

TU DRESDEN

FORTGESCHRITTENENPRAKTIKUM

PRAKTIKUMSBERICHT

---

# Dosimetrie

---

*Autoren:*

Toni EHMCKE  
Christian SIEGEL

*Betreuer:*

Birgit SCHNEIDER

Dresden, 21. Januar 2016

Durchführungstag, 23. Oktober 2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>2</b>
1.1	Strahlenschutzkontrollmessungen . . . . .	2
1.2	Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer . . . . .	2
1.3	Abschätzung der Dosisleistung für $\gamma$ -Strahler . . . . .	2
1.4	Dosismessung mit BeOmax und Abstandsquadratsgesetz . . .	2
1.5	Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Physikalischer Hintergrund</b>	<b>3</b>
2.1	Dosisgrößen . . . . .	3
2.2	Aktivität . . . . .	3
2.3	Messprinzip: Ionisationskammer . . . . .	4
2.4	Optisch stimulierte Lumineszenz . . . . .	4
2.5	BeOmax-Funktionsprinzip . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1	Strahlenschutzkontrollmessungen . . . . .	6
3.2	Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer . . . . .	7
3.3	Abschätzung der Dosisleistung für $\gamma$ -Strahler . . . . .	8
3.4	Dosismessung mit BeOmax und Abstandsquadratsgesetz . . .	9
3.5	Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>12</b>
4.1	Strahlenschutzmessung . . . . .	12
4.1.1	Strahlungswerte im Labor am Anfang des Versuchstages	13
4.1.2	Strahlendosis im Labor über 2 Tage . . . . .	13
4.2	Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer . . . . .	14
4.3	Abstandsquadratgesetz . . . . .	15
4.4	Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>16</b>

# 1 Aufgabenstellung

Im Experiment werden wir die folgenden Aufgabenstellungen bearbeiten:

## 1.1 Strahlenschutzkontrollmessungen

Zunächst bestimmen wir die Dosisleistung in den Bestrahlungsräumen bei geschlossener und geöffneter Quelle an Positionen, an denen später gemessen wird und an denen wir uns häufig aufhalten werden. Dies hat den Zweck der Überwachung der durch die Experimentatoren aufgenommenen Dosis und des Strahlungshintergrundes, welcher die spätere Dosismessung beeinflussen kann. Es soll eine Skizze des Messraumes mit den entsprechenden Dosiswerten entstehen.

## 1.2 Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer

Mit Hilfe einer Stielkammer ( $V = 30,0 \text{ cm}^3$ ) soll die Richtungsabhängigkeit der Ionisationskammer bei einem festen Abstand ( $d = 0,5 \text{ m}$ ) und variablem Azimutalwinkel  $\phi$  untersucht werden. Dies dient der Ermittlung der optimalen Ausrichtung der Kammer zur Bestimmung der Referenzdosisleistung für die spätere OSL-Dosimetrie.

## 1.3 Abschätzung der Dosisleistung für $\gamma$ -Strahler

Für eine  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle soll die Dosisleistung für festen Abstand ( $d = 0,5 \text{ m}$ ) und unter dem oben ermittelten Winkel  $\phi$  als Referenzdosis bestimmt werden. Dabei kann

$$\dot{D} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \quad (1)$$

abgeschätzt werden. Dabei sind:

d: Abstand zur Quelle

A: Aktivität der Quelle am Versuchstag(23.10.2015),

Referenzwert  $A(27.02.2008) = 5,0 \text{ GBq} \equiv A_0$

$\Gamma$ : Dosisleistungskonstante

## 1.4 Dosismessung mit BeO<sub>max</sub> und Abstandsquadratsgesetz

Wir werden anschließend mit Hilfe des BeO<sub>max</sub>-OSL-Dosimetriesystems eine Dosismessung vornehmen. Da dieses Messsystem ein relatives Vorgehen verlangt, wird die Messung in zwei Schritten vorgenommen: 1) der Kalibrierung mit einer bekannten Dosis ( $d = 0,5 \text{ m}$ ) durch Ermittlung des Ansprechvermögens  $\epsilon$  und 2) der Dosisbestimmung einer unbekannten Dosis ( $d$  variabel). Dabei untersuchen wir gleichzeitig die Gültigkeit des Abstandsquadratsgesetzes.

## 1.5 Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle

Wir haben bei diesem Versuch eine kollimierte  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle verwendet. Dabei werden wir die Abhängigkeit der Dosisleistung vom senkrechten Abstand zum Strahlmittelpunkt bestimmen.

## 2 Physikalischer Hintergrund

### 2.1 Dosisgrößen

Wir definieren nun die wesentlichen Größen zur Charakterisierung der Wechselwirkung/Schädigung von Materie mit ionisierender Strahlung:

Die Dosis  $D$  ist ein Maß des Energieübertrags  $dE$  ionisierender Strahlung auf ein Materie-Massenelement  $dm$ :

$$D = \frac{dE}{dm}, [D] = J/kg \equiv Gy \text{ (Gray)} \quad (2)$$

Die zeitliche Änderung der Dosis  $\dot{D}$  nennt man Dosisleistung.

Will man berücksichtigen, dass die Schädigung biologischen Gewebes sowohl von der Strahlungsart  $R$  als auch von der Gewebeart  $T$  abhängt, führt man die Wichtungsfaktoren  $w_R$  und  $w_T$  ein, um die für den Strahlenschutz wesentliche Messgröße der effektiven (Äquivalent-)Dosis  $H_E$  zu definieren:

$$H_E = \sum_{R,T} w_R \cdot w_T \cdot D_{R,T}, [H_E] = J/kg \equiv Sv \text{ (Sievert)} \quad (3)$$

Dabei findet man, dass die Dosisleistung einer Punktquelle mit dem Quadrat des Abstandes zu dieser fällt:

$$\dot{D} \propto \frac{1}{d^2}$$

Diesen Zusammenhang nennt man **Abstandsquadratgesetz**. [02]

### 2.2 Aktivität

Um die Dosisleistung für die gegebenen  $\gamma$ -Strahler in Aufgabe 2.3 abzuschätzen, benötigen wir die Aktivität  $A$  als Maß für die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen pro Zeiteinheit. Mit dem exponentiellen Zerfallsgesetz erhalten wir:

$$A(t) = A(t=0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}, [A] = 1/s \equiv Bq \text{ (Bequerel)} \quad (4)$$

