



Kalibrierung der Monitorkammern - Absolutdosimetrie unter Referenzbedingung nach DIN 6800-2

Stephan Frick

Protokoll des BM6-Praktikums vom 11.01.2018

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	ii
1 Zielsetzung.....	1
2 Material und Methoden.....	1
2.1 Material.....	1
2.2 Methoden.....	1
2.2.1 Allgemeine Monitorkammer-Kalibrierung und Messaufbau.....	1
2.2.2 Allgemeine Ermittlung der Absolutdosis nach DIN 6800-2.....	2
2.2.3 Einzelne Korrektionsfaktoren.....	4
2.2.3.1 Korrektionsfaktor k_p für den Einfluss der Luftdichte.....	4
2.2.3.2 Korrektionsfaktor k_h für den Einfluss der Luftfeuchte.....	5
2.2.3.3 Korrektionsfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung.....	5
2.2.3.4 Korrektionsfaktor k_p für den Einfluss der der Polarität der Kammerspannung.....	6
2.2.3.5 Korrektionsfaktor k_r für den Einfluss der Luftdichte.....	7
2.2.3.6 Korrektionsfaktor k_Q für den Einfluss der Strahlungsqualität in Referenztiefe.....	8
2.2.3.7 Korrektionsfaktor k_{RW3} für den Einfluss des unterschiedlichen Phantommaterials....	8
3 Ergebnisse und Diskussion.....	9
3.1 Korrektionsfaktor k_p für den Einfluss der Luftdichte.....	9
3.2 Korrektionsfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung.....	9
3.3 Korrektionsfaktor k_r für den Einfluss der Luftdichte.....	11
3.4 Korrektionsfaktor k_Q für den Einfluss der Strahlungsqualität in Referenztiefe.....	11
3.5 Ermittelte Dosis am Messort und abschließende Kalibrierung der Monitorkammer.....	12
4 Anhang.....	13
4.1 Erläuterung Angangs- und Volumenrekombination.....	13
4.1.1 Anfangsrekombination.....	13
4.1.2 Volumenrekombination.....	13

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.: Messaufbau (RW3-Platten zur Übersicht noch nicht ausgerichtet).....	2
Abbildung 2.: Im Praktikum verwendete radioaktive Kontrollvorrichtung zur Bestimmung von k_p	5
Abbildung 3.: Oszilloskop zur Ermittlung der Frequenz des Makropulses	10
Abbildung 4.: Jaffé-Diagramm zur Bestimmung des Korrekturfaktors k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung	11

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.: Einflussgrößen und Bezugsbedingungen nach DIN 6800-2.....	3
Tabelle 2.: Referenzbedingungen nach DIN 6800-2	4
Tabelle 3.: Für den Faktor k_s benötigte Faktoren für die im Praktikum verwendete Ionisationskammer	10
Tabelle 4.: Ermittelte Messwerte bei variierender Kammerspannung	10
Tabelle 5.: Auszug der Tabelle 5 der DIN 6800-2	11
Tabelle 6.: Auszug der Tabelle 6 der DIN 6800-2	12

1 ZIELSETZUNG

Im Praktikum sollten die Monitorkammern eines Beschleunigers kalibriert werden. Diese Kalibrierung erfolgte durch Absolutdosimetrie nach DIN 6800-2.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 MATERIAL

Alle Messungen fanden am LINAC G (Fa. Philips) des Universitätsklinikum Tübingen mit einer Photonenenergie von 6 MV statt. Es wurden folgende Materialien verwendet:

