

Versuchsprotokoll

Dosimetrie

Henning Iseke	Robert Grimmer
Betreuer:	Dipl.-Phys. Birgit Schneider
Messplatz:	ASB/K006A
Durchführung:	6. November 2015
Protokoll:	17. Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Theorie	2
2.1. A-Regeln	2
2.2. Größen	2
2.3. Grenzwerte	3
2.4. Aktive und passive Detektoren	4
2.5. BeO-Dosimeter	5
2.6. Ionisationskammer	6
2.7. Strahlenquelle	6
3. Durchführung und Auswertung	7
3.1. Dosisleistung im Messraum	7
3.2. Winkelabhängigkeit der Ionisationskammer	8
3.3. Langzeitdosimetrie	10
3.4. Abstandsabhängigkeit der Dosis	10
3.5. Strahlgeometrie	11
4. Diskussion und Zusammenfassung	13
Literatur	15
A. Messdaten	15

1. Einleitung

Der Versuch hat das Ziel, sich mit der Dosimetrie vertraut zu machen. Sie ist notwendig, da sich die Energieübertragung bei komplizierten Versuchsaufbauten nur sehr aufwendig berechnen/simulieren lässt. Insbesondere liefert sie eine wichtige Größe, um etwas über die durch Wechselwirkung von Strahlung auf Materie übertragene Energie auszusagen.

Die Dosimetrie ist damit ein sehr wichtiger Teil vieler Versuche, die sich mit Strahlung beschäftigen, auch um Gefährdungen zu minimieren bzw. bestenfalls zu eliminieren.

2. Theorie

2.1. A-Regeln

Grundsätzlich gilt es natürlich die „A-Regeln“ [4] einzuhalten d. h.:

Aktivität begrenzen

Aufenthaltsdauer minimieren

Abstand halten

Abschirmung verwenden

Aufnahme vermeiden

Ausbildung im Umgang mit Strahlung

denn dadurch lässt sich auf einfache Weise das Risiko beim Umgang mit Strahlenquellen minimieren.

Um die Energieübertragung bzw. Belastungen für den menschlichen Körper beim Umgang mit Strahlenquellen in Folge von Wechselwirkungen zu quantifizieren gibt es drei wichtige Größen.

2.2. Größen

Die gemessene Größe ist die *Energiedosis*

$$D = \frac{dE}{dm}, \quad (1)$$

Tabelle 1: Grenzwerte für die effektive Dosis pro Jahr (H_E/a) [1].

Bevölkerung	Strahlenexponierte Personen	
	Kat. A	Kat. B
1 mSv	20 mSv	6 mSv

die in der Einheit *Gray* ($Gy = J kg^{-1}$) angegeben wird. Sie dient zur Angabe der Energie (dE) die pro Massenelement (dm) an einem bestimmten Ort deponiert wird. Über Wichtungsfaktoren für die Strahlungsart (w_R) erhält man die *Äquivalentdosis*

$$H_T = w_R \cdot D_T \quad (2)$$

für ein Organ T, hierbei wird die unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Strahlungsarten berücksichtigt.

Die *effektive Dosis* (H_E), die in der Einheit *Sievert* ($Sv = J kg^{-1}$) angegeben wird, berechnet sich aus der Äquivalentdosis. Bei der Berechnung wird neben der Art der Strahlung auch die Empfindlichkeit des bestrahlten Organs mit einem Korrekturfaktor w_T mit berücksichtigt. Schlussendlich lässt sich die effektive Dosis über

$$H_E = \sum_T w_T \cdot w_R \cdot D_T \quad (3)$$

berechnen, die Wichtungsfaktoren findet man u. a. in [2, Anlage VI].

Die Dosis pro Zeiteinheit

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (4)$$

wird *Dosisleistung* genannt.

2.3. Grenzwerte

Vom Gesetzgeber sind Grenzwerte für die effektive Dosis festgelegt worden (s. Tab. 1), die nicht überschritten werden dürfen. Im Rahmen des Fortgeschrittenen-Praktikums sind die Grenzwerte für strahlenexponierte Personen der Kategorie B einzuhalten, da es sich um eine Tätigkeit im Rahmen der Ausbildung handelt. Zur Kategorie A gehört Personal, das mit Strahlenquellen umgeht.

Um nun die Energiedosis zu messen, können verschiedene Detektorarten verwendet werden.

