

TU DRESDEN

FORTGESCHRITTENENPRAKTIKUM

PRAKTIKUMSBERICHT

Dosimetrie

Author:

Toni EHMCKE
Christian SIEGEL

Betreuer:

Birgit SCHNEIDER

Dresden, 30. Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Aufgabenstellung	3
2.1	Strahlenschutzkontrollmessungen	3
2.2	Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer	3
2.3	Abschätzung der Dosisleistung für γ -Strahler	3
2.4	Dosismessung mit BeOmax und Abstandsquadratsgesetz . . .	3
2.5	Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle	4
3	Physikalischer Hintergrund	4
3.1	Dosisgrößen	4
3.2	Aktivität	4
3.3	Messprinzip: Ionisationskammer	4
3.4	Dosimetrie vermittelt optisch stimulierter Lumineszenz . . .	5
3.5	BeOmax-Funktionsprinzip	5
4	Durchführung	6
4.1	Strahlenschutzkontrollmessungen	6
4.2	Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer	7
4.3	Abschätzung der Dosisleistung für γ -Strahler	7
4.4	Dosismessung mit BeOmax und Abstandsquadratsgesetz . . .	8
4.5	Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle	10
5	Auswertung	11
5.1	Strahlenschutzmessung	11
5.1.1	Strahlungswerte im Labor am Anfang des Versuchstages	11
5.1.2	Strahlendosis im Labor über 2 Tage	12

1 Einführung

Hallo Einführung!

2 Aufgabenstellung

Im Experiment werden wir die folgenden Aufgabenstellungen bearbeiten:

2.1 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.

2.2 Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer

Mit Hilfe einer Stielkammer ($V = 30,0 \text{ cm}^3$) soll die Richtungsabhängigkeit der Ionisationskammer bei einem festem Abstand ($d = 0.5 \text{ m}$) und variablem Azimutalwinkel ϕ untersucht werden. Dies dient der Ermittlung der optimalen Ausrichtung der Kammer zur Bestimmung der Referenzdosisleistung für die spätere OSL-Dosimetrie.

2.3 Abschätzung der Dosisleistung für γ -Strahler

Für eine ^{137}Cs -Quelle soll die Dosisleistung für festen Abstand ($d = 0.5 \text{ m}$) und unter dem oben ermittelten Winkel ϕ 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(22.10.2015),

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

Γ : Dosisleistungskonstante

2.4 Dosismessung mit BeO_{max} und Abstandsquadratsgesetz

Wir werden anschließend mit Hilfe des BeO_{max}-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 ϵ und 2) der Dosisbestimmung einer unbekannten Dosis (d variabel). Dabei untersuchen wir gleichzeitig die Gültigkeit des Abstandsquadratsgesetzes.

2.5 Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle

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

3 Physikalischer Hintergrund

3.1 Dosisgrößen

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

Definition 1 (Dosisgrößen)

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:

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

3.2 Aktivität

Um die Dosisleistung für die gegebenen γ -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.

3.3 Messprinzip: Ionisationskammer

Grob gesprochen ist eine Ionisationskammer ein (beliebig geformter) Kondensator, dessen Dielektrikum gasförmig (in unserem Fall Luft) vorliegt. Tritt ionisierende Strahlung in das Kammervolumen, so entstehen durch

Wechselwirkung mit den Gasteilchen Elektronen-Ionen-Paare (Primärteilchen). Die dabei herausgelösten Ladungsträger gelangen nun im Idealfall durch Coulomb-Wechselwirkung zu einer Kondensatorplatte, wo sie nun als Stromfluss I nachgewiesen werden können. Wie wir später sehen werden ist der Stromfluss proportional zu unserer zu ermittelnden Dosis.

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.

Bezeichnen wir den mittleren Energieaufwand pro Ionisation mit w , den Gesamtenergieaufwand mit E und die Anzahl der Ionisationen mit N , erhalten wir mit Definition (2) die für Aufgabe 2.2 entscheidende Formel:

$$w = E/N \quad (5)$$

$$D = \frac{dE}{dm} = \frac{E}{m} = \frac{w \cdot N}{\rho \cdot V} \quad (6)$$

$$I = e \cdot \dot{N} : \dot{D} = \frac{w}{e \cdot \rho \cdot V} \cdot I \quad (7)$$