- RW3-Platten mit den Maßen 30x30 cm² sowie 1 cm Dicke von der Firma PTW als Phantommaterial (Wasserphantomersatz)
- Farmer-Kammer 30013 (Kompaktkammer); 0,6 cm³ sensitives Messvolumen (PTW); Innenradius 3,1 mm; Kammerspannung +400V (Außnahme: Variierung der Spannung für Jaffé-Diagramm und für Untersuchung der Auswirkung der Umpolung auf den Messwert)
- Unidos-System zur Messwertermittlung der Ionisationskammer (PTW)
- Kalibrierschein und radioaktive Kontrollvorrichtung; zugehörig zur verwendeten Farmer-Kammer
- Das Oszilloskop „Analog Oscilloscope 630-2“ von der Firma „Votcraft“ zur Ermittlung der Makropulse pro Minute des Beschleunigers
- Thermometer und Barometer zur Bestimmung der Temperatur und Luftdrucks
- Radioaktive Kontrollvorrichtung zur Ermittlung des Korrektionsfaktors für den Einfluss der Luftdichte

2.2 METHODEN

2.2.1 Allgemeine Monitorkammer-Kalibrierung und Messaufbau

Zur Monitorkammerkalibrierung wird standardmäßig ein fester Messort in einer bestimmten Messgeometrie und Messbedingungen festgelegt. Die Monitoreinheiten¹

¹ Monitorkammern sind Ionisationskammern. Durch die Kalibrierung kann ihr Messsignal in Monitoreinheiten übersetzt werden. Dadurch ist eine grobe Abschätzung in der Therapie möglich, welche Dosis (nahe dem Isozentrum) appliziert wird.

werden dann so definiert, dass bei 100 Monitoreinheiten eine Dosis von einem Gray am Messort appliziert wird.

Für den im Praktikum verwendeten Beschleuniger sind für die Monitorkalibrierung mit 6 MV Photonen folgende Messbedingungen festgelegt:

- SSD 100 cm
- 10 cm Messtiefe (auf Zentralstrahlachse)
- 10x10 cm² Feld

Der im Praktikum verwendete Messsaufbau mit Farmer-Kammer und RW3-Platten ist in Abbildung 1 zu sehen.

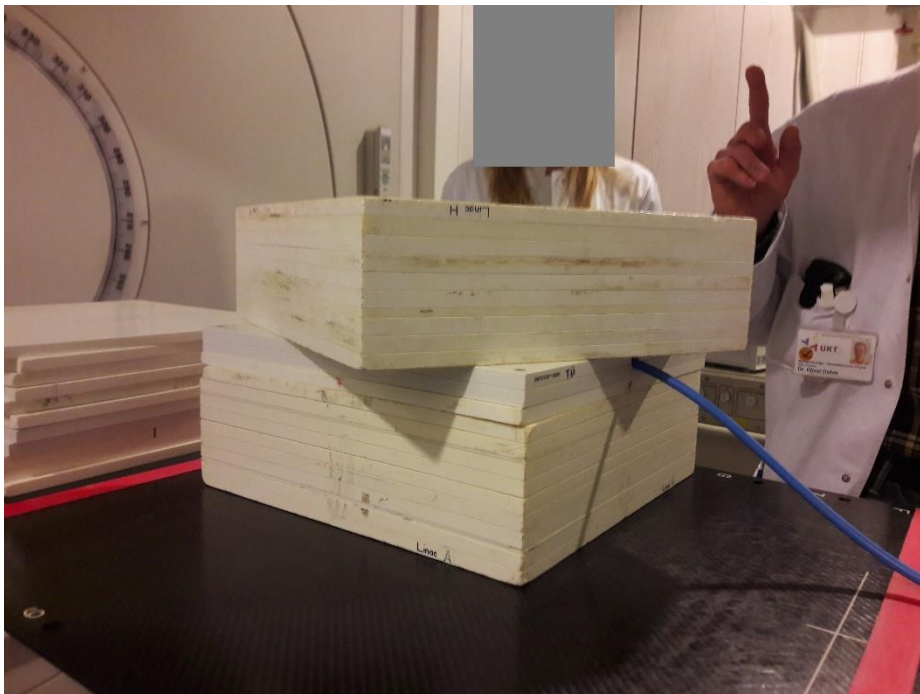


Abbildung 1.: Messaufbau (RW3-Platten zur Übersicht noch nicht ausgerichtet)