2.4. Aktive und passive Detektoren

Die verschiedenen Detektoren lassen sich in aktive und passive Detektoren einteilen. *Aktive Detektoren* zeigen ständig die momentane Dosis an, Bestrahlung und Auswertung erfolgen also zeitgleich. Für das Auslesen sind Kabel o. ä. erforderlich, die das Strahlungsfeld beeinflussen und die Messung dadurch verändern. Bei *passiven Detektoren* erfolgen diese beiden Prozesse nacheinander. Während der Bestrahlung beeinflusst nichts, das für die Auswertung benötigt wird das Strahlungsfeld, allerdings erhält man keine „Live“-Messdaten. Die im Versuch verwendete Ionisationskammer ist ein aktiver Detektor, der BeO-Detektor ist passiv.

Durch die Wechselwirkung der ionisierenden Strahlung mit dem Sondenmaterial tritt ein Messeffekt auf, der in die Dosis des Detektors umgerechnet werden kann. Falls der Detektor das Strahlungsfeld nicht verändert und die gleichen Eigenschaften wie das umgebende Medium besitzt, kann die Dosis des Mediums mit der Dosis des Detektors gleichgesetzt werden. Da dies aber schwierig oder unmöglich in der Umsetzung ist werden Detektoren verwendet, die nach dem Prinzip des Sekundärteilchengleichgewichts oder dem Bragg-Gray-Prinzip arbeiten.

Das *Sekundärteilchengleichgewicht* bedeutet, dass die gesamte kinetische Energie der in den Detektor eintretenden Sekundärteilchen und die der aus diesem austretenden Sekundärteilchen gleich ist. Ist diese Bedingung erfüllt, dann lässt sich die Dosis des Mediums über das Verhältnis der Massenenergieabsorptionskoeffizienten für Photonenstrahlung (μ_E/ρ) des Mediums und des Detektors aus der Detektordosis bestimmen:

$$D_{\text{Medium}} = \frac{\left(\frac{\mu_E}{\rho}\right)_{\text{Medium}}}{\left(\frac{\mu_E}{\rho}\right)_{\text{Detektor}}} \cdot D_{\text{Detektor}} \quad (5)$$

Bei der *Bragg-Gray-Bedingung* muss der Detektor möglichst klein sein, um das Strahlungsfeld durch das Einbringen wenig zu stören. Klein ist im Sinne der Abmessung des Detektors im Bezug auf die Strahlungsreichweite gemeint. Falls diese Bedingung gilt, kann die Dosis über die Verhältnisse der Massenbremsvermögen (S/ρ) analog zu (5) berechnet werden:

$$D_{\text{Medium}} = \frac{\left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{Medium}}}{\left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{Detektor}}} \cdot D_{\text{Detektor}} \quad (6)$$

Da beide Bedingungen nicht exakt erreichbar sind, sind die Messungen mit systematischen Abweichungen (ΔD) behaftet, falls Kalibrierung und Messung nicht unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden.

2.5. BeO-Dosimeter

Die Messung der Dosis erfolgt mit Dosimetern auf der Basis der *optisch stimulierten Lumineszenz* (OSL). Der verwendete passive Detektor enthält einen Leuchtstoff Berylliumoxid (BeO) mit einer sehr großen Bandlücke. Diese kann von den Elektronen im Normalfall nicht überwunden werden. Trifft jedoch ionisierende Strahlung auf den Leuchtstoff erhalten die Elektronen durch Wechselwirkung mit der Strahlung genug Energie, um die Lücke zu überwinden. Sie wechseln vom Valenzband ins Leitungsband, einige gelangen von da in ein energetisch günstigeres Niveau (Haftterm). Die Elektronen im Leitungsband wechseln innerhalb kurzer Zeit unter Abgabe von Licht wieder ins Valenzband, die Elektronen in den Hafttermen können das auf Grund der starken Lokalisation nicht.

Um nun die im BeO deponierte Energie zu bestimmen, wird der Leuchtstoff mit Licht bestrahlt. Die Elektronen aus den Hafttermen gelangen wieder ins Leitungsband und anschließend durch Abstrahlung von Licht in ihren Grundzustand zurück. Das emittierte Licht wird dann als Lichtsumme (LS) im BeOmax-Dosimetriesystem gemessen.

Die Dosis kann aber nicht direkt aus der Lichtsumme bestimmt werden, „da für die OSL kein exaktes Modell existiert“ [1]. Die Zahl der Elektronen in den Hafttermen ist aber proportional zur im Leuchtstoff deponierten Energie. Darum wird mit Hilfe einer Ionisationskammer noch eine Referenzdosis bestimmt, um damit die BeO-Detektoren zu kalibrieren. Dabei müssen beide Messungen (Ionisationskammer und OSL-Detektor) unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden.

