



Versuch 1.10

Handhabung und Kalibrierung von Dosismessgeräten

1 Grundlagen

In der StrlSchV vom 11.01.2019 werden Dosisgrenzwerte für die Personenkategorien nach §71, Dosisbegrenzung bei Überschreitung von Grenzwerten nach §73 sowie besonders zugelassene Expositionen nach §74 beschrieben. Dazu wird laut §64 die Pflicht zur Ermittlung der Körperdosis festgelegt, die nach §65 als Personendosis (siehe §66) zu messen ist.

Häufig werden die Personendosen mit Filmplaketten und/oder Dosimetern gemessen. Im vorliegenden Versuch soll die Funktion von direkt ablesbaren Dosimetern untersucht und die Kalibrierung mittels vorgegebener Strahlenquellen bekannter Aktivität überprüft werden.

2 Hilfsmittel

Es stehen folgende Hilfsmittel zur Verfügung:

- ^{60}Co -Strahlenquelle
Aktivität am 09.10.1979: 4,6 Curie \pm 10%.
- Mehrere direkt anzeigende Dosimeter
Beschreibung der Dosimeter siehe Kapitel 7.

3 Aufgabenstellung

3.1 Überprüfung der Kalibrierung

Es sind mehrere Dosimeter im Strahlenfeld der ^{60}Co -Quelle hinsichtlich ihrer Kalibrierung zu überprüfen. Bei der Vorbereitung des Versuchs Zuhause überlege man sich die für 100 mSv nötige Bestrahlungszeit als Funktion des Abstandes von Quelle und Dosimeter. Günstige Bestrahlungszeiten liegen bei 15 Minuten. Bei der Überprüfung ist zu berücksichtigen, dass in Abhängigkeit des Herstellers die verwendeten Dosimeter bei der harten Gammastrahlung des ^{60}Co etwas zu hohe (Alnor RAD-100, vgl. Abbildung 3) bzw. zu niedrige Werte (Thermo EPD Mk2, vgl. Abbildung 5) angeben.

3.2 Abstandsgesetz

Man überprüfe das Abstandsgesetz. Nach diesem Gesetz nimmt die Intensität der Strahlung isotrop mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle ab. Man überstreiche mit den zur Verfügung stehenden Dosimetern einen möglichst großen Entfernungsbereich zwischen etwa einem halben Meter und etwa zwei bis drei Metern.

4 Fragen

- a) Wie sind jeweils die Begriffe Körperdosis, Ortsdosis und Personendosis definiert?
- b) Wie hängen Ionendosis, Energiedosis und Äquivalentdosis zusammen?
- c) Erläutern Sie den Begriff effektive Dosis.
- d) Wie lautet die aktuelle SI-Basiseinheit für die Aktivität, und welche Aktivitäten hat die Strahlenquelle zum Referenzzeitpunkt und aktuell in dieser Einheit?

Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.



5 Auswertung

5.1 Überprüfung der Kalibrierung

Die Messwerte der einzelnen Dosimeter werden gemittelt nachdem die Dosis, die durch das Aus- und Einfahren der Quelle entstanden ist, subtrahiert wurde. Auch bei exakt gleicher Bestrahlung können verschiedene Dosimeter leicht unterschiedliche Werte anzeigen! Zum einen treten statistische Fehler auf, die unvermeidlich sind und von der Natur des radioaktiven Zerfalls herrühren, zum anderen existiert eine Exemplarstreuung aufgrund leicht unterschiedlicher Eigenschaften der verwendeten Geiger-Müller-Zählrohre und Halbleiter-Detektoren.

Der Mittelwert der Anzeigen soll mit dem berechneten Wert der Dosis verglichen werden! Man berücksichtige dabei alle auftretenden Fehler wie die von vornherein nur ungenau bekannte Aktivität der ^{60}Co -Strahlenquelle, weiterhin die ungenau bekannten Bestrahlungszeiten (Hinweis: Ein- und Ausfahrzeiten der Quelle aus dem Schutzbehälter), die Fehler der Entfernung zwischen Quelle und Dosimetern sowie die Energieabhängigkeit der Dosimeter (vgl. Abbildung 3).

Man führe eine Fehlerfortpflanzungsrechnung nach dem totalen Differential durch.

Hinweis: Der statistische 2-Sigma-Fehler, der vom radioaktiven Zerfall herrührt, liegt bei einer gemessenen Dosis von 100 Mikrosievert bei ca. 1%.

Die Kalibrierung ist in Ordnung, wenn die gemessene Dosis in Mikrosievert im Bereich der berechneten Dosis plus/minus dem Fehlerintervall liegt.

5.2 Abstandsgesetz

Hier sind die gemessenen Werte mit dem theoretischen Verlauf nach dem $1/r^2$ -Gesetz zu vergleichen. Womit könnten mögliche Abweichungen erklärt werden?

Eine Fehlerberechnung ist nicht erforderlich!

6 Strahlenschutzhinweis

Man betrete den Strahlenschutzbunker mit der ^{60}Co -Quelle nur mit eingeschalteten Dosisleistungsmessgeräten! Damit ist sicherzustellen, dass die Strahlenquelle in die Bleiabschirmung eingefahren ist.

Da in diesem Versuch mit einer „starken Quelle“ umgegangen wird, ist besondere Vorsicht geboten!

7 Beschreibung der Dosimeter

7.1 Alnor RAD-100-Dosimeter

Die verwendeten Dosimeter benutzen als Strahlensensor ein Geiger-Müller-Zählrohr Halbleiter-Detektoren und sind nur zur Messung der Photonenstrahlung im Bereich von 60 keV bis zu 3 MeV verwendbar. Die von der Strahlung im Detektor hervorgerufenen Impulse werden elektronisch registriert und gespeichert. Die Zahl der Impulse entspricht einer gewissen Äquivalentdosis, die Zählrate einer Äquivalentdosisrate.

Die durch einen Mikroprozessor gesteuerte Elektronik gestattet es, in das Gerät diverse Alarmschwellen einzuspeichern, z.B. Dosisgrenzwerte und auch eine Dosisrate. Bei Erreichen dieser Werte wird ein akustischer und optischer Alarm gegeben. Die Anzeige der Messwerte erfolgt über ein jederzeit ablesbares LCD-Display direkt. Die eigentliche Auswertung erfolgt aber mittels eines



Rechners, der die gemessenen Werte über ein Lesegerät übernimmt und ganz allgemein die Strahlenschutzüberwachung übernimmt. Über den Rechner können die Dosimeter auf eine Vielzahl von möglichen Betriebsarten und Optionen eingestellt werden. Eine Benutzung ohne Rechner ist auch möglich, jedoch für den Versuch nicht geeignet.

Genauere Angaben: Die Dosimeter verwenden sogenannte energiekompensierte Detektoren. Der Detektor wird von einer Schicht metallischer Filtermaterialien umgeben, die eine einigermaßen energieunabhängige Messung gewährleisten. Insbesondere im Bereich von ca. 0,3 bis zu etwa 1 MeV verläuft die Ansprechkurve zufriedenstellend (vgl. Abbildung 3). Eine Vorschrift verlangt, dass die Energieabhängigkeit im Bereich von 60 keV bis zu 3 MeV kleiner als $\pm 30\%$ sein muss. Auch eine gewisse Richtungsabhängigkeit lässt sich grundsätzlich nicht vermeiden, d.h. die Einfallrichtung der Strahlung spielt eine Rolle (vgl. Abbildung 1).

Die Messgenauigkeit wird bei der typischen Energie des ^{137}Cs (bei 0,66 MeV) zu kleiner als $\pm 5\%$ angegeben.

Der Bereich der messbaren Dosisleistungen ist recht groß. Die Abweichungen von der exakten Linearität zwischen Dosisleistung und Anzeige ist im Bereich von 0,05 bis zu 3.000 mSv/h besser als 10% (vgl. Abbildung 4).

Zusatzhinweise:

a) Wichtige Angaben zu den verwendeten Nukliden finden Sie in Tabelle 1 (Kapitel 8).

b) Die Dosis berechnet sich nach der Formel: $H_\gamma = k_\gamma \cdot \frac{A}{r^2} \cdot t$

H Dosis in Sv (Sievert)

k_γ Gammastrahlenkonstante in $\frac{\text{Sv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{Bq}}$

A Aktivität in Bq

r Abstand in m

t Bestrahlungszeit in h

c) Relevante Informationen zum Nuklid ^{60}Co

Tabelle 1: Spezifische Informationen zum Nuklid ^{60}Co

Nuklid	Halbwertszeit	Strahlungsenergien		Emissionswahrscheinlichkeit	Strahlenkonstanten
	$[t_{1/2}] = \text{a}$	Art	$[E_i] = \text{MeV}$	$[p_i] = \%$	$[k_{\beta,\gamma}] = \frac{\text{Sv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{Bq}}$
^{60}Co	5,2714	β	0,3	ca. 100	$2,6 \cdot 10^{-11}$
		γ	1,17 1,33	ca. 100 ca. 100	$3,54 \cdot 10^{-13}$



Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
 Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.

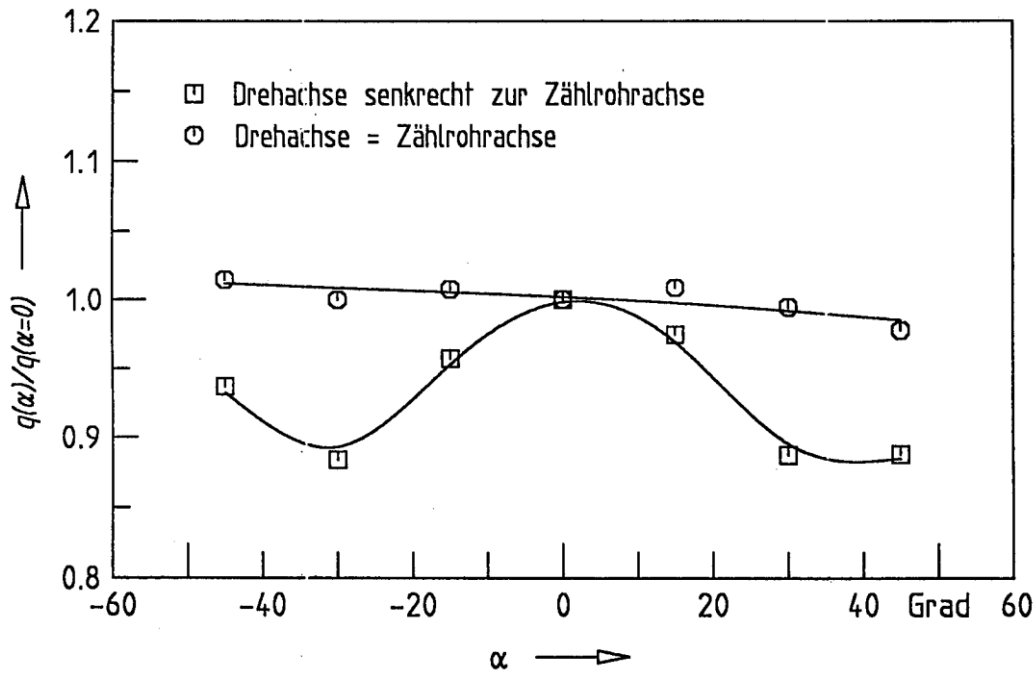


Abbildung 1: relatives Ansprechvermögen als Funktion der Strahleneinfallrichtung
 E = 65 keV RAD-100 E Nr.: 90300 6,41-12/89 B

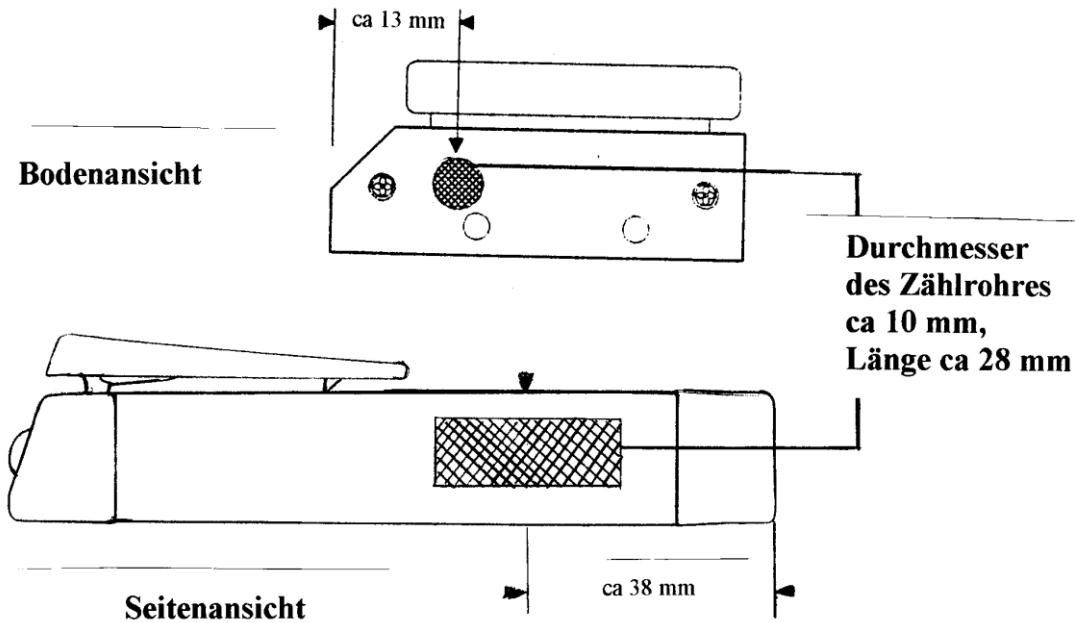


Abbildung 2: Platzierung des Zählrohres im Dosimeter



Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
 Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.

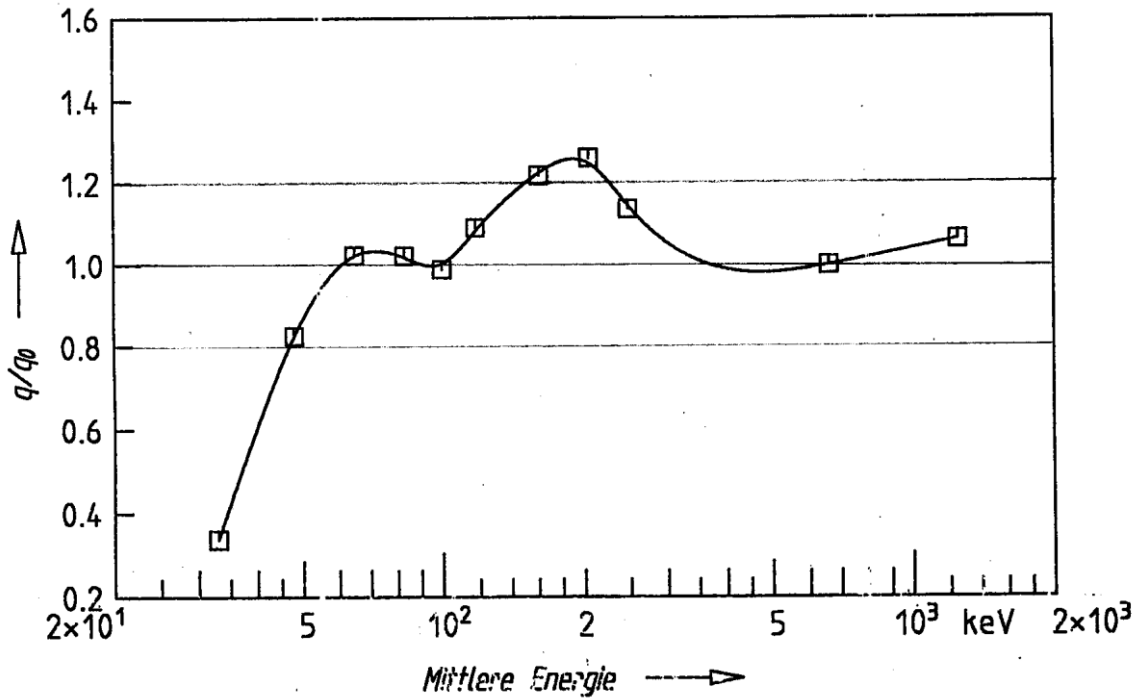


Abbildung 3: Relatives Ansprechvermögen als Funktion der mittleren Energie
 RAD-100 E- Nr.: 90300 6.41-12/89 E

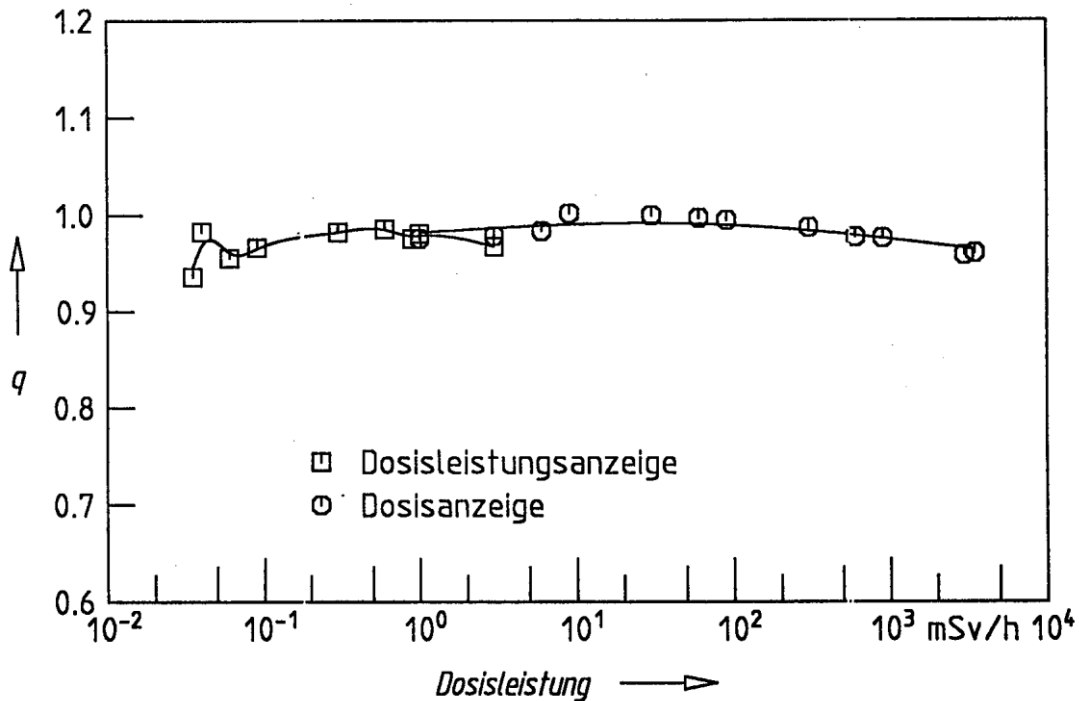


Abbildung 4: Ansprechvermögen als Funktion der Dosisleistung
 RAD-100 E Nr.: 90300 6.41-12/89 B



7.2 ThermoFisher EPD Mk2-Dosimeter

Die folgenden Spezifikationen beziehen sich auf Standard-Bedingungen bei 20°C (vgl. Datenblatt).

Energy response

- Photon $H_{p(10)}$ $\pm 50\%$ 15 keV to 17 keV (Ref. ^{137}Cs)
- $\pm 20\%$ 17 keV to 1,5MeV (Ref. ^{137}Cs)
- $\pm 30\%$ 1,5 MeV to 6MeV (Ref. ^{137}Cs)
- $\pm 50\%$ 6,0 MeV to 10MeV (Ref. ^{137}Cs)
- Photon $H_{p(0,07)}$ $\pm 30\%$ 20 keV to 6MeV (Ref. ^{137}Cs)
- $\pm 50\%$ 6 MeV to 10MeV (Ref. ^{137}Cs)
- Beta $H_{p(0,07)}$ $\pm 30\%$ 250 keV to 1,5MeV average beta energy (Ref: ^{90}Sr)

Angular response

- $H_{p(10)} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $\pm 20\%$ up to $\pm 75^\circ$
- $H_{p(10)} \rightarrow ^{241}\text{Am}$ $\pm 50\%$ up to $\pm 75^\circ$
- $H_{p(0,07)} \rightarrow ^{90}\text{Sr}$ $\pm 30\%$ up to $\pm 55^\circ$

Accuracy

- $H_{p(10)} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $\pm 10\%$
- $H_{p(0,07)} \rightarrow ^{90}\text{Sr}$ $\pm 20\%$

Dose rate linearity

- $H_{p(10)} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $\pm 10\%$ $< 0,5 \text{ Sv/h}$
- $\pm 20\%$ $0,5 \text{ Sv/h}$ to $1,0 \text{ Sv/h}$
- $\pm 30\%$ $1,0 \text{ Sv/h}$ to $2,0 \text{ Sv/h}$
- $H_{p(0,07)} \rightarrow ^{90}\text{Sr}$ $\pm 20\%$ $< 1,0 \text{ Sv/h}$

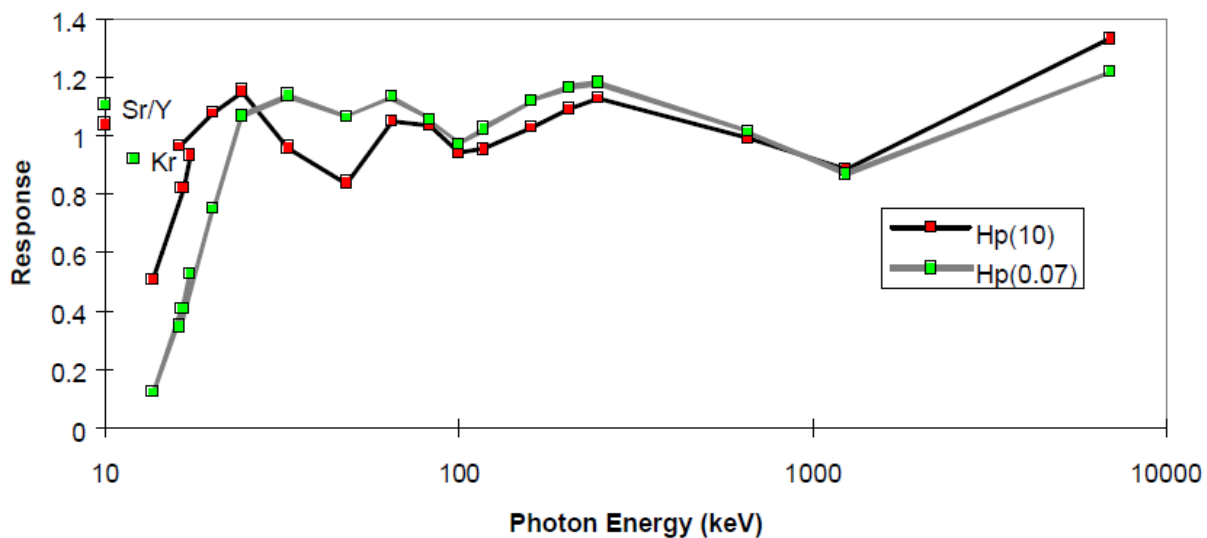


Abbildung 5: Typical EPD Mk2 Energy Response

Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
 Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.

Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
 Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.

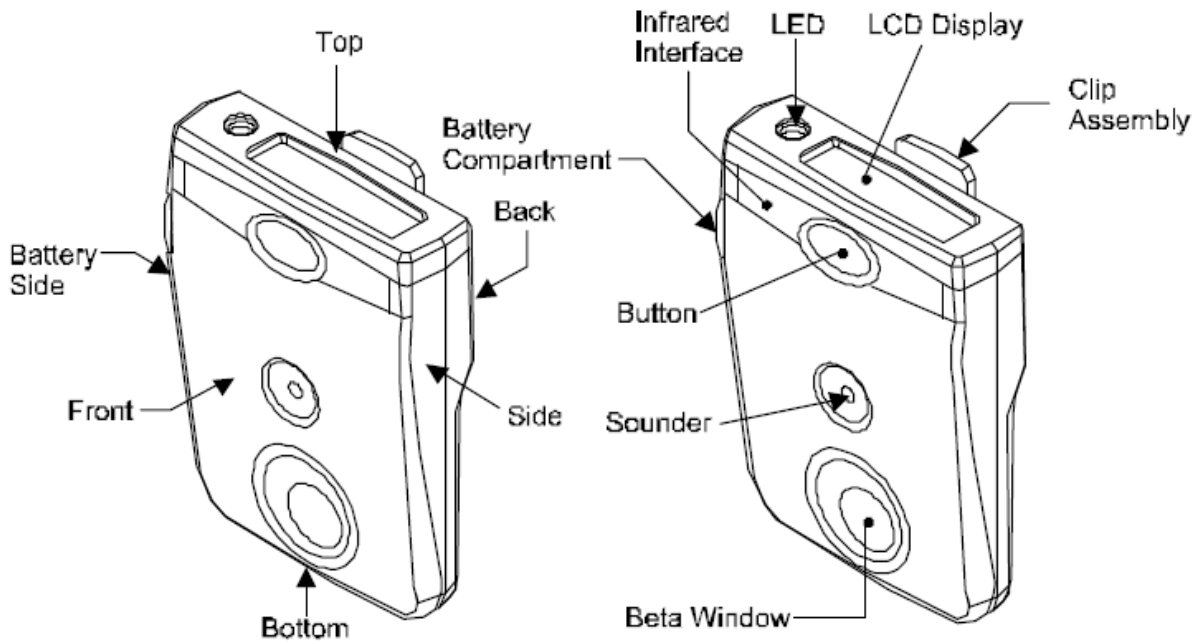


Abbildung 6: Bedienelemente des Dosimeters

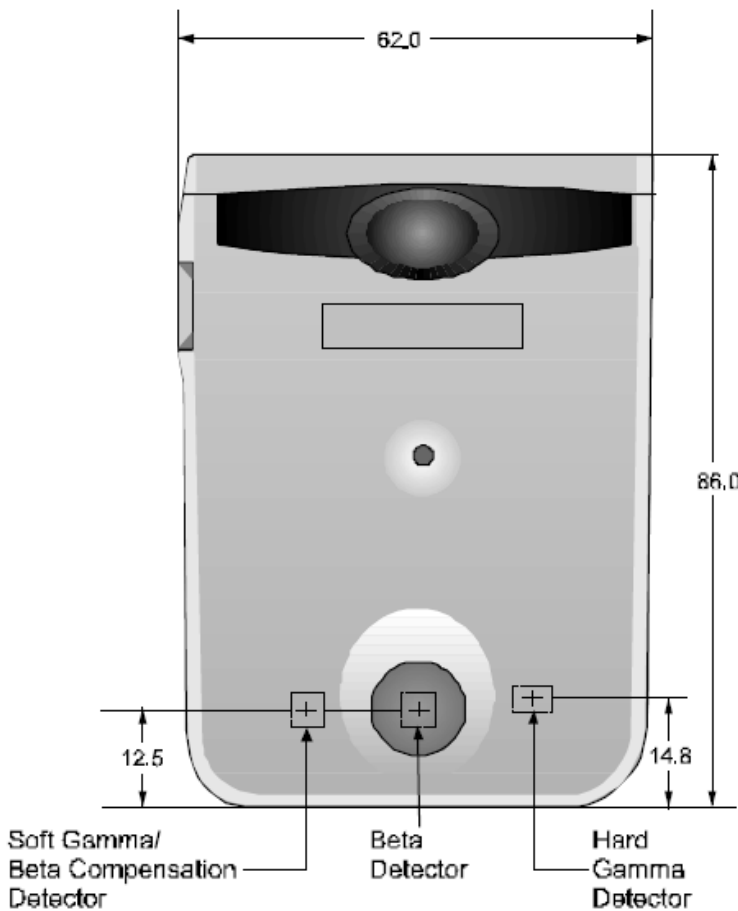


Abbildung 7: Platzierung der Messinstrumente im Dosimeter



8 Tabelle verwendeter Nuklide

Tabelle 2: Spezifische Informationen zu den verwendeten Nukliden

Nuklid	Halbwertszeit	Strahlenenergien		Emissionswahrscheinlichkeit		Strahlendosisleistungskonstante	Reichweite α/β in der Luft (ca.)
	$[t_{1/2}] = a$	Art	$[E] = MeV$	$[p_i] = 1\%$		$[k_\beta, k_\gamma] = \frac{Sv \cdot m^2}{h \cdot Bq}$	$[x] = cm$
⁶⁰ Co Cobald	5,271	β	0,3000	ca.	100,00%	2,60E-11	50,00
		γ_1	1,1700	ca.	100,00%	3,54E-13	
		γ_2	1,3300	ca.	100,00%		
⁸⁵ Kr Krypton	10,800	β	0,7000	ca.	100,00%	1,60E-11	200,00
		γ	0,5100	<	1,00%	3,20E-16	
⁹⁰ Sr / ⁹⁰ Y Strontium	29,500	β_1	0,5000	ca.	100,00%	2,00E-11	140,00
Yttrium		β_2	1,2000	ca.	100,00%		1000,00
	0,007	γ	0,6600	<	1,00%	8,00E-12	
¹³⁷ Cs Caesium	30,200	β_1	0,5000	ca.	93,00%	1,60E-11	140,00
		β_2	1,2000	ca.	7,00%		400,00
		γ	0,6600	ca.	85,00%	8,50E-14	
¹⁴⁷ Pm Promethium	2,600	β	0,2000	ca.	100,00%	3,10E-11	35,00
		γ	0,1200	<	1,00%		
¹⁹² Ir Iridium	0,203	β_1	0,7000	ca.	46,00%	1,60E-11	200,00
		β_2	0,5000	ca.	42,00%		
		γ_1	0,3200	ca.	83,00%	1,20E-13	
		γ_2	0,4700	ca.	64,00%		
²⁰⁴ Tl Thallium	3,800	β	0,8000	ca.	100,00%	1,30E-11	220,00
²⁴¹ Am Americium	433,000	α	5,5000	ca.			5,00
		γ	0,0596	ca.	36,00%	4,30E-11	
¹⁴ C Kohlenstoff	5730,000	β	0,1565		100,00%		35,00
²³⁸ Pu Plutonium	87,740	α_1	5,4990		70,90%		5,00
		α_2	5,4560		28,90%		5,00
		γ	0,0440		0,04%	8,39E-18	
³ H Wasserstoff	12,312	β	0,0186		100,00%		0,75

Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
 Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.



9 Verweise

Thermo Electron Corporation. *Electronic Personal Dosemeter (EPD Mk2)*. Hrsg. Thermo Electron Corporation. 29. April 2021. <<https://www.manualslib.com/manual/1262690/Thermo-Epd-Mk2.html>>.

Veith, Hans-Michael. *Strahlenschutzgesetz mit Verordnungen*. 11. Auflage. 50735 Köln: Bundesanzeiger Verlag GmbH, 2019.

Ausschließlich für den Gebrauch in Vorlesungen oder Übungen!
Für sonstigen Gebrauch sind die angegebenen Quellen heranzuziehen.