Das heißt für näherungsweise konstante Dosisleistungen im Zeitintervall Δt erhalten wir die Proportionalität zwischen dem Stromfluss und der Dosis:

$$D(t) = D(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{D}(\tau) d\tau \approx \frac{w \cdot \Delta t}{e \cdot \rho \cdot V} \cdot I \quad (8)$$

Nun wollen wir noch die Abhängigkeit des Ergebnisses vom Druck p und der Temperatur T berücksichtigen:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0}, \quad T_0 = 293,15 \text{ K}, \quad p_0 = 101,3 \text{ kPa}, \quad \rho_0 = 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (9)$$

3.4 Dosimetrie vermittelt optisch stimulierter Lumineszenz

Die Funktionsweise der optisch stimulierten Lumineszenz kann über ein Bändermodell erklärt werden.

3.5 BeO_{max}-Funktionsprinzip

Wir benutzen hier passive Sonden aus Berylliumoxid als Leuchtstoff. Diese Verbindung hat eine effektive Ordnungszahl von 7,13

4 Durchführung

4.1 Strahlenschutzkontrollmessungen

Im Ersten Arbeitsschritt haben wir die Dosen an verschiedenen Stellen im Versuchsraum vermessen. Dabei ist zu beachten, dass das verwendete Dosimeter 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 ??)

Ort	\dot{D} [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} [mSv/a]	t_{\max} [min/d]
Arbeitsplatz (vor PC)	0,15	1,31	750,61
50cm hinter Quelle	0,77	6,75	146,61
50cm rechts der Quelle	2,28	19,97	49,38
50cm links der Quelle	2,41	21,11	46,72
50cm vor der Quelle	6,34	55,53	17,76
8cm hinter der Quelle	5,20	45,55	21,65
8cm vor der Quelle	61,20	536,11	1,84
50cm hinter Quelle	1,06	9,29	106,22
50cm rechts der Quelle	2,68	23,48	42,01
50cm links der Quelle	3,22	28,71	34,97

Tabelle 1: Messtabelle für Dosisleistung an verschiedenen Orten und der daraus resultierenden maximalen Verweildauer pro Tag

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.

4.2 Winkelabhängigkeit einer Ionisationskammer

Nun wenden wir uns der Messungen bezüglich der Winkelabhängigkeit einer zylindrischen Ionenstrahlkammer 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.

α [°]	d [m]	D_0 [μ Gy]	\dot{D}_0 [μ Gy/s]	\dot{D} [μ Gy/s]
180	0,50	18,29	0,304	0,308
150	0,50	18,26	0,304	0,308
120	0,50	17,94	0,299	0,303
90	0,50	17,66	0,294	0,297
60	0,50	17,49	0,292	0,295
30	0,50	17,19	0,287	0,290
0	0,50	17,24	0,288	0,291
330	0,50	17,38	0,290	0,293
300	0,50	17,52	0,292	0,295
270	0,50	17,81	0,297	0,300
240	0,50	18,13	0,302	0,306
210	0,50	18,26	0,305	0,309
180	0,50	18,39	0,306	0,310

Tabelle 3: Messwerte aus der Winkelabhängigkeit der Zylinderkammer

Die Drehung der zylindrischen Ionenstrahlkammer wurde um die z-Achse vorgenommen. Dabei sind 180° gerade die Vorzugsrichtung, in der die Kammer Richtung Quelle zeigt. Dies wurde am Gerät durch eine grüne Strichmarkierung angezeigt.

4.3 Abschätzung der Dosisleistung für γ -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 verschiedenen dicken Plexiglas-Platten. Die dickere Platte zeigt stets von der Quelle weg. Die BeO's müssen immer mit etwa $\Delta D = 120 \mu\text{Gy}$ bestrahlt werden, was bei verschiedenen Abständen d zu verschiedenen Messzeitintervallen führt. Unter Verwendung von (1) und (4) erhalten wir als Abschätzung für die Bestrahlzeit:

$$\Delta t = \frac{d^2 \cdot \Delta D}{A(t) \cdot \Gamma} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} \cdot \frac{d^2 \cdot \Delta D}{A_0 \cdot \Gamma} \quad (10)$$

d [m]	Δt [min]
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

Diese Zeiten wurden nur als grobe Orientierungspunkte verwendet und sind aufgrund verschiedener Faktoren nicht genau eingehalten worden.