Zusätzlich muss noch berücksichtigt werden, dass die OSL-Detektoren auch immer ein Nullsignal (LS_0) aufweisen, das von der gemessenen Lichtsumme abgezogen werden muss.

Die Dosis kann nun wie folgt berechnet werden:

$$D = \frac{LS - LS_0}{\varepsilon} \quad (7)$$

mit Ansprechvermögen

$$\varepsilon = \frac{LS_{R, \text{netto}}}{D_R} = \frac{LS_R - LS_{0, R}}{D_R}, \quad (8)$$

wobei LS die Lichtsumme der unbekanntes Dosis, LS_0 das Nullsignal vor Bestrahlung mit der unbekanntes Dosis, LS_R die Lichtsumme nach Bestrahlung mit der Referenzdosis und $LS_{R,0}$ das Nullsignal vor Bestrahlung mit der Referenzdosis ist.

Die systematische Unsicherheit wird mit

$$\Delta D = 1,5 \mu\text{Gy} + 0,013 \cdot D \quad (9)$$

angegeben [1].

BeO wird auf Grund der Vergleichbarkeit der mittleren Ordnungszahl (7,13) mit der menschlichen Haut als Leuchtstoff verwendet. Durch die geringen Abmessungen der Dosimeter kann auch die Bragg-Gray-Bedingung erfüllt werden.

2.6. Ionisationskammer

Der Grundaufbau einer *Ionisationskammer* besteht aus einem gasgefüllten, geladenen Kondensator. Kommt es zur Wechselwirkung zwischen ionisierender Strahlung und Gas entstehen freie Ladungsträger, Ionen und Elektronen, die von den Platten „abgesaugt“ werden. Die Erzeugung der Ion-Elektron-Paare erfolgt durch zwei Prozesse: Photoeffekt und Comptonstreuung. Die Paarbildung spielt keine Rolle, da die γ -Photon von Cs-137 nicht genügend Energie haben.

Luft wird häufig als Füllgas verwendet, einerseits aus Kostengründen und andererseits wegen der guten Vergleichbarkeit mit Körpergewebe und Wasser. Die Spannung zwischen den Platten muss so gewählt werden, dass möglichst alle Primärladungsträger die Platten erreichen und so als Strom messbar sind. Ist sie zu gering können die Ion und Elektron wieder rekombinieren. Jedoch muss ebenfalls beachtet werden die Spannung nicht zu hoch einzustellen, um keine weiteren Sekundärteilchen zu erzeugen.

Es ist nicht möglich beide Effekte optimal einzustellen, die noch auftretenden Verlust müssen durch empirische Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. Da Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit die Ergebnisse beeinflussen müssen sie ebenfalls in die Berechnung der „echten“ Werte mit einfließen. Dabei werden im Versuch nur Druck p und Temperatur T berücksichtigt und der Einfluss der Luftfeuchtigkeit vernachlässigt:

$$\rho = 1,20 \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad (10)$$

Da für die Ionisation jeweils Energie aufgewendet werden muss, für Luft ist das der mittlere Energieaufwand pro Ionisation $w_{\text{Luft}} = 34 \text{ eV}$, kann aus dem gemessenen Strom I die Dosisleistung \dot{D} berechnet werden:

$$\dot{D} = \frac{w \cdot I}{e \cdot \rho \cdot V} \quad (11)$$

mit Elementarladung e , Dichte des Füllgas' ρ und Detektorvolumen V .

2.7. Strahlenquelle

Als Strahlenquelle kommt Cs-137 zum Einsatz, dessen Zerfallsprodukt eine Gamma-Linie abstrahlt. Die Aktivität nimmt exponentiell ab und lässt sich mit gegebener Anfangsaktivität

3. Durchführung und Auswertung

$A_0 = 5 \text{ GBq}$, Halbwertszeit $T_{1/2} = 30,17 \text{ a}$ und der seit Bestimmung der Anfangsaktivität (27.02.2008) vergangenen Zeit $t \approx 7,5 \text{ a}$ berechnen:

$$A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}. \quad (12)$$

Die Aktivität betrug am Versuchstag ungefähr $A \approx 4,2 \text{ GBq}$. Die beim Zerfall emittierte β^- -Strahlung wird abgeschirmt und kann somit nicht gemessen werden.

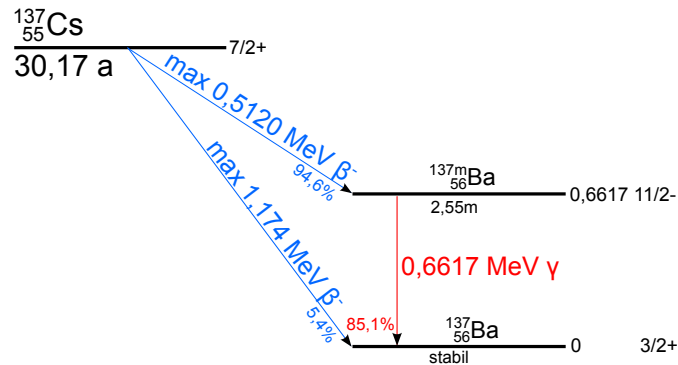


Abbildung 1: Zerfallsschema Cs-137 [6].

Wie schon erwähnt ist die Erhöhung des Abstands ein gute Möglichkeit, um das von Strahlungsquellen ausgehende Risiko zu minimieren. Das liegt daran, dass die Dosisleistung (\dot{D}) quadratisch mit dem Abstand (d) abnimmt:

$$\dot{D} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2}. \quad (13)$$

Durch umstellen von (13) lässt sich die Bestrahlungszeit für eine gewünschte Dosis (D) berechnen:

$$t = \frac{d^2 D}{A \Gamma}. \quad (14)$$

Das ist notwendig, da die Detektoren eine gewisse Mindestdosis erhalten müssen ($120 \mu\text{Gy}$).

3. Durchführung und Auswertung

3.1. Dosisleistung im Messraum

Zu Beginn des Versuch wurde die Dosisleistung an verschiedenen Arbeitspositionen im Messraum bestimmt. Die bestimmte Dosisleistung entspricht der Personendosisleistung in 10 mm

Gewebetiefe (H_{10}). [5] In Tabelle 2 werden die Messdaten dargestellt zusammen mit einer Dosis nach 8 h (einem Arbeitstag) bzw. 45 · 40 h, was etwa einem Arbeitsjahr entspricht, wobei das nach oben abgeschätzt ist.

Tabelle 2: Dosis(-leistung) an verschiedenen Arbeitspositionen (s. Abb. 2).

Ort	H10/(μ Sv/h)	D/ μ Sv bei 8h	D/mSv bei 40h * 45
Quelle geschlossen			
1	0,181	1,448	0,33
2	0,17	1,36	0,31
3	2,216	17,728	3,99
4	2,36	18,88	4,2
5	0,795	6,36	1,43
6	7,235	57,88	13,02
7	3,281	26,248	5,91
8	123,3	986,4	221,94
9	0,678	5,424	1,22
10	3,465	27,72	6,24
Quelle offen			
7	2,616	20,928	4,71
11	30,47	243,76	54,85
12	24,35	194,8	43,83
5	0,921	7,368	1,66
3	3,332	26,656	6,00
4	3,129	25,032	5,63
2	0,199	1,592	0,36
1	0,229	1,832	0,41
Messgerät	Umo LB123		

3.2. Winkelabhängigkeit der Ionisationskammer

Für die Ionisationskammer, eine Stielkammer, wurde dann bei der Position $x = 50$ cm die Winkelabhängigkeit untersucht. Die Position entspricht in etwa dem Abstand zur Quelle; der genaue Ort der Quelle wird später bestimmt. Gemessen wurde die Dosis über eine Zeitspanne von 60 s. Bei der korrigierten mittleren Dosisleistung erkennt man ein Maximum bei einem Winkel im Bereich von 210° bis 240° (s. Abb. 3), entgegen der Erwartung eines Maximums bei der Vorzugsrichtung 180° .

Der gemessene Wert für die Dosis musste noch auf die aktuelle Luftdichte umgerechnet werden (s. (10)). Für den Luftdruck wurde ein Wert von 1005,9 hPa, für die Temperatur $21,0^\circ\text{C}$ und für die relative Luftfeuchtigkeit ein Wert von 55,1 % gemessen. Damit ergibt sich für die Luftdichte $1,19\text{ kg m}^{-3}$ und ein Korrekturfaktor von $1/0,99$.

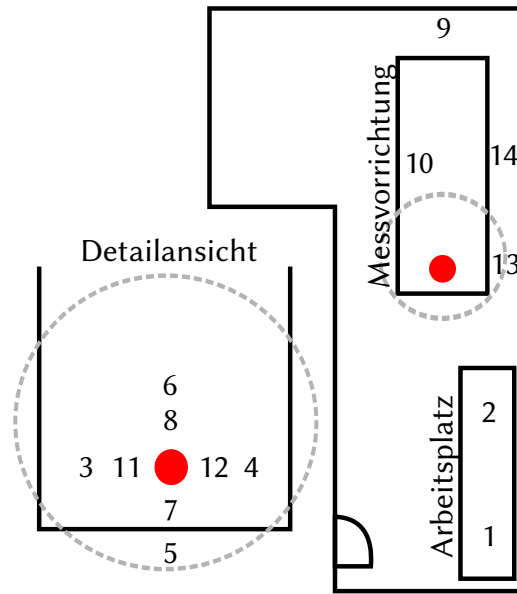


Abbildung 2: Skizze des Messraums. Der rote Kreis kennzeichnet die Position der Quelle. 7, 8, 10, 12 sind 10 cm und 3, 4, 5, 6 sind 50 cm von der Quelle entfernt.

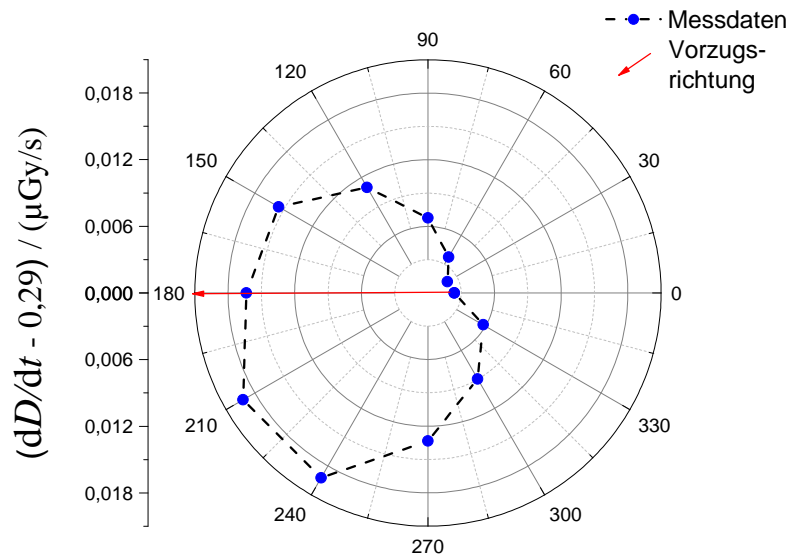


Abbildung 3: Winkelabhängigkeit der Ionisationskammer. Der Radius gibt die Dosisleistung an, der Winkel die Ausrichtung des Detektors.

Tabelle 3: Messdaten der Winkelabhängigkeit der Ionisationskammer.

$\theta/^\circ$	$\dot{D}/\mu\text{Gy s}^{-1}$	$\dot{D}_{\text{kor}}/\mu\text{Gy s}^{-1}$
0	0,2893	0,2924
30	0,2980	0,2920
60	0,2907	0,2937
90	0,2937	0,2967
120	0,2978	0,3010
150	0,3023	0,3055
180	0,3032	0,3063
210	0,3060	0,3092
240	0,3060	0,3092
270	0,3002	0,3033
300	0,2958	0,2989
330	0,2927	0,2957

3.3. Langzeitdosimetrie

Um die Dosis nach einer Woche im Messraum zu bestimmen, wurden vier OSL-Detektoren ausgelesen, die eine Woche (30. 10. 2015–6. 11. 2015) lang an verschiedenen Positionen im Raum lagen (Position 6, 8, 12, 13 in Abb. 2). Vor der Messung der Dosis für eine Woche wurde das Nullsignal bestimmt. Nach dem Auslesen wurde das Nullsignal erneut bestimmt und die Detektoren bei $x = 50 \text{ cm}$ bestrahlt, um dann die unbekannte Dosis mit der Referenzdosis zu bestimmen (vgl. (7), (8)). Die Referenzdosis ist durch die vorherige Messung der Winkelabhängigkeit bekannt.

Tabelle 4: Energiedosis (D) an verschiedenen Positionen im Messraum nach einer Woche Bestrahlung und Ansprechvermögen (ε).

Position	D/mGy	$\varepsilon/\text{mV s } \mu\text{Gy}^{-1}$
6	$1,312 \pm 0,019$	25,5
13	$0,1878 \pm 0,0040$	21,1
14	$0,1867 \pm 0,0040$	27,1
9	$0,1496 \pm 0,0034$	24,5

3.4. Abstandsabhängigkeit der Dosis

Anschließend wurde die Energiedosis in Abhängigkeit vom Abstand mit Hilfe der OSL-Detektoren gemessen. Pro Position wurden jeweils vier Detektoren bestrahlt. Dabei wurde die Messzeit jeweils so gewählt, dass die Mindestdosis theoretisch erreicht wird. Danach wurde für jeden Detektor noch das Nullsignal bestimmt. Eine Referenzmessung musste nicht durchgeführt

werden, da die Detektoren bereits kalibriert waren.

In Abbildung 4 ist die Abhängigkeit dargestellt auf die Darstellung von Fehlerbalken wurde verzichtet, da die Abweichungen der Messwerte sehr klein waren. Nur bei der Energiedosis bei $x = 20$ cm lag die relative Abweichung bei über 130 %. Grund hierfür ist vermutlich die zu kurze Bestrahlungszeit.

Für den Fit wurde folgende Abhängigkeit angenommen

$$\dot{D} = \frac{A \cdot \Gamma}{(x - a)^2}, \quad (15)$$

wobei a die Position der Strahlenquelle bzgl. der Längenskala am Messaufbau ist.

Mit den Parametern aus Tabelle 5 wurde die Position auf $a = (-7,0 \pm 0,5)$ cm bestimmt. Die Unsicherheiten ergaben sich aus dem Fit und den statistischen Unsicherheiten durch Mittelung der vier Dosen pro Position.

Die Messwerte entsprechen, bis auf den ausgeschlossenen Messwert bei $x = 20$ cm der $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit von (13).

Tabelle 5: Parameter für den Fit.

A	Γ
4,2 GBq	$87,98 \frac{\mu\text{Gy m}^2}{\text{h GBq}}$

Tabelle 6: Daten Abstandsabhängigkeit.

x/cm	$(dD/dt)/(\text{mGy/s})$	$\Delta_{\text{stat}}(dD/dt)/(\text{mGy/s})$	$\Delta_{\text{sys}}(dD/dt)/(\text{mGy/s})$
100	8,92E-05	1,54E-06	2,32E-06
90	1,10E-04	8,78E-07	2,80E-06
80	1,33E-04	1,78E-06	3,44E-06
67	1,71E-04	2,88E-06	4,30E-06
60	2,45E-04	4,19E-05	5,62E-06
50	3,06E-04	–	1,50E-07
40	4,67E-04	3,41E-06	1,26E-05
30	7,50E-04	3,09E-05	1,96E-05
20	4,23E-03	5,60E-03	1,18E-04

3.5. Strahlgeometrie

Bei der letzten Messung wurde die Strahlgeometrie des Cs-Strahlers an der Position $x = 30$ cm untersucht. Dafür wurden acht Detektoren von der Strahlachse nach rechts jeweils im Abstand

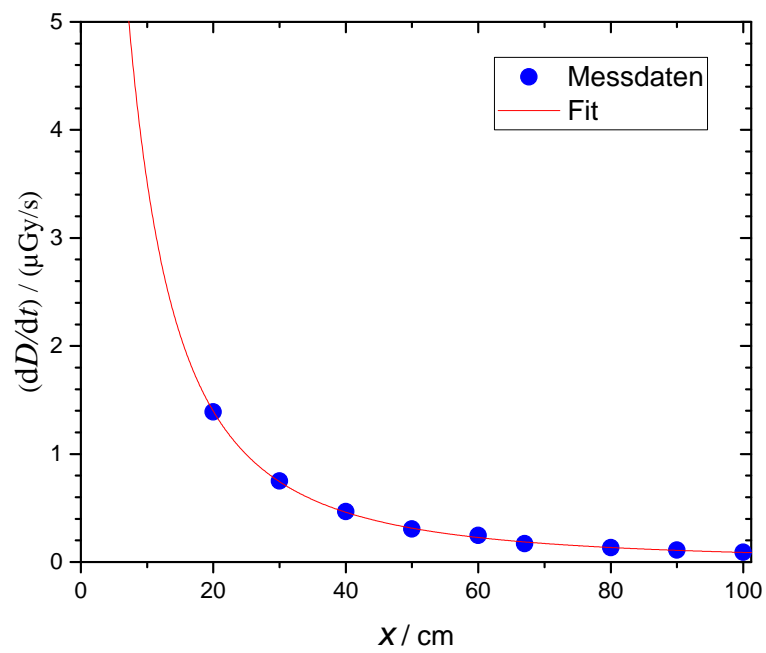


Abbildung 4: Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung.

von etwa 2 cm positioniert. In Abbildung 5 kann man die Dosis in Abhängigkeit der Position des Detektors nach einer Bestrahlungszeit von 366,04 s sehen.

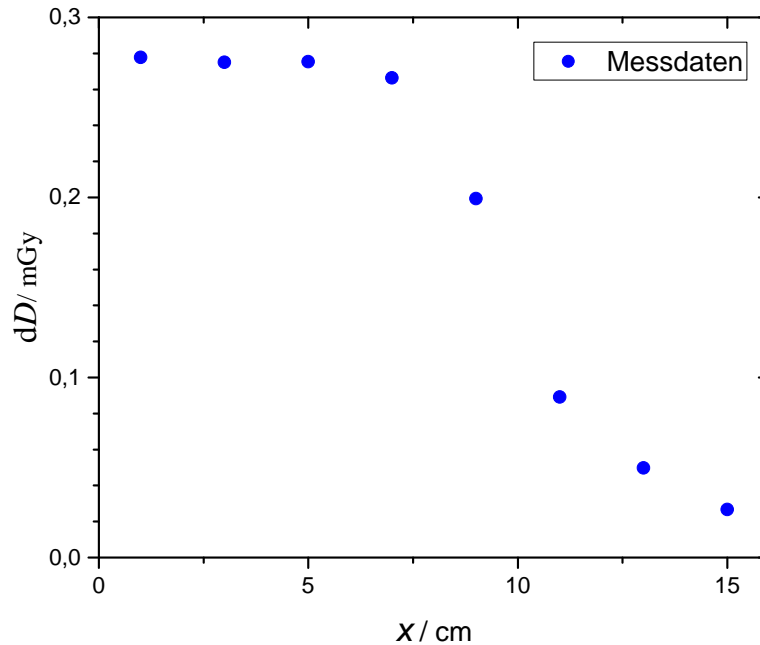


Abbildung 5: Strahlgeometrie.

Man erkennt einen Bereich von $y = 0$ cm...7 cm der eine konstante Dosis aufweist, danach fällt sie schnell ab, der Strahlradius beträgt also etwa 7 cm. Grund für den Verlauf der Dosis ist der Kollimator, der an der Quelle angebracht den Strahlquerschnitt begrenzt. Die Messpunkte ab einer Position von 7 cm werden daher nicht mehr direkt erreicht, sondern nur noch durch Streuung.

4. Diskussion und Zusammenfassung

Auch wenn es bei diesem Versuch *nur* um Dosimetrie ging, ist die Dosisleistung an bestimmten ausgemessenen Stellen im Raum bei geschlossener Quelle so hoch, dass die durchschnittliche Bevölkerung sich hier nicht ein Arbeitsjahr lang aufhalten dürfte. Am Arbeitsplatz wäre dies aber möglich, auch wenn man dort schon 1/3 der maximalen Dosis erhalten würde.

In der Nähe der Strahlenquelle steigt die Dosis dann stark an, insbesondere direkt vor der Quelle ist die Dosisleistung sehr hoch, sodass selbst für mit Strahlenquellen arbeitende Personen die

Tabelle 7: Messdaten Strahlgeometrie.

D/mGy	y/cm
0,2777	1
0,2751	3
0,2754	5
0,2664	7
0,1993	9
0,0892	11
0,0498	13
0,0267	15

maximale Dosis innerhalb eines Jahres, um das zehnfache überschritten würde.

Mit zu berücksichtigen wäre auch noch das Arbeiten bei offener Quelle, da die Dosisleistung direkt in der Nähe sehr stark ansteigt, so dass es auf jeden Fall notwendig ist sie geschlossen zu halten, wenn gerade nicht gemessen wird. Insbesondere darf bei offener Quelle keinesfalls davor gearbeitet werden, sodass für diese Position auch keine Messung vorgenommen werden konnte.

Die Abschirmung der Quelle ist nach hinten am besten, an den Seiten ist die Dosisleistung schon fast viermal höher und nach vorne ist die Abschirmung trotz eines Bleiverschlusses noch geringer.

Die Untersuchung der Winkelabhängigkeit zeigte ein Maximum, das von der Vorzugsrichtung abwich. Der Grund ist hierfür die nicht exakte Ausrichtung von Strahlenquelle und Kammer. Die Strahlenquelle konnte aber nicht ausgerichtet werden, denn wie schon oben erwähnt ist die Dosisleistung für das Öffnen der Quellenhalterung schlicht zu hoch.

Auch die Auswertung der unbekanntes Dosis zeigt, dass im Umfeld vor der Quelle hohe Dosen zu erwarten sind, die zeigen dass ein Aufenthalt selbst bei geschlossener Quelle dort nicht dauerhaft stattfinden kann.

Die Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung entspricht der Erwartung und folgt (13). Um die Abhängigkeit noch genauer zu untersuchen und die Position der Quelle besser feststellen zu können, wären besonders Messungen bei geringen Abständen von der Strahlenquelle interessant, da dort die Änderung der Dosisleistung besonders hoch ist. Damit haben sie u. a. einen hohen Einfluss auf den Fit und können zu einem genaueren Ergebnis führen.