Es wurde genug Rückstreumaterial verwendet. Bei 6 MV Photonen sollte mindestens 5 cm, bei 10 MV minderten 7 cm Rückstreumaterial verwendet werden

2.2.2 Allgemeine Ermittlung der Absolutdosis nach DIN 6800-2

Die Wasser-Energiedosis D wird nach folgender Formel (1) ermittelt:

$$D = (M - M_0) * N * \prod_{i=1}^n k_i \quad (1)$$

Dabei ist M die Anzeige und M_0 die Nullanzeige des Dosimeters in Coulomb, N der Detektor-Kalibrierfaktor in Gray pro Coulomb und k_i die dimensionslosen

Korrektionsfaktoren. Diese werden benötigt, wenn man von den Messbedingungen von N abweicht. Diese Messbedingungen sind standardmäßig die *Bezugsbedingungen* der DIN 6800-2 (siehe Tabelle 1²).

Tabelle 1.: Einflussgrößen und Bezugsbedingungen nach DIN 6800-2.

Die nicht angegebenen Bezugsbedingungen sind auf dem Kalibrierschein der jeweiligen Kammer zu finden

EINFLUSSGRÖSSE	BEZUGSBEDINGUNG
STRAHLUNGSQUALITÄT	⁶⁰ Co-Gammastrahlung
Strahlungseinfallrichtung	Festgelegte Vorzugsrichtung
Dosisleistung	Keine Sättigungsverluste
Phantommaterial	Wasser
Phantomabmessungen	Quasi-unendlicher Halbraum ^a
MESSTIEFE	5 cm
Temperatur	293,15 K
Druck	101,325 kPa
Luftfeuchte	Relative Luftfeuchte 50 %
Kammerspannung	Bei der Kalibrierung festgelegt
Polarität der Kammerspannung	Bei der Kalibrierung festgelegt
Nullanzeige	Vernachlässigbar
Schutzhülse zur Abdichtung der IONISATIONSKAMMER	Bei der Kalibrierung festgelegt
Positionierung der IONISATIONSKAMMER	BEZUGSPUNKT in 5 cm Tiefe auf dem Zentralstrahl
Abstand Quelle — MESSORT	100 cm
FELDGRÖSSE in 5 cm Tiefe ^b	10 cm x 10 cm
Relativer Gradient der Tiefendosisverteilung in 5 cm Tiefe	0,006 mm ⁻¹
^a Das heißt so groß, dass eine weitere Vergrößerung keine Änderung des MESSWERTES zur Folge hat.	
^b FELDGRÖSSE festgelegt durch die Halbwertbreite der lateralen Dosisverteilung im PHANTOM.	

In der Regel sind diese *Bezugsbedingungen* nicht geeignet, da Strahlung aus einem Elektronen-Linearbeschleuniger anstatt einer ⁶⁰Co-Gammastrahlung verwendet wird. Demzufolge sind die Messtiefe und die Feldgröße der Bezugsbedingung für höhere Photonenenergien (Stichwort Streuelekttronen) und bei Elektronen (Stichwort Elektronenreichweite) nicht geeignet. Deshalb werden geeignetere *Referenzbedingungen* definiert, welche in Tabelle 2 zu sehen sind. Unter diesen Bedingungen müssen Korrekturfaktoren beachtet werden für den Einfluss von:

- Luftdichte k_p
- Luftfeuchte k_h
- unvollständige Sättigung k_s
- Polarität der Kammerspannung k_P

² Speziell im Ausland können die Bezugsbedingungen abweichen. Z.B. wird in den USA oftmals 22°C als Bezugstemperatur verwendet.

- unterschiedliche Positionierung von Kompaktkammern bei der Kalibrierung gegenüber der Messung k_r
- Strahlungsqualität in Referenztiefe bei Photonenstrahlung k_Q bzw. Elektronenstrahlung k_E .

Auf diese Faktoren wird einzeln im Abschnitt 2.2.3 eingegangen.

Tabelle 2.: Referenzbedingungen nach DIN 6800-2

Strahlungsart	MESSTIEFE in cm	FELDGRÖSSE an der Oberfläche in cm × cm	Fokus-Oberflächen- Abstand in cm
PHOTONENSTRAHLUNG	10	10 × 10	100
ELEKTRONENSTRAHLUNG	z_{ref}^a	20 × 20	100
^a z_{ref} wird nach Gleichung (10) berechnet.			

Weicht man wiederum von den *Referenzbedingungen* ab, muss man einen zusätzlichen Korrektionsfaktor k_{NR} für den Einfluss der spektralen Verteilung und Richtungsverteilung der Photonen und Elektronen bei Nicht-Referenzbedingungen beachten. Da im Praktikum die festgelegten Messbedingungen der Monitorkammerkalibrierung den Referenzbedingungen entsprachen, entfällt dieser Faktor.

2.2.3 Einzelne Korrektionsfaktoren

2.2.3.1 Korrektionsfaktor k_p für den Einfluss der Luftdichte

Die Luftdichte innerhalb einer Ionisationskammer beeinflusst das Messsignal. Umso mehr Luftmoleküle sich in der Kammer befinden, desto mehr Wechselwirkung gibt es zwischen Strahlung und Materie, was zu einem höheren Messsignal führt. Bei offenen Ionisationskammern muss deshalb die variable Luftdichte mit einem Korrektionsfaktor k_p beachtet werden. Der Korrektionsfaktor wird nach DIN mit Formel (2) ermittelt. Dabei ist $T_0 = 293,15 \text{ K}$ und $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ die Temperatur und Luftdruck bei *Bezugsbedingungen* und p bzw. T die mit dem Barometer und Thermometer gemessene Temperatur und Luftdruck.

$$k_p = \frac{p_0 * T}{p * T_0} \quad (2)$$



Abbildung 2.: Im Praktikum verwendete radioaktive Kontrollvorrichtung zur Bestimmung von k_p

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von k_p ist die Verwendung einer radioaktiven Kontrollvorrichtung. Die Ionisationskammer wird in diese Kontrollvorrichtung mithilfe eines speziellen Halters gesteckt und der Ist-Wert M_{ist} mit dem Soll-Wert M_{soll} auf dem Kalibrierschein verglichen, welche mit der gleichen Kontrollvorrichtung und gleichen Messbedingungen (mit Ausnahme des Luftdrucks) durchgeführt wurde³. Dabei muss die Abnahme der Aktivität durch den radioaktiven Zerfall beachtet werden. Der Ist- und Soll-Wert wird dann nach Formel (3) ins Verhältnis gesetzt.

$$k_p = \frac{M_{soll}}{M_{ist}} \quad (3)$$

2.2.3.2 Korrektionsfaktor k_h für den Einfluss der Luftfeuchte

Der Einfluss der Luftfeuchte kann laut DIN 6800-2 vernachlässigt werden, sofern sie zwischen 30% bis 75% beträgt.

2.2.3.3 Korrektionsfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung

Durch Rekombinationseffekte der Ionen und Elektronen innerhalb der Messkammer gibt es Messsignalverluste, welche man mit dem Korrektionsfaktor k_s berücksichtigt. Elektronen-Ionen-Paare rekombinieren anstatt sich auf den Elektroden zu sammeln und so zu einem Messsignal beizutragen. Man spricht von einer unvollständigen Sättigung. k_s hängt von der Kammerbauart, der Kammerspannung und der Dosisleistung während eines Strahlungspulses des Linearbeschleunigers ab.

³ Die Kontrollvorrichtung und die Umgebungsluft müssen zