genannt. Die i -Messpositionen der Quelle zur Bestimmung des geometrischen Kalibrierfaktors können der Abb. 2 oder den Abbildungen Abb. A1 und Abb. A2 im Anhang entnommen werden.

Festlegung der effektiven Fensterfläche der Kontaminationsmonitore: Bei der Anwendung der Kalibriermethode (1) nach Gleichung 1 wird die aktive Fensterfläche W benötigt, nicht jedoch bei der Methode (2) nach Gleichung 2 u. 3. Verwendet man die Kalibrierfaktoren zur Bestimmung unbekannter spezifischer Oberflächenkontaminationen an, so wieder durch die aktive Fensterfläche dividiert (Gleichung 6). Das Ergebnis für die spezifische Oberflächenkontamination ist also bei Anwendung der Kalibriermethode (1) unabhängig, bei Anwendung der Kalibriermethode (2) jedoch abhängig von der richtigen Bestimmung der Fensterfläche W . Sowohl beim **LB1233** als auch beim **FHT111M** existiert ein Fensterausschnitt, dessen Fläche dem größtmöglichen Fensterflächenwert entspricht. Vor dem Zählrohr ist jedoch eine weitere, kleinere Randbegrenzung erkennbar. Während der Hersteller des **FHT111M** die innere kleiner Fensterfläche als nominelle Fläche angibt (**FHT111M**: nominelle Fenstergröße $W = 166 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 166 \text{ cm}^2$), gibt der Hersteller des **LB1233** den größeren Fensterausschnitt an (**LB1233**: nominelle Fenstergröße $W = 120 \text{ mm} \times 190 \text{ mm} = 228 \text{ cm}^2$. Die kleinere innere flächen beträgt beim LB1233 $118 \text{ mm} \times 177 \text{ mm} = 209 \text{ cm}^2$. Abweichung: ca. 8%). Wir verwenden zur Kalibrierung und zur Messung unbekannter Oberflächenkontaminationswerte die Herstellerangaben: Für den **LB1233**: $W = 209 \text{ cm}^2$ und für **FHT111M**: $W = 166 \text{ cm}^2$.

6. Ergebnisse der Kalibrierungsmessungen

Tab. 5 Bestimmung des Ansprechvermögens für α -Strahlung mit der α -Quelle **BH218** ($D = 20$ cm) und der ^3H -Quelle **PD951** nach Kalibriermethode (1)

Detektor	Quelle	n s^{-1}	n_B s^{-1}	E_{sc} $\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$	W cm^2	k_1	$\bar{\varepsilon}_{(1)} = \frac{n - n_B}{E_{sc} \cdot W} \cdot k_1$
LB1233	BH218	83	0	1,493	209	1,01	0,269
FHT111M	BH218	115	0	1,493	166	1,00	0,464
LB1239	PD951^{*)}	13,5 ¹⁾	1,5	6,10	1,77	1,00	1,120 ¹⁾
		122,3 ²⁾	1,5	6,10	22,17	1,00	0,893 ²⁾
	MU801^{+))}	15,4 ¹⁾	1,5	6,80	1,77	1,00	1,150 ¹⁾
		122,7 ²⁾	1,5	6,80	22,17	1,00	0,804 ²⁾

^{*)} Kalibrierquelle der FH-Hannover; ^{+))} Kalibrierquelle des NLWKN, verwendet als Vergleichsquelle.

¹⁾ Messung mit Lochblende $\varnothing 1,5$ cm, ²⁾ Messung ohne Blende

Tab. 6 Bestimmung des geometrischen Kalibrierfaktors k_g für verschiedene α - und ($\beta + \gamma$)-Strahlungsquellen zur Anwendung von Kalibriermethode (2)

Kalibrierquelle		Geometrie der Quelle	geometrischer Kalibrierfaktor k_g	
Nuklid	Nr.		LB1233	FHT111M
^{90}Sr	BH220	Kreis $\varnothing 6$ cm	0,876	0,895
^{238}Pu	BH219	Kreis $\varnothing 6$ cm	0,867	0,905
^{241}Am	OT718	Quadrat 10 cm	0,927	1,022

Tab. 7 Bestimmung des zentralen α und ($\beta + \gamma$)-Ansprechvermögens $\varepsilon_{Z(2)}$ für **LB1233** und **FHT111M** nach Kalibriermethode (2)

Kalibrierquelle		Geometrie der Quelle	Bestimmung des zentralen Ansprechvermögens $\varepsilon_{Z(2)}$			
Nuklid	Nr.		n_Z / s^{-1}	n_B / s^{-1}	$q_{2\pi,sc} / \text{s}^{-1}$	$\varepsilon_{Z(2)} = \frac{n_Z - n_B}{q_{2\pi,sc}}$
LB1233						
^{90}Sr	BH220	Kreis $\varnothing 6$ cm	400	7,2	748,7	0,460
^{238}Pu	BH219	Kreis $\varnothing 6$ cm	114	0	370	0,308
^{241}Am	OT718	Quadrat 10 cm	122	0	408	0,299
FHT111M						
^{90}Sr	BH220	Kreis $\varnothing 6$ cm	713	5,6	749	0,944
^{238}Pu	BH219	Kreis $\varnothing 6$ cm	210	0	370	0,568
^{241}Am	OT718	Quadrat 10 cm	206	0	408	0,505

Tab. 8 Bestimmung des mittleren Ansprechvermögens $\bar{\varepsilon}_{(1)}$ nach Kalibriermethode (Gl. 1) oder $\bar{\varepsilon}_{(2)} = \varepsilon_{Z(2)} \cdot k_g$ nach Kalibriermethode (Gl.2 u. 4) für **FHT111M** und **LB1233**

Kalibrierquelle			Methode	mittleres Ansprechvermögen $\bar{\varepsilon}_{(1)}$ oder $\bar{\varepsilon}_{(2)}$	
Nuklid	Nr.	Geometrie		LB1233	FHT111M
⁹⁰ Sr	BH220	Kreis Ø 6 cm	(2)	0,403	0,845
²³⁸ Pu	BH218	Kreis Ø 20 cm	(1)	0,269	0,464
²³⁸ Pu	BH219	Kreis Ø 6 cm	(2)	0,267	0,514
²⁴¹ Am	OT718	Quadrat 10 cm	(2)	0,277	0,516

Tab. 9 Zusammenfassung der Ergebnisse: Ansprechvermögen $\bar{\varepsilon}$ als Mittelwert verschiedener Messungen mit z. T. verschiedenen Verfahren und Quellen.

Kontaminationsmonitor	Strahlungsart	Blende	Ansprechvermögen $\bar{\varepsilon}$
LB1233	α	-	0,271, $\pm 7\%$ ^{*)}
	$\beta + \gamma$	-	0,403, $\pm 7\%$ ^{*)}
FHT111M	α	-	0,498, $\pm 7\%$ ^{*)}
	$\beta + \gamma$	-	0,845, $\pm 7\%$ ^{*)}
LB 1239	Weiche β	Ø 1,5 cm	1,14, $\pm 10\%$ ^{*)1)}
	(³ H-Zerfall)	-	0,85, $\pm 10\%$ ^{*)2)}

^{*)} Die Unsicherheitsangabe entspricht der mit dem Faktor zwei erweiterten Standardmessunsicherheit (entspricht Erwartungswert von 95% für 2- σ Intervall). Sie ergibt sich als Kombination statistischer und geschätzter unbekannter systematischer Unsicherheit nach DIN1319-3.

⁺⁾ Für das Tritiumansprechvermögen des LB1239 wurden die Mittelwerte aus den Messungen mit den Quellen MU801 und PD951 angegeben (siehe Tabelle 5)

¹⁾ Messung mit Lochblende Ø 1,5 cm, ²⁾ Messung ohne Blende

Interpretation: Die Kontaminationsmessgeräte LB1233 und FHT111M zeigen deutliche Unterschiede im Ansprechvermögen (Faktor ~2). Der LB1233 hat zwar eine größere Fensterfläche im Vergleich mit dem FHT111M, aber er besitzt ein Stabilisierungsgitter in der Fensteröffnung, das einen signifikanten Anteil von auftreffender Teilchenstrahlung absorbieren kann. Erkennbar ist auch, dass α -Strahlung in der Fensterfolie stärker absorbiert wird als ($\beta + \gamma$)-Strahlung, was sowohl beim LB1233 als auch beim FHT111M zu einem deutlich kleineren α -Ansprechvermögens führt. Das Ansprechvermögen des fensterlosen Tritiumdetektors für ³H β -Strahlung ist ohne Zusatzblende mit 85% ähnlich groß wie das des FHT111M für ($\beta + \gamma$)-Strahlung mit 84,5%. Setzt man eine kreisförmige Blende vor die Fensteröffnung des Tritiumdetektors, so steigt das Ansprechvermögen auf 116%. Ein Ansprechvermögen über 100% bedeutet, dass der Detektor mehr Teilchen nachweist, als nomi-

nell aus einer Kreisfläche, die einen Durchmesser von 1,5 cm und gleiche Oberflächenemissionsrate pro Flächeneinheit wie die Kalibrierquelle besitzt, ausgesandt werden. Ursache hierfür ist die geometrische Anordnung von Quelle, Blende und Detektor. Da die Blende einen endlichen Abstand von Detektor und Kalibrierquelle hat, können schräg laufende β -Teilchen aus einer Fläche größeren als der Blendenöffnungsfläche entspricht in den Detektor gelangen.

7. Anwendung der Ergebnisse zur Festlegung einer Grenzzählrate

Nach den verkehrsrechtlich zulässigen Kontaminationsgrenzwerte (entsprechend lauten auch die Vorgaben der Landessammelstelle) müssen die spezifischen Oberflächenaktivitäten auf Versandstücken für α -Strahlung kleiner als $A_{S,grenz} = 0,04 \text{ Bq cm}^{-2}$ und für β -Strahlung kleiner als $A_{S,grenz} = 0,4 \text{ Bq cm}^{-2}$ sein. Diese Grenzwerte unterschreiten bzw. entsprechen den nuklidspezifischen Grenzwerte der Spalten 4 und 8 der Tabelle 1 in Anlage III der StrlSchV. Für Tritium werden deutlich höhere nuklidbezogene Wert angegeben:

$A_{S,grenz} = 100 \text{ Bq cm}^{-2}$ in Spalten 4 Tabelle 1 in Anlage III der StrlSchV und

$A_{S,grenz} = 1000 \text{ Bq cm}^{-2}$ in Spalten 8 Tabelle 1 in Anlage III der StrlSchV. Im Folgenden sollen die Anzeigewerte n_{grenz} bestimmt werden, bei der die genannte Forderung konservativ eingehalten werden können.

Aktivität pro Flächeneinheit:

$$A_S = \frac{n_{gem} - n_B}{\bar{\epsilon} \cdot W \cdot \epsilon_S} \text{ nach DIN ISO 7503, (Gleichung 6)}$$

mit

n_{gem} = gemessene Gesamtzählrate

n_B = Nulleffektzählrate

$\bar{\epsilon}$ = mittleres Ansprechvermögen des Detektors

W = aktive Fensterfläche des Detektors

ϵ_S = Wirkungsgrad der Kontaminationsquelle.

Für die Grenzzählrate ergibt sich die Beziehung:

$$n_{grenz} = A_{S,grenz} \cdot \bar{\epsilon} \cdot W \cdot \epsilon_S + n_B$$

Nach DIN ISO 7503 ist für α -Strahlung und β -Strahlung mit $0,15 \text{ MeV} < E_{\beta\text{max}} < 0,4 \text{ MeV}$ der Wirkungsgrad $\varepsilon_S = 0,25$ und für β -Strahlung mit $E_{\beta\text{max}} > 0,4 \text{ MeV}$ der Wirkungsgrad $\varepsilon_S = 0,5$ zu verwenden. Für die weiche β -Strahlung aus dem Zerfall des ^3H mit $E_{\beta\text{max}} = 0,019 \text{ MeV}$ wird in der Norm keine Empfehlung für den Wirkungsgrad der Kontaminationsquelle gegeben. In Tabelle 10 wurde $\varepsilon_S = 0,25$ verwendet.

Tab. 10 Grenzzählrate für die α - und $\beta+\gamma$ -Messkanäle der Kontaminationsmonitore **LB1233** und **FHT111M** bezogen auf die Grenzwerte für die spezifische Oberflächenkontamination von $0,04 \text{ Bq cm}^{-2}$ für α -Strahlung und $0,4 \text{ Bq cm}^{-2}$ für β -Strahlung. Für die Grenzzählrate des Tritium-Kontaminationsmonitors LB1239 wurde sowohl der nuklidspezifische Grenzwert für ^3H nach StrlSchV von 100 Bq cm^{-2} als auch der allgemeine verkehrsrechtliche Grenzwert verwendet.

Detektor	Strahlung	Blende	$A_{S,\text{grenz}} / \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$	$\bar{\varepsilon}$	W / cm^2	ε_S	n_B / s^{-1}	$n_{\text{grenz}} / \text{s}^{-1}$
LB1233	α	-	0,04	0,271	209	0,25	0	$0,57 \pm 0,04$
	$\beta \pm \gamma$	-	0,4	0,403	209	0,5	7,2	24 ± 2
FHT111M	α	-	0,04	0,498	166	0,25	0	$0,83 \pm 0,06$
	$\beta \pm \gamma$	-	0,4	0,845	166	0,5	5,6	34 ± 2
LB1239	Weiche β (^3H)	$\varnothing 1,5 \text{ cm}$	100	1,14	1,77	0,25	1,5	52 ± 5
	Weiche β (^3H)	-	100	0,85	22,17	0,25	1,5	472 ± 47

Weitere Hinweise

In der [Strahlenschutzverordnung](#): finden Sie weitere Information zur Oberflächenkontamination im §39 (*Messtechnische Überwachung von Strahlenschutzbereichen*) und im §44 (*Kontamination und Dekontamination*). Grenzwerte für die erlaubte Oberflächenkontaminationen bei der nach §29 (*Freigabe*) finden Sie in der Anlage III Tabelle 1 der StrlSchV.

Zur Bestimmung einer Oberflächenkontamination ist die [DIN ISO 7503 Teil 1 und Teil 2](#) anzuwenden.

Die Halbwertszeiten der Nuklide können Sie aus der Nuklidkarte entnehmen oder unter folgender Web-Adresse erhalten: <http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm>

Fragen zum Versuch:

1. Was ist eine Oberflächenkontamination?
2. Welche Einheit wird zur Angabe einer Oberflächenkontamination verwendet?
3. Was ist eine fest-haftende, was eine nicht-fest-haftende Oberflächenkontamination?
4. Was bezeichnet man als Aktivität, was als Oberflächenemissionsrate einer Quelle?
5. Welche Verfahren zur Bestimmung von Oberflächenkontaminationen können Sie nennen? Wie kann man die Kontamination an einem Strahlungsquellenbehälter oder einem Transportbehälter (z. B. Castor) messen?

Aufgaben zur Auswertung:

1. Bestimmen Sie die Oberflächenemissionsrate der Quellen vor Versuchsbeginn.
2. Messen Sie den Nulleffekt mit einer Unsicherheit $< 1\%$.
3. Bestimmen Sie für die Kontaminationsmonitore **CoMo170** und **LB1233** oder **FHT111M** das Ansprechvermögen nach beiden Kalibrierverfahren (Gleichung 1 und Gleichung 2).
4. Bestimmen Sie für die anderen Kontaminationsmonitore jeweils einen Wert für das Ansprechvermögen. Entscheiden Sie selbst, welches Verfahren gewählt werden soll.
5. Messen Sie die Impulsraten auf verschiedenen Materialien (Fensterbank Fußboden, Holztisch, Metallplatten Pb Cu Fe, Exikator).
6. Führen Sie in den Laborräumen Kontaminationsmessungen durch und überlegen Sie welche Stellen besonders verdächtig sein könnten.
7. Berechnen Sie (für die Beispielobjekte) mit Hilfe der Gleichung (6) aus den Messergebnissen und ihren Kalibrierdaten die spezifische Oberflächenkontamination.
8. Welche Oberflächenemissionsrate besitzt die ^{14}C Kalibrierquelle?

Zusätzliche Hinweise:

Die Detektoren sind mit allergrößter Sorgfalt zu behandeln! Die Strahleneintrittsfenster sind sehr empfindlich. Sie bestehen zum Teil aus aluminiumbedampften Kunststofffolien mit Flächenmassen zwischen $0,4 \text{ mg/cm}^2$ und $0,9 \text{ mg/cm}^2$. Die Reparaturkosten sind erheblich, zum Teil bei ca. 1000 €.

Die Aktivität der Kalibrierquellen ist in die Eloxalschicht einer $0,3 \text{ mm}$ dicken Aluminiumfolie implantiert. Die Dicke der Schicht, die das radioaktive Material enthält, beträgt ca. $6 \mu\text{m}$. Die Folien sind in einen Rahmen gefasst, der zwar herstellenseitig frei von Radioaktivität ist, aber aus Sicherheitsgründen als potentiell radioaktiv kontaminiert betrachtet werden soll. Schutzhandschuhe tragen! Die Oberflächen dürfen nicht berührt werden Die Preise der Kalibrierquellen liegt zwischen 600 bis 2700€

Anhang:

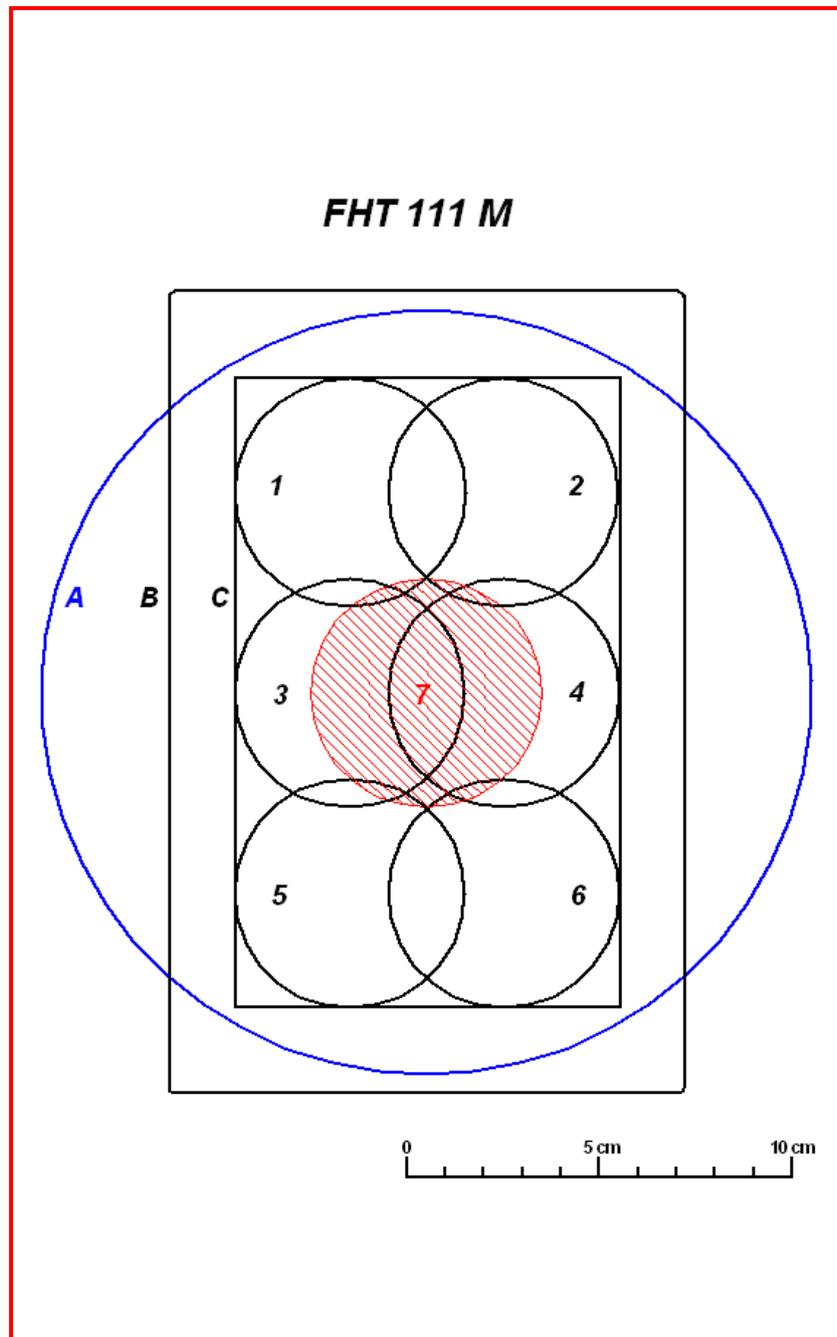


Abb. A1 Geometrischer Darstellung der verschiedenen Kalibrierquellenflächen und Positionen zusammen mit der Detektorfensterfläche des **FHT111M** (Rechteck C). Die α -Kalibrierquelle BH218 (blauer Kreis A, ^{238}Pu , $R = 10\text{ cm}$) überdeckt die Fensterfläche vollständig. Zur Bestimmung des geometrischen Kalibrierfaktors werden die Kalibrierquellen BH220 (^{90}Sr , $R = 3\text{ cm}$) und BH219 (^{238}Pu , $R = 3\text{ cm}$) in den Positionen 1 bis 6 gemessen. Die zentrale Position 7 dient zur routinemäßigen Überprüfung der Detektoreigenschaften.

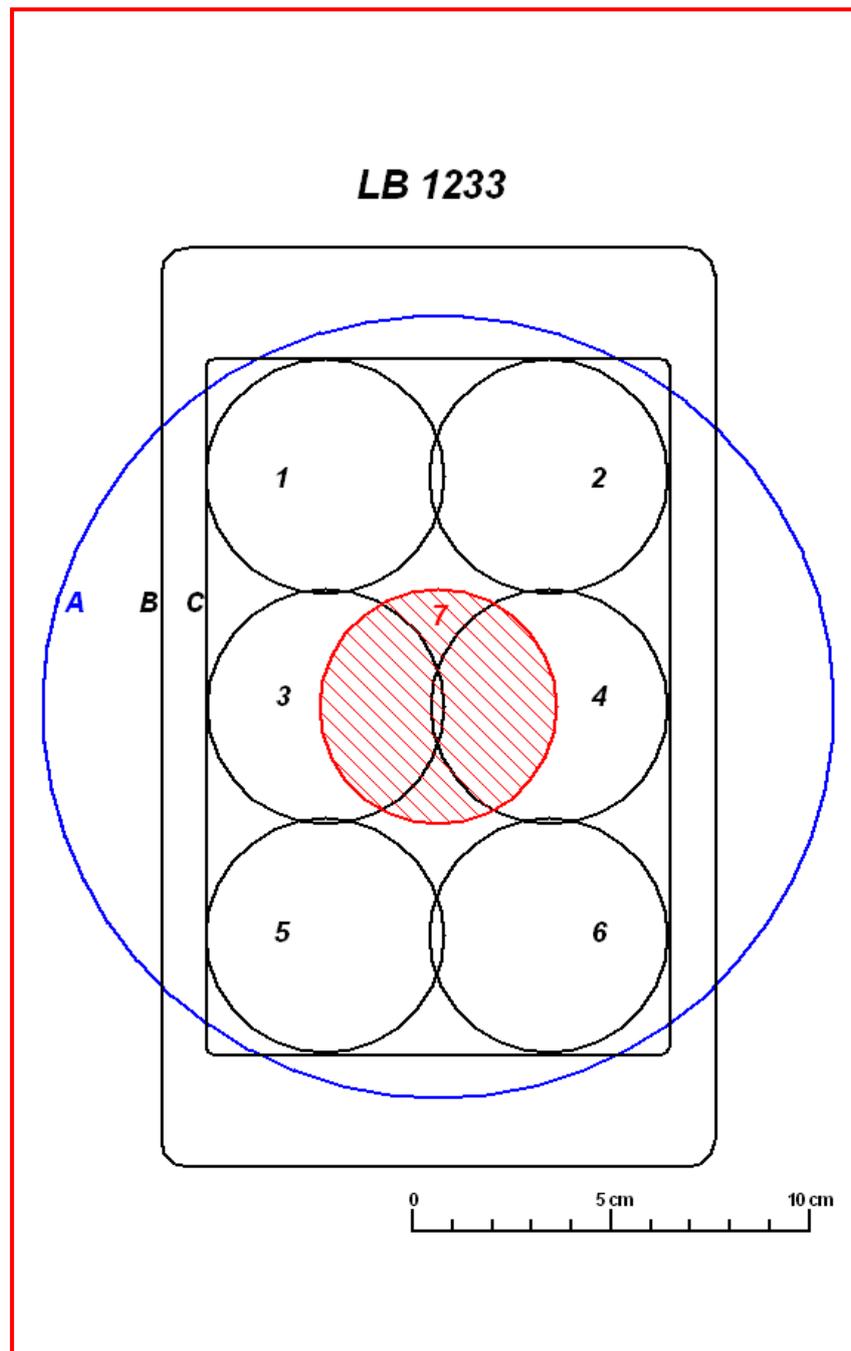


Abb. A2 Geometrischer Darstellung der verschiedenen Kalibrierquellenflächen und Positionen zusammen mit der Detektorfensterfläche des **LB1233** (Rechteck C). Die α -Kalibrierquelle BH218 (blauer Kreis A, ^{238}Pu , $R = 10\text{ cm}$) überdeckt die Fensterfläche nicht vollständig. Die Abweichung ist aber gering, ca. 1%. Zur Bestimmung des geometrischen Kalibrierfaktors werden die Kalibrierquellen BH220 (^{90}Sr , $R = 3\text{ cm}$) und BH219 (^{238}Pu , $R = 3\text{ cm}$) in den Positionen 1 bis 6 gemessen. Die zentrale Position 7 dient zur routinemäßigen Überprüfung der Detektoreigenschaften.

Nuvia

CoMo-170

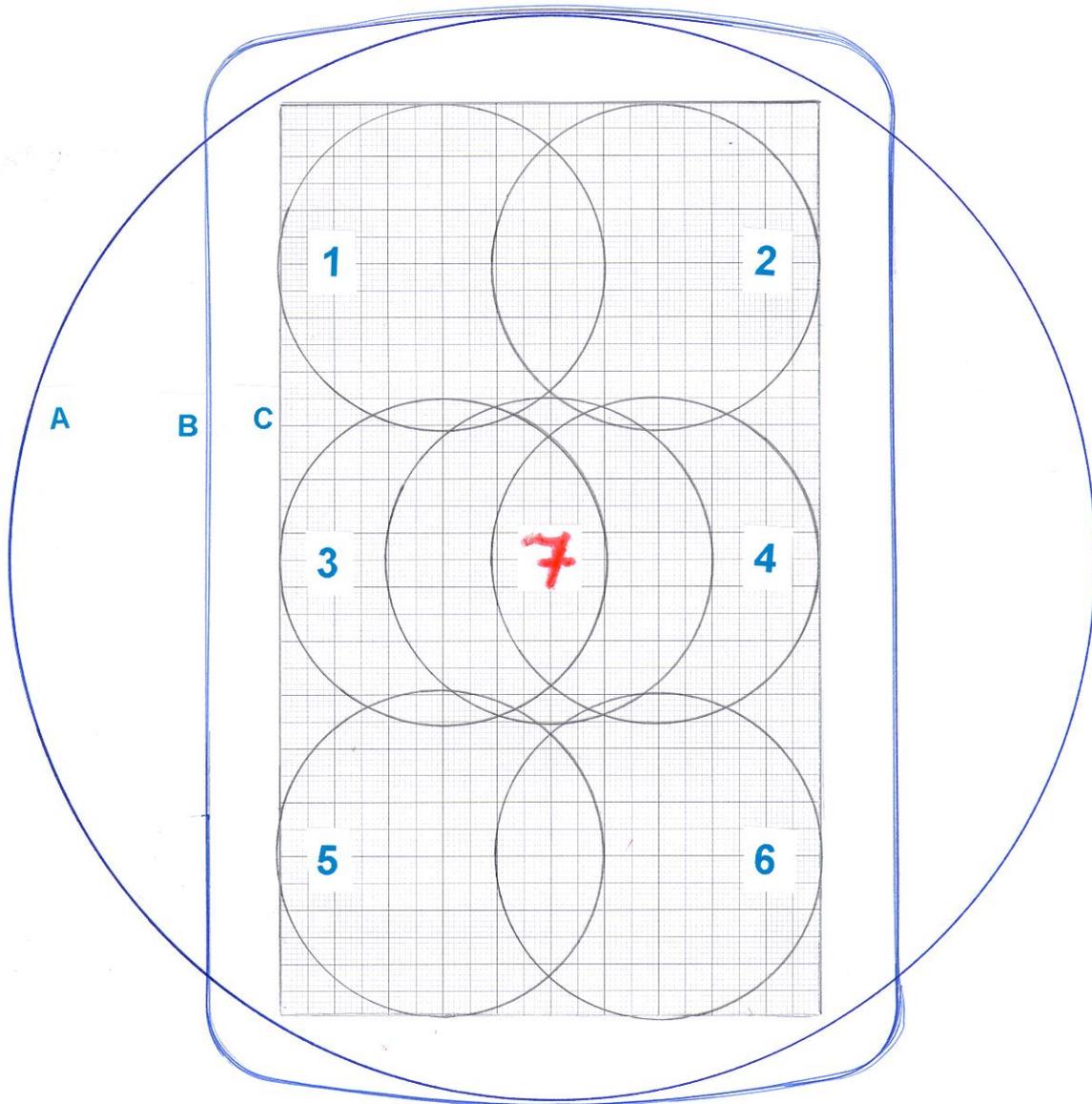


Abb. A3 Geometrische Darstellung der verschiedenen Kalibrierquellenflächen und Positionen zusammen mit der Detektorfensterfläche des **CoMo170**

Anhang

[Kalibrierpositionen für FHT 111](#) Originalgröße

[Kalibrierpositionen für LB 1233](#) Originalgröße

[Kalibrierpositionen für CoMo-170](#) Originalgröße