Um die Strahlgeometrie genauer zu untersuchen, wäre auch eine Untersuchung der linken Seite hilfreich, da die Strahlachse nicht genau bekannt war. Damit könnte die Position der Quelle aus Symmetrieüberlegungen abgeschätzt werden.

Literatur

- [1] A. Jahn, C. Müller, *Versuchsanleitung Grundpraktikum Dosimetrie*, TU Dresden, 2015
- [2] StrlSchV (2001), *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen*, http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2001/index.html
- [3] Wikipedia, *Dosimeter*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Dosimeter>, 5. Nov. 2015
- [4] Wikipedia, *Praktischer Strahlenschutz*, https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenschutz#Praktischer_Strahlenschutz, 5. Nov. 2015
- [5] Hanno Krieger, *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009

Bilder

- [6] Tubas-en, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cs-137-decay.svg>, Public Domain, modifiziert

A. Messdaten

Tabelle 8: Messdaten für Langzeitdosimetrie (Lichtsumme Nullsignal: NS, Lichtsumme: LS).

Position	NS1/mV s	LS1/mV s	NS2/mV s	LS1/mV s
6	2,15	35,71	1,57	4,76
13	2,07	6,03	2,06	4,69
14	1,36	6,42	0,78	4,16
9	0,92	4,59	0,97	4,03

Tabelle 9: Rohdaten BeO-Detektoren.

BeO-ID	NS/mVs	Zeit/s	x/cm	LS/mVs	D/mGy	(dD/dt)/(mGy/s)
3376	0,57	1291,39	100	3,28	0,1147	8,88E-05
3337	0,51	1291,39	100	3,18	0,1126	8,72E-05
3388	0,65	1291,39	100	3,09	0,1161	8,99E-05
3398	0,81	1291,39	100	3,43	0,1172	9,08E-05
3397	0,62	1095,84	90	2,84	0,1217	1,11E-04
3305	1,14	1095,84	90	2,79	0,1194	1,09E-04
3332	1,27	1095,84	90	3,49	0,121	1,10E-04
3350	0,41	1095,84	90	3,14	0,1207	1,10E-04
3321	0,63	875,12	80	2,59	0,1145	1,31E-04
3364	0,75	875,12	80	2,58	0,1165	1,33E-04
3359	0,4	875,12	80	3,34	0,1183	1,35E-04
3315	0,67	875,12	80	3,26	0,1166	1,33E-04
3353	0,46	722,44	67	3,66	0,1243	1,72E-04
3338	0,61	722,44	67	3,38	0,1255	1,74E-04
3369	0,85	722,44	67	3,27	0,1227	1,70E-04
3391	0,35	722,44	67	3,21	0,1207	1,67E-04
3343	0,83	617,56	60	3,32	0,1384	2,24E-04
3323	0,72	617,56	60	3,19	0,1359	2,20E-04
3348	1,09	617,56	60	3,08	0,1419	2,30E-04
3361	0,82	617,56	60	4,09	0,1902	3,08E-04
3363	1,57	407,09	50	4,76		
3325	2,06	407,09	50	4,69		
3372	0,78	407,09	50	4,16		
3395	0,97	407,09	50	4,03		
3357	0,89	231,22	40	2,99	0,1076	4,65E-04
3328	0,72	231,22	40	2,63	0,1091	4,72E-04
3389	0,72	231,22	40	2,58	0,1074	4,64E-04
3383	0,94	231,22	40	2,55	0,1076	4,65E-04
3311	0,82	151,72	30	2,8	0,1142	7,53E-04
3347	1,89	151,72	30	2,63	0,107	7,05E-04
3333	0,84	151,72	30	2,82	0,1161	7,65E-04
3380	0,64	151,72	30	3,05	0,1176	7,75E-04
3340	1,55	24	20	0,62	0,303	1,26E-02
3393	0,8	24	20	0,98	0,0358	1,49E-03
3312	0,8	24	20	0,79	0,0321	1,34E-03
3302	0,84	24	20	0,84	0,0353	1,47E-03

Tabelle 10: Messdaten für Strahlgeometrie.

BeO-Id	NS/mVs	LS/ms	D/mGy	y/cm
3398	0,86	8,13	0,2777	1
3388	0,63	7,32	0,2751	3
3376	0,62	7,87	0,2754	5
3337	0,52	7,52	0,2664	7
3372	0,79	5,36	0,1993	9
3395	0,99	2,15	0,0892	11
3325	1,98	1,05	0,0498	13
3363	1,57	0,67	0,0267	15