Hier bei ist  $T_{1/2}$  die Halbwertszeit des gegebenen Isotops. [03]

### 2.3 Messprinzip: Ionisationskammer

Grob gesprochen ist eine Ionisationskammer ein (beliebig geformter) Kondensator, dessen Dielektrikum gasförmig (in unserem Fall Luft) vorliegt. Tritt ionisierende Strahlung (Primärteilchen) in das Kammervolumen, so entstehen durch Wechselwirkung - in unserem Falle durch inkohärente Streuung und Photoeffekt - mit den Gasteilchen Elektronen-Ionen-Paare (Sekundärteilchen), indem die Elektronen aus der Atomhülle des bindenden Atoms herausgeschlagen werden. Diese Ladungsträger gelangen nun im Idealfall durch Coulomb-Wechselwirkung zu einer Kondensatorplatte, wo sie nun als Stromfluss  $I$  nachgewiesen werden können. Für näherungsweise konstante Dosisleistungen im Zeitintervall  $\Delta t$  erhalten wir die Proportionalität zwischen dem Stromfluss und der Dosis:

$$D(t) = D(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{D}(\tau) d\tau \propto I \quad (5)$$

Ist die Kondensatorspannung (und somit auch die Feldstärke) zu niedrig, bewegen sich die geladenen Teilchen zu langsam und die Rekombinations-Wahrscheinlichkeit steigt. Ist sie andererseits zu groß, werden die Primärteilchen zu stark beschleunigt, sodass sie lawinenartig weitere Ionisationen auslösen und Sekundärladungsträger erzeugen. Beide Fälle würden die Messung verfälschen, wodurch man eine Kompromisslösung im sogenannten Sättigungsbereich finden muss.

In Gleichung 5 sehen wir die Abhängigkeit der Dosis von der Dichte des Dielektrikums  $\rho$ . Da die Dichte der Luft in unserem Detektor vom Druck  $p$ , der Temperatur  $T$  und der Luftfeuchte  $f$  abhängt, müssen wir diese Einflüsse eventuell korrigieren:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0}, \quad T_0 = 293,15 \text{ K}, \quad p_0 = 101,3 \text{ kPa}, \quad \rho_0 = 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (6)$$

Wobei  $\rho_0$  der Dichte von Luft bei Normbedingungen entspricht. Den Einfluss der Luftfeuchte wollen wir an dieser Stelle vernachlässigen. [02]

### 2.4 Optisch stimulierte Lumineszenz

Die Funktionsweise der optisch stimulierten Lumineszenz kann über ein Bändermodell erklärt werden. Grundsätzlich beschreibt das Phänomen der Lumineszenz die Lichtemission beim Übergang eines physikalischen Systems von einem angeregten in seinen Grundzustand. Die Anregung des Systems kann beispielsweise durch Strahlung erfolgen. Typischerweise tritt dieses Phänomen bei elektrischen Isolatoren auf.

Unregelmäßigkeiten im Kristallgitter erzeugen zwischen Leitungs- (LB) und

Valenzband (VB) zusätzliche Energieniveaus. Unterhalb der Fermi-Energie heißen diese Niveaus Aktivatorterme, oberhalb davon Haftterme.

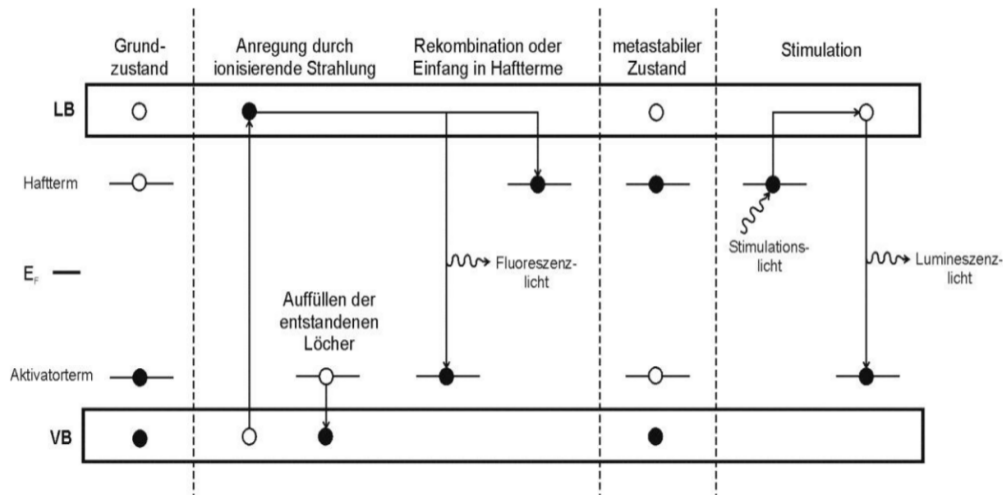


Abbildung 1: Schema zur optisch stimulierten Lumineszenz [02]

Im Grundzustand befinden sich Elektronen nur im Valenzband und den Aktivatortermen. Regt man das System allerdings an, zum Beispiel durch ionisierende Strahlung, können einige Elektronen vom Grundzustand auf das Leitungsband oder die Haftterme springen. Aus dem Leitungsband springen sie entweder direkt in den Grundzustand, wobei sie Licht emittieren, oder fallen zunächst auf den metastabilen Zustand im Haftterm, der die Elektronen einige Zeit speichert. Fällt nun Licht mit einer speziellen Wellenlänge auf das zuvor bestrahlte Material, springen die Elektronen aus den Hafttermen in das Leitungsband und fallen von dort meist in den Grundzustand, wobei sie Licht emittieren. [01]

## 2.5 BeO<sub>max</sub>-Funktionsprinzip

Wir benutzen hier passive Sonden aus Berylliumoxid als Leuchtstoff. Diese Verbindung hat eine effektive Ordnungszahl von 7,13, was eine hohe Ähnlichkeit zu menschlichem Gewebe (Weichteile: 7,42, Knochen: 10) darstellt und deshalb ähnliche Absorptionseigenschaften besitzt. Man bestrahlt die Sonden für ein zuvor berechnetes Zeitintervall. Danach sollte eine Abklingzeit von ca. 15 Minuten eingehalten werden, ehe die Sonden belichtet und ausgelesen werden. Damit wird das sogenannte Kurzzeitfading vermieden und sichergestellt, dass nur die in den Hafttermen gespeicherten Elektronen eine Rolle bei der Erzeugung des Lumineszenzlichtes spielen, bevor die Haftterme optisch angeregt werden.