4.4 Dosismessung mit *BeO_{max}* und Abstandsquadratsgesetz

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. Zunächst führen wir für 4 BeOs eine Kalibrationsmessung durch, indem wir das Ansprechvermögen $\epsilon = (LS - LS_0)/D_{ref}$ bestimmen. In Abschnitt 4.2 haben wir dafür die Dosisleistung bei $d = 0,5\text{ m}$ und $\alpha = 180^\circ$ mit $\dot{D}_{ref} = (0,309 \pm 0.001)\mu Gy/s$ bestimmt. Es ergibt sich durch die längere Messzeit von $\Delta t = 292,8\text{ s}$ eine Dosis von $D_{ref} = \dot{D}_{ref} \cdot \Delta t = (90,5 \pm 0,4)\mu Gy$. Wobei ein systematischer Fehler bei der Zeitmessung von $\Delta(\Delta t) = 0,5\text{ s}$ als Reaktionszeit angenommen wurde. Wir wiederholen nun die Messung mit dem *BeO_{max}*-System und bestimmen das Ansprechvermögen:

d [m]	BeO-Nr.	LS_0 [mVs]	LS [mVs]	$\epsilon [\frac{mVs}{\mu Gy}]$
0,5	003305	0,66	2,84	0.024
	003398	0,85	3,68	0.031
	003372	0,77	3,34	0,028
	003312	0,81	3,18	0,026

Tabelle 5: Bestimmung des Ansprechvermögens

d [m]	BeO-Nr.	LS₀ [mVs]	LS [mVs]	D [mGy]
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

Die Dosiswerte der beiden Abstände $d = 0,5m$ und $d = 0,6m$ wurden leider nicht vermessen. Wir haben diese allerdings von Hand über die vom PC bekannten Ansprechvermögen ϵ nachträglich ausgerechnet. Damit haben wir nun die Dosisleistung für die einzelnen Abstände bestimmt, um das Abstandsquadratgesetz zu überprüfen:

d [m]	\bar{D} [μGy]	ΔD_{sys} [μGy]	$\sigma(\bar{D})$ [μGy]	Δt [s]	\dot{D} [$\mu Gy/s$]	$\Delta \dot{D}$ [$\mu Gy/s$]
0.3	85	2.6	0.36	112	0.437	0.016
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:

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

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

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

4.5 Winkelabhängigkeit der kollimierten Quelle

Zuletzt interessiert uns die Strahlaufweitung unserer Quelle. Dafür nahmen acht BeO-Sonden, die wir nebeneinander in einer Reihe auf die 16cm breite Plexiglas-Halterung legten. Die Sonden diesmal nicht zentriert, sondern von Zentrum rechtsseitig versetzt worden. Der Abstand zum Sensor um Zentrum des Strahls beträgt $d = 0,3$ m. Daraus ergibt sich eine ungefähre Bestrahlungsdauer von $\Delta t = 5$ min. Die Zeit ist größer als bei den Abstandsmessungen zuvor, da sich die Abstände mit wachsendem Winkel verändert.

BeO-Nr.	s [cm]	LS ₀ [mVs]	LS [mVs]	D [mGy]
003338	1	0,62	6,17	0,2289
003302	3	0,92	5,43	0,2292
003337	5	0,48	6,36	0,2252
003364	7	0,74	4,98	0,2250
003353	9	0,44	5,10	0,1731
003388	11	0,68	2,15	0,0808
003332	13	0,73	1,37	0,0475
003376	15	0,59	0,74	0,0260

Tabelle 8: Messung der Strahlaufweitung der Quelle durch den Kollimator

5 Auswertung

5.1 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.

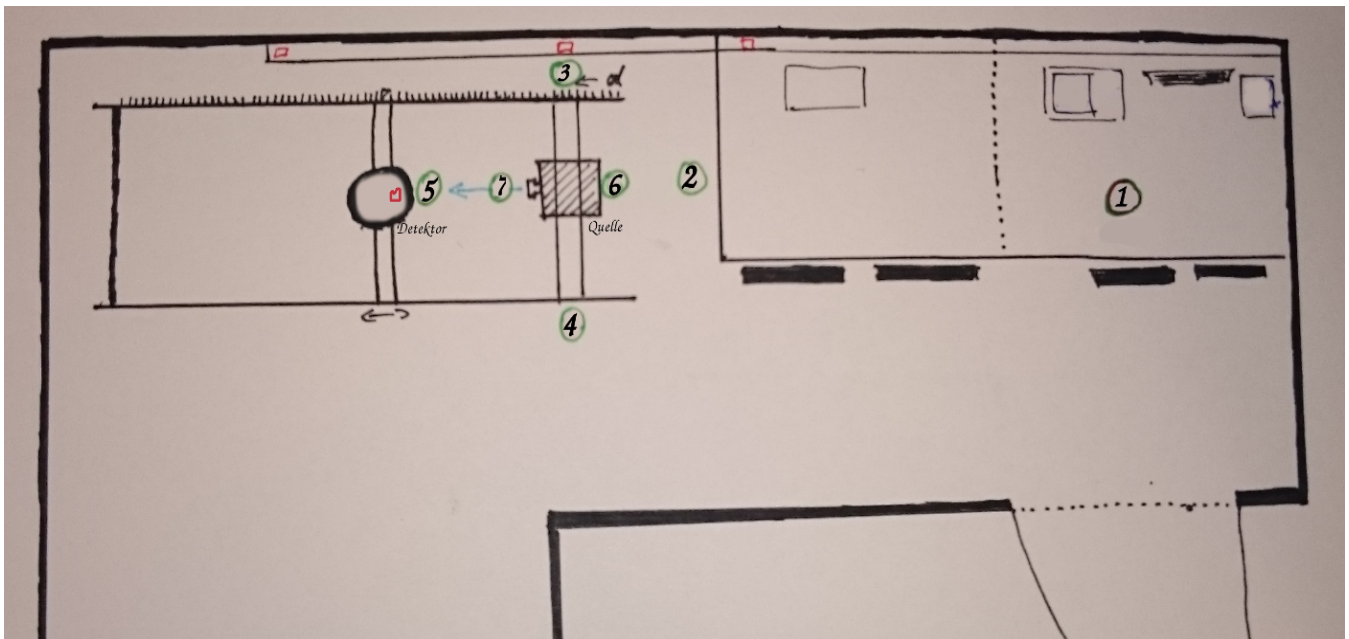


Abbildung 1: Raumskizze zu Messorten (nicht maßstabsgerecht)

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".

5.1.1 Strahlungswerte im Labor am Anfang des Versuchstages

Zunächst gehen wir auf Tabelle 1 ein. Die Werte unterhalb des zweiten Trennstriches sind bei geöffnetem Kollimatorverschluss aufgenommen worden, während die darüber bei geschlossenem Verschluss notiert wurden. Man sieht, dass bei geschlossenem Stopfen am Arbeitsplatz für einen Praktikanten, der eine Maximalbelastung von 6mSv im Jahr erreichen darf, kaum eine

Gefahr besteht, diesen Grenzwert an einem Tag zu überschreiten. Um die maximale Tagesdosis zu erreichen, benötigte dieser ca. 12,5 Stunden. Solange darf ein Praktikant oder Lehrling gesetzlich aber nicht zur Arbeit gezwungen werden.

Nähert man sich der Quelle, kann man bei 50cm Abstand einen deutlichen Anstieg in der Strahlendosis erkennen, was sich auch deutlich an der Zeit widerspiegelt, die sich der Praktikant in dieser Nähe aufhalten sollte. Diese ist nun sechsmal kleiner als am Arbeitsplatz.

Zu beachten sei auch, dass der Kollimator auf linker und rechter Seite offenbar weniger stark abschirmt. Dies ist ein interessantes Ergebnis, da sich die maximale Aufenthaltsdauer damit auch deutlich verkürzt 50cm vor der Quelle ist die Abschirmung erwartungsgemäß am schwächsten, da dort der Kollimatorverschluss vorhanden ist und dieser nicht so gut abschirmen kann wie die Standardwände. Dementsprechend logisch ist es, sich nicht längere Zeit in den Strahl zu stellen, was sich in einer Maximaldauer von $t_{max} \cong 17min$ zeigt. Dementsprechend fällt auch das Ergebnis der Messung 8cm vor der Quelle auf. Eine Aufenthaltsdauer unterhalb von 2min am Tag ist hier also angebracht. Im Allgemeinen sollte man deshalb seinen Arbeitsplatz nicht neben der Messanordnung aufbauen, auch wenn es aus Bequemlichkeit zunächst sinnvoll erscheinen mag. Es verkürzt nicht nur die Laufwege, die man im Raum hat, sondern auch erhöht auch die Gefahr, an strahlenbedingten Leiden zu erkranken.

5.1.2 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 Strahlung erfahren darf. Fraglich ist allerdings, ob dieser Wert nicht ein Ergebnis von Störungen, die andere Experimente verursacht haben, ist.