Die passiven Sensoren haben jeder für sich ein spezifisches Ansprechvermögen, welches aus einem Signal vor der Bestrahlung, sowie nach der Bestrahlung und einer bekannten Referenzdosis bestimmt werden kann. Das Signal aus der Nullmessung ändert sich nach jeder optischen Stimulation und muss von Chip zu Chip und Messung zu Messung immer neu bestimmt werden. Damit berechnet sich das Ansprechvermögen folgendermaßen:

$$\epsilon = \frac{LS_R - LS_{R,0}}{D_R} \quad (7)$$

Dabei beschreiben  $LS_R$  das Lichtsignal aus der Messung bekannter Dosis,  $LS_{R,0}$  das Nullsignal und  $D_R$  die Referenzdosis. Nachfolgende Gleichung beschreibt die Errechnung der Dosis aus den Lichtsignalen der Nullmessung, der Messung nach der Bestrahlung und dem Ansprechvermögen: [01]

$$D = \frac{LS - LS_0}{\epsilon} \quad (8)$$

### 3 Durchführung

#### 3.1 Strahlenschutzkontrollmessungen

Im Ersten Arbeitsschritt haben wir die Dosen an verschiedenen Stellen im Versuchsraum vermessen. Dabei ist zu beachten, dass das verwendete Dosisleistungsmessgerät Messwerte über einen bestimmten Zeitraum (ca. 30 Sekunden) mittelt. Außerdem handelt es sich um die Dosen, welche am morgen zum Arbeitsbeginn (Tabelle 1) gemessen wurden. Im zweiten Schritt haben wir mittels vier der BeO-Sonden, die von der Betreuerin am 21.10.2015 um 16:30 Uhr im Raum verteilt deponiert wurden, am Nachmittag des Versuchstages (23.10.15) um 15 Uhr ausgelesen. (Tabelle 2)

Kollimator	Ort	$\dot{D}$ [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	$\dot{D}$ [ $\text{mSv/a}$ ]	$t_{max}$ [h]
geschlossen	Arbeitsplatz (vor PC)	0,15	1,31	109,59
	50cm hinter Quelle	0,77	6,75	21,35
	50cm rechts der Quelle	2,28	19,97	7,21
	50cm links der Quelle	2,41	21,11	6,82
	50cm vor der Quelle	6,34	55,53	2,59
	8cm hinter der Quelle	5,20	45,55	3,16
	8cm vor der Quelle	61,20	536,11	0,27
geöffnet	50cm hinter Quelle	1,06	9,29	15,51
	50cm rechts der Quelle	2,68	23,48	6,13
	50cm links der Quelle	3,22	28,71	5,11

Tabelle 1: Messtabelle für Dosisleistung an verschiedenen Orten und der daraus resultierenden maximalen Verweildauer bemessen an der Maximaldosis pro Arbeitstag.

Ort	BeO-Nr.	LS [mVs]	D [mGy]
“Mitfahrer vor Quelle”	003337	14,19	0,5028
Auf Steckerleiste:			
1,8m vor Quelle	003353	1,73	0,0587
neben Quelle	003350	1,14	0,0437
hinter Quelle	003376	0,19	0,0066

Tabelle 2: BeO-Sensordaten, die über zwei Tage im Versuchsraum gesammelt wurden.

Die BeO-Nummer ist die Identifikationsnummer des Sensors. Dadurch lassen sich alle Daten zurückverfolgen, da sich die Auswertesoftware die Nummern und die Verwendung der Sensoren merkt. Durch die IDs können dank einer intelligenten Software auch Fehler vermieden werden (eventuell verfrühte Ausleuchtung etc.) LS bedeutet hier das gemessene Lichtsignal.

### 3.2 Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer

Nun wenden wir uns der Messungen bezüglich der Winkelabhängigkeit einer zylindrischen Ionisationskammer zu. Die Messung startet bei 180° und dauert pro Winkel jeweils 60 Sekunden. Es handelt sich hier um eine aktive Sonde, die über ein Leiterkabel an ein Anzeigegerät, welches alle gemessenen Werte innerhalb des Messzeitintervalls einer Messung automatisch aufsummiert, angeschlossen wurde.

$\alpha$ [°]	d [m]	$D_0$ [ $\mu$ Gy]	$\dot{D}_0$ [ $\mu$ Gy/s]	$\dot{D}$ [ $\mu$ Gy/s]	$\Delta \dot{D}$ [ $\mu$ Gy/s]
180	0,50	18,29	0,3048	0,3089	0,00073
150	0,50	18,26	0,3043	0,3084	0,00073
120	0,50	17,94	0,2990	0,3030	0,00072
90	0,50	17,66	0,2943	0,2982	0,00072
60	0,50	17,49	0,2915	0,2954	0,00071
30	0,50	17,19	0,2865	0,2903	0,00071
0	0,50	17,24	0,2873	0,2911	0,00071
330	0,50	17,38	0,2897	0,2935	0,00071
300	0,50	17,52	0,2920	0,2959	0,00071
270	0,50	17,81	0,2968	0,3008	0,00072
240	0,50	18,13	0,3022	0,3062	0,00073
210	0,50	18,26	0,3043	0,3084	0,00073
180	0,50	18,39	0,3065	0,3106	0,00073

Tabelle 3: Messwerte aus der Winkelabhängigkeit der Zylinderkammer.



Die Drehung der zylindrischen Ionenstrahlkammer wurde um die z-Achse vorgenommen. Dabei sind 180° gerade die vorgegebene Vorzugsrichtung, in der die Kammer Richtung Quelle zeigt. Dies wurde am Gerät durch eine grüne Strichmarkierung angezeigt. Während der Messungen betrugen die Temperatur im Raum  $T = (294,75 \pm 0,3) K$ , der Druck  $p = (100,52 \pm 0,01) kPa$  und die Luftfeuchtigkeit 54%. Dabei sind die Fehler für Temperatur und Druck abgeschätzt. Während die Temperatur im Raum Schwankungen unterworfen war, konnte der Luftdruck nahezu erhalten bleiben. Bezüglich  $\dot{D}_0$  schätzen wir aufgrund des statistischen Charakters während der Messungen inklusive des Digits einen Fehler von  $\Delta D = 0,03 \mu Gy$  ab.  $\dot{D}$  bezeichnet die Luftdruck-Temperatur-korrigierte Dosisleistung. Sie ergibt sich folgendermaßen aus Formel (6):

$$\dot{D} = \kappa \dot{D}_0 \quad \text{mit} \quad \kappa = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p}$$

Dies führt uns auf folgenden Fehler:

$$\Delta \dot{D} = \dot{D} \sqrt{\left(\frac{\Delta \kappa}{\kappa}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \dot{D}_0}{\dot{D}_0}\right)^2} \quad \text{wobei} \quad \Delta \kappa = \kappa \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2}$$

Da wir die Temperatur als nahezu konstant annehmen ist  $\Delta \kappa / \kappa = 0,17\%$  auch eine Konstante.  $\Delta \dot{D} / \dot{D}$  scheint zunächst unbekannt. Es ergibt sich jedoch aus einer nahezu fehlerfreien Zeitmessung (computergesteuert) und  $\dot{D} = D / \Delta t$ :

$$\frac{\Delta \dot{D}}{\dot{D}} = \frac{\Delta D}{D}$$

### 3.3 Abschätzung der Dosisleistung für $\gamma$ -Strahler

Als nächstes widmeten wir uns der Messung der Dosis in verschiedenen Abständen. Dieses Mal verwendeten wir das BeOmax-System. Wir verwenden immer vier der Beo-Chips in einer nahezu quadratischen Anordnung zwischen zwei verschieden dicken Plexiglas-Platten. Die dickere Platte zeigt stets von der Quelle weg. Die BeO's müssen immer mit etwa  $\Delta D = 120 \mu Gy$  bestrahlt werden, was bei verschiedenen Abständen  $d$  zu verschiedenen Messzeitintervallen führt. Unter Verwendung von (1) und (4) erhalten wir als Abschätzung für die Bestrahlzeit:

$$\Delta t = \frac{d^2 \cdot \Delta D}{A(t) \cdot \Gamma} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} \cdot \frac{d^2 \cdot \Delta D}{A_0 \cdot \Gamma} \quad (9)$$

<b>d [m]</b>	<b><math>\Delta t</math> [min]</b>
0,2	0,78
0,3	1,76
0,4	3,12
0,5	4,88
0,6	7,03
0,7	9,56
0,8	12,49
0,9	15,81
1,0	19,51

Tabelle 4: ungefähre Bestrahlungsdauer in Abhängigkeit vom Abstand.

Da der Zeitpunkt des endgültigen Verschließens der kollimierten Quelle nur sehr grob abgeschätzt werden kann, dienen die obigen Zeiten nur zur Orientierung und werden in der folgenden Messung erneut aufgenommen.

### 3.4 Dosismessung mit BeO<sub>max</sub> und Abstandsquadratsgesetz

Zunächst führen wir für 4 BeOs eine Kalibrationsmessung durch, indem wir das Ansprechvermögen  $\epsilon$  nach Gleichung (7) bestimmen. In Abschnitt 3.2 haben wir dafür die Dosisleistung bei  $d = 0,5$  m und  $\alpha = 180^\circ$  mit  $\dot{D}_{ref} = (0,309 \pm 0,002) \mu\text{Gy/s}$  bestimmt. Es ergibt sich durch die längere Messzeit von  $\Delta t = 292,8$  s eine Dosis von  $D_{ref} = \dot{D}_{ref} \cdot \Delta t = (90,5 \pm 0,7) \mu\text{Gy}$ . Wobei ein systematischer Fehler bei der Zeitmessung von  $\Delta(\Delta t) = 1$  s als Reaktionszeit angenommen wurde. Wir wiederholen nun die Messung mit dem BeO<sub>max</sub>-System und bestimmen das Ansprechvermögen:

<b>d [m]</b>	<b>BeO-Nr.</b>	<b>LS<sub>0</sub> [mVs]</b>	<b>LS [mVs]</b>	<b><math>\epsilon [\frac{Vs}{Gy}]</math></b>	<b><math>\Delta\epsilon [\frac{Vs}{Gy}]</math></b>
0,5	003305	0,66	2,84	24,1	0,2
	003398	0,85	3,68	31,3	0,2
	003372	0,77	3,34	28,4	0,2
	003312	0,81	3,18	26,2	0,2

Tabelle 5: Bestimmung des Ansprechvermögens.

Nun kommen wir zu den Messergebnissen für verschiedene Abstände. Verwendet wurden vier in der Mitte einer Plexiglas-Platte aufgebrachte BeO-Sensoren. Diese wurden für die in Tabelle 4 genannten Zeiten bestrahlt. Die Dosiswerte der beiden Abstände  $d = 0,5$  m und  $d = 0,6$  m wurden leider nicht mit bereits kalibrierten BeO's vermessen. Wir haben diese allerdings von Hand über die vom PC bekannten Ansprechvermögen  $\epsilon$  nachträglich ausgerechnet:

<b>d [m]</b>	<b>BeO-Nr.</b>	<b>LS<sub>0</sub> [mVs]</b>	<b>LS [mVs]</b>	<b>D [mGy]</b>
0,3	003305	0,65	1,99	0,0853
	003398	0,86	2,52	0,0863
	003372	0,79	2,28	0,0850
	003312	0,84	2,09	0,0846
0,4	003302	0,93	2,09	0,0883
	003332	0,70	2,59	0,0899
	003395	1,04	2,09	0,0870
	003325	2,16	2,99	0,1415
0,5	003305	0,66	2,84	0,0955
	003398	0,85	3,86	0,0933
	003312	0,82	3,18	0,1029
	003372	0,77	3,34	0,0956
0,6	003397	0,68	2,01	0,0954
	003364	0,80	2,92	0,0957
	003388	0,67	3,32	0,1134
	003338	0,62	3,13	0,0932
0,7	003312	0,82	2,48	0,1005
	003305	0,69	2,36	0,1008
	003398	0,88	3,00	0,1025
	003372	0,78	2,69	0,1002
0,8	003397	0,66	2,36	0,1011
	003388	0,72	2,73	0,1025
	003364	0,74	2,39	0,1078
	003338	0,61	2,70	0,1004
0,905	003325	2,18	2,15	0,1019
	003395	1,05	2,38	0,0988
	003332	0,69	3,05	0,1056
	003302	0,91	2,50	0,1056
1,0	003372	0,80	2,71	0,1010
	003312	0,82	2,57	0,1038
	003398	0,86	3,08	0,1051
	003305	0,67	1,83	0,0785

Tabelle 6: Sensor-ID, Lichtsignal der Nullmessung, Lichtsignal nach Bestrahlung und Dosis.

Damit haben wir nun die Dosisleistung für die einzelnen Abstände bestimmt, um das Abstandsquadratsgesetz zu überprüfen:

d [m]	$\bar{D}$ [ $\mu\text{Gy}$ ]	$\Delta D_{sys}$ [ $\mu\text{Gy}$ ]	$\sigma(\bar{D})$ [ $\mu\text{Gy}$ ]	$\Delta t$ [s]	$\dot{D}$ [ $\mu\text{Gy/s}$ ]	$\Delta \dot{D}$ [ $\mu\text{Gy/s}$ ]
0.3	85	2.6	0.36	112	0.761	0.028
0.4	88	2.6	0.84	195	0.453	0.018
0.5	97	2.8	2.08	293	0.331	0.017
0.6	99	2.8	4.69	422	0.236	0.018
0.7	101	2.8	0.51	576	0.175	0.006
0.8	103	2.8	1.67	750	0.137	0.006
0.9	103	2.8	1.64	975	0.106	0.005
1.0	97	2.8	6.26	1170	0.083	0.008

Tabelle 7: Dosisleistung in Abhängigkeit vom Abstand.

Dabei wurden folgende Relationen verwendet:

$$\Delta D_{sys} = 1,5\mu\text{Gy} + 0,013 \cdot D$$

$$\Delta \dot{D} = \dot{D} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} + \dot{D} \cdot \frac{\sigma(\bar{D})}{D}$$

Wobei  $\Delta(\Delta t) = 1$  s als Reaktionszeit, um den Stopfen auf die Quelle zu packen, abgeschätzt wurde. Es wurden die Stoppuhrzeiten notiert - die vorher theoretisch berechneten Zeiten dienten nur als grobe Orientierung.

### 3.5 Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle

Zuletzt interessiert uns die Strahlaufweitung unserer Quelle. Dafür nahmen wir acht BeO-Sonden, die wir nebeneinander in einer Reihe auf die 16cm breite Plexiglas-Halterung legten. Die Sonden sind diesmal nicht zentriert, sondern vom Zentrum rechtsseitig versetzt platziert worden. Der sich daraus ergebende transversale Abstand wird mit  $s$  bezeichnet. Der Abstand des Sensors zum Zentrum des Strahls beträgt  $d = 0,3$  m. Daraus ergibt sich eine ungefähre Bestrahlungsdauer von  $\Delta t = 5$  min. Die Bestrahlungsdauer wurde größer gewählt als bei den vorigen Messungen, da die aufgenommene Dosis der weiter außen angebrachten Detektoren sonst zu niedrig ausfallen könnte.

BeO-Nr.	s [m]	LS <sub>0</sub> [mVs]	LS [mVs]	D [ $\mu$ Gy]	$\Delta$ D [ $\mu$ Gy]
003338	0.01	0,62	6,17	229	4,5
003302	0.03	0,92	5,43	229	4,5
003337	0.05	0,48	6,36	225	4,4
003364	0.07	0,74	4,98	225	4,4
003353	0.09	0,44	5,10	173	3,8
003388	0.11	0,68	2,15	81	2,6
003332	0.13	0,73	1,37	48	2,1
003376	0.15	0,59	0,74	26	1,8

Tabelle 8: Messung der Strahlaufweitung der Quelle durch den Kollimator.

## 4 Auswertung

### 4.1 Strahlenschutzmessung

In Aufgabe 1 nahmen wir Messungen bezüglich des Strahlenschutzes vor. Dazu verwendeten wir ein mobiles Dosimeter und nahmen die aus Tabelle 1 bekannten Messdaten an verschiedenen Orten auf. Zur besseren Verdeutlichung, wo wir gemessen haben, folgt eine Skizze des Labors.

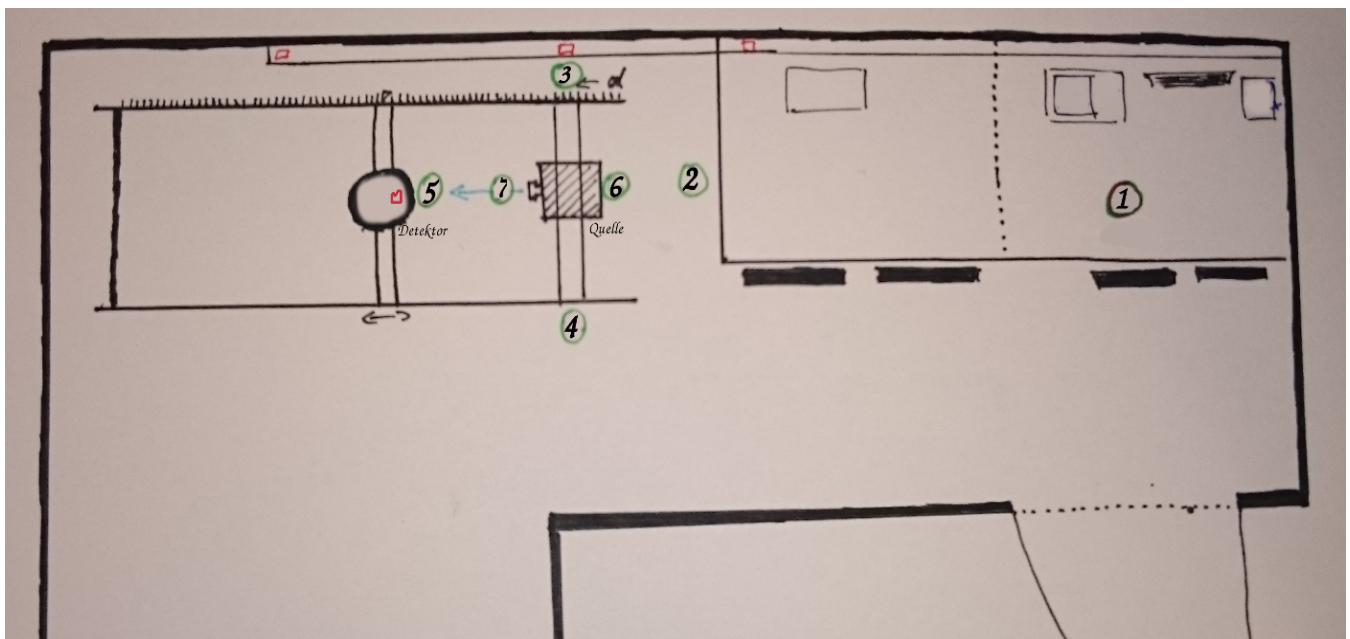


Abbildung 2: Raumskizze zu Messorten (nicht maßstabsgerecht)

**1:** Arbeitsplatz, **2:** 50cm hinter Quelle, **3:** 50cm rechts der Quelle, **4:** 50cm links, **5:** 50cm davor, **6:** 8cm dahinter, **7:** 8cm davor.

Die roten Kästchen im Bild bezeichnen die vier Punkte, an denen die BeO-Detektoren lagen. Die oberen drei liegen auf einer Steckerleiste, ca. 40cm unterhalb der Quelle. Das Kästchen bei **5** bezeichnet den "Mitfahrer".

#### 4.1.1 Strahlungswerte im Labor am Anfang des Versuchstages

Schauen wir uns nun interessante Orte an. Tabelle 1 zeigt deutlich, dass am PC-Arbeitsplatz kein Risiko besteht, die 6mSv, die ein Praktikant oder Auszubildender im Jahr nicht überschreiten darf, zu erreichen. Nähert man sich der Quelle auf 50cm an und bleibt dahinter stehen, so verringert sich offenbar die maximale Aufenthaltsdauer pro Tag. Offenbar ist ein achtstündiger Arbeitstag noch immer in der Maximaldauer von 21 Stunden enthalten.

Jetzt wird es interessanter. Links und rechts von der Quelle, scheint die Abschirmung des Kollimators nicht mehr so stark wie hinter der Quelle. Ein Arbeitstag darf von einem Praktikanten also nicht daneben verbracht werden, sondern höchstens 7 Stunden - pro Tag, 7 Tage die Woche. In der Strahlrichtung vor der Quelle misst man erwartungsgemäß deutlich höhere Dosen, die die maximale Verweildauer pro Tag minimieren. 8cm vor der verschlossenen Kollimatoröffnung sollte man sich als Student möglichst weniger als 20 Minuten aufhalten.

Deutlich wird auch, dass die Belastung durch Strahlung überall um die Quelle größer wird, wenn man den Kollimatorverschluss öffnet. So haben wir hinter dem Kollimator zwar immer noch fast zwei Arbeitstage, um die Tagesdosis zu erreichen, verlieren aber in Zahlen sechs Stunden an Aufenthaltsdauer. Dabei ist zu beachten, dass die Tagesdosis den ganzen Tag betrifft, also 24 Stunden. Die Maximaldauer ergibt sich aus der durchschnittlichen Tagesdosis folgendermaßen:

$$t_{max} = \frac{0,0164mSv}{\dot{D}}$$

Dabei trägt  $\dot{D}$  die Einheit mSv/h

Bezüglich der Messergebnisse kann man noch weitere Fehlerquellen erwähnen. Das verwendete Dosisleistungsmessgerät ist nicht nur einer Unsicherheit durch den Haltenden ausgesetzt, sondern es wurde auch bemerkt, dass zu verschiedenen Zeitpunkten die Messwerte sprunghaft in die Höhe schnellten und sich nach ca. zwei Minuten normalisierten, was mehreren Intervallen entspricht, über die das Gerät mittelt. Dies wurde in etwa einem Meter Abstand von der Quelle kurz nach der Messung der Dosisleistung auf der linken Seite der Quelle beobachtet.

#### 4.1.2 Strahlendosis im Labor über 2 Tage

Nun schauen wir uns Tabelle 2 an. Hier wurden Daten über fast zwei Tage gesammelt. Man sieht deutlich, dass der Mitfahrer, welcher am Versuchstag

immer schwankenden Werten ausgesetzt war, eine Dosis von etwa 0,5mSv gemessen hat. Dies entspricht etwa der Hälfte von dem, was eine Standardperson in einem Jahr an künstlicher Strahlendosis erfahren darf. Fraglich ist allerdings, ob dieser Wert nicht ein Ergebnis von Störungen, die andere Experimente verursacht haben, ist, da auch mit dem tragbaren Dosisleistungsmessgerät zwischenzeitlich einzelne Peaks gemessen wurden, wenngleich der Wert realistisch scheint. Man erkennt allerdings gut, dass der BeO-Sensor, der hinter der Quelle lag, eine deutlich geringere Strahlendosis maß als jene, die auf der Steckerleiste 1,8m vor und auf der Steckerleiste neben der Quelle lagen. Dies bestätigt die Vermutung, die Abschirmung hinter der Quelle sei stärker als jene an den Seiten.

#### 4.2 Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer

Die Aufgabe hier bestand im Nachweis einer bevorzugten Messausrichtung der uns zur Verfügung gestellten Ionisationskammer. In Tabelle 3 haben wir die Messdaten sowie die luftdruck- und temperaturkorrigierten Dosisleistungen notiert. Diese wurden in folgendem Diagramm aufgetragen.

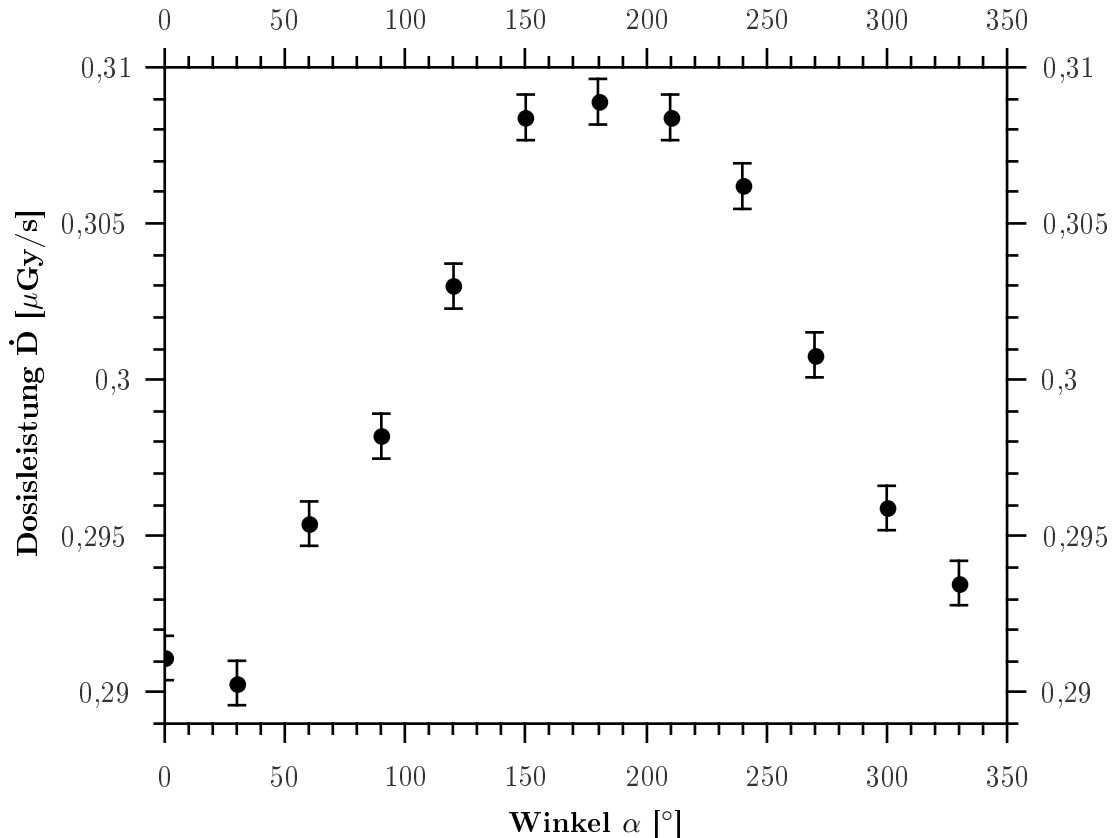


Abbildung 3: Messung der Vorzugsrichtung.

Bei  $180^\circ$  kann man deutlich ein Maximum des Ansprechvermögens bei konstant angenommener Aktivität der Quelle erkennen. Dies entspricht der uns durch einen roten Strich vorgegebenen Vorzugsrichtung. Ebenfalls deutet sich eine asymmetrische Empfindlichkeit über den Winkel  $\alpha$  an.

### 4.3 Abstandsquadratgesetz

Wir haben durch unsere Messung mit dem *Beomax*-System das Abstandsquadratgesetz bestätigt. Dafür haben wir die Werte aus Tabelle 7 geplottet und einen Fit der Form  $\dot{D} = c/(d+d_0)^2$  gemacht, welcher unter Betrachtung der Fehlerintervalle sehr gut passt. Da die am Boden befindliche Messskala, an der wir den Abstand  $d$  abgelesen haben, bündig mit der Öffnung des Kollimators begonnen hat, die Quelle sich aber tatsächlich in einem Abstand  $d' = d + d_0$  vom Messpunkt befand, haben wir den zusätzlichen Verschiebungsparameter  $d_0$  eingeführt, um zusätzlich die wahre Position der Quelle zu bestimmen.

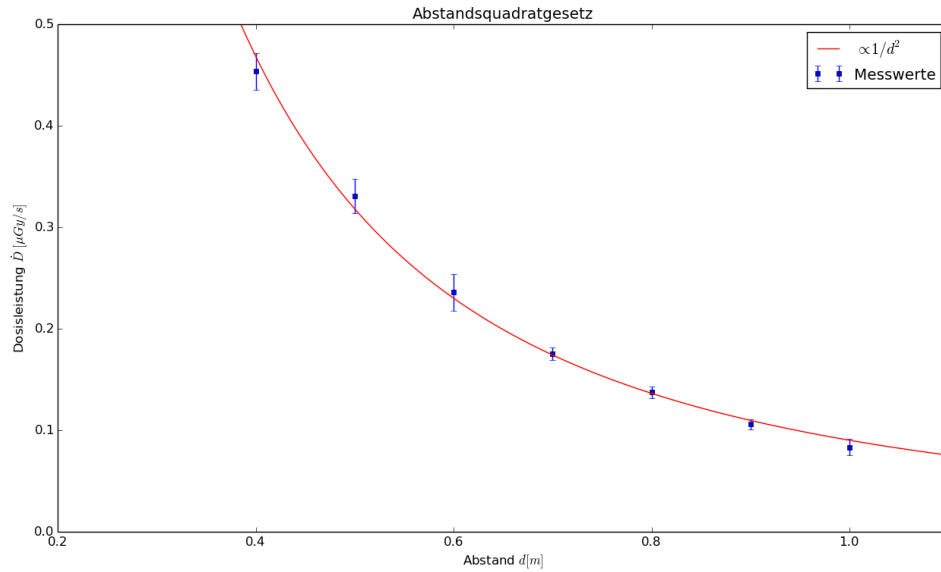


Abbildung 4: Bestätigung des Abstandsquadratgesetzes.

Wir haben die Fit-Parameter, und somit die wahre Position der Quelle, (mit ihren Standardabweichungen) wie folgt bestimmt:

$$c = (0,068 \pm 0,009) \mu\text{Gym}^2/\text{s}$$

$$d_0 = (0,103 \pm 0,004) \text{ m}$$



Dabei ist anzumerken, dass wir den Messwert für  $d = 0,3$  m beim Fitten nicht mit einbezogen haben, da sich dieser - vermutlich aufgrund einer zu kurzen Bestrahlungszeit - nicht gut in die anderen Messwerte einreicht.

#### 4.4 Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle

Wir haben in Tabelle 8 den Zusammenhang zwischen dem transversalem Abstand zur Öffnung des Kollimators und der Dosisleistung bestimmt. Folgende Graphik veranschaulicht unsere Ergebnisse:

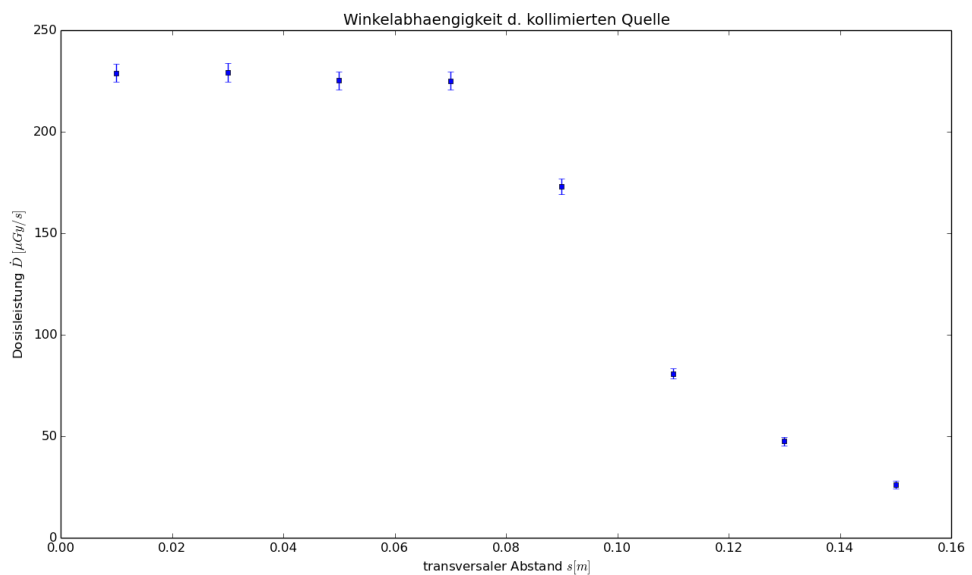


Abbildung 5: Aufweitung der kollimierten Quelle.

Man sieht, dass sich die Dosisleistung bis zu einem Abstand  $d = 0,07$  m nicht ändert, da dies der Bereich ist, auf dem die aus der Kollimatoröffnung austretenden Photonen entweder direkt oder durch Beugung an der Öffnung auftreten. Für größere Abstände fällt die Dosis - wie erwartet - rapide ab, da dann ausschließlich wenige gebeugte oder reflektierte Photonen in diese Bereiche geraten beziehungsweise die meisten  $\gamma$ -Quanten durch die Abschirmung gestoppt werden.

## 5 Diskussion

In Aufgabe 1 werden Strahlenschutzkontrollmessungen vorgenommen. Die Ergebnisse fallen erwartungsgemäß aus. An der Quelle sollte man sich weniger lang aufhalten als in zwei Metern Entfernung am PC-Arbeitsplatz.

Man lernt außerdem, dass die Zeit, die man während der Öffnung des Kollimators in dessen Nähe verbringt, möglichst noch kleiner sein sollte als bei geschlossenem Kollimator. So werden die Grenzwerte für Auszubildende in einem Abstand von 50 Zentimetern bei geöffneter Kollimierung sechs Stunden früher erreicht als bei geschlossener Abdeckung. Von den BeO-Sonden erhält man Daten, die dies bestätigen und für den „Mitfahrer“ die Summe der Strahlendosen über zwei Tage, welche sogar klar macht, dass die Grenzwerte für nicht beruflich strahlenexponierte Menschen sehr schnell erreicht werden, sofern sie sich direkt vor der Quelle befinden.

In Aufgabe 2 wird die Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer untersucht. Es stellt sich anhand der Messwerte heraus, dass diese keineswegs eine Symmetrie bezüglich der Winkel aufweisen muss, wie man es möglicherweise erwartet. Als optimalen Winkel wurde  $\phi = 180^\circ$  ermittelt, was genau der oben erwähnten Markierung entspricht. An dieser Stelle ermittelt man die Referenzdosis für die OSL-Dosimetrie. Die Referenzdosisleistung beträgt  $D_{ref} = 0,309 \pm 0,002 \mu\text{Gy/s}$ . Diese benötigt man, um das Ansprechvermögen der BeO-Detektoren zu bestimmen.

Aufgabe 4 besteht darin, mit dem BeO<sub>max</sub>-System Dosen in verschiedenen Abständen zu vermessen, um damit das Abstandsquadratgesetz zu bestätigen. Dies ist auch gelungen.

Zuletzt wird noch die Strahlaufweitung, welche durch die Kollimatoröffnung hervorgerufen wird, untersucht. Dies ist Aufgabe 5. Dies wurde mittels der Abhängigkeit der Dosisleistung vom senkrechten Abstand von Strahlmittelpunkt vorgenommen. Bis zu einem Abstand  $s = 7 \text{ cm}$  bleibt die Dosisleistung annähernd konstant. Darüber hinaus kann man erkennen, wie sie rapide abfällt.

## **Literatur**

- [01] A.Jahn: Dosimetrie. Dresden,03/2008
- [02] A.Jahn, C. Müller: Versuchsanleitung Grundpraktikum Dosimetrie. Dresden,03/2015
- [03] PD Dr. J. Henniger; Dr. R. Schwierz; F. Hartung: Radiometrie 1 - Geiger-Müller-Zählrohr. Dresden,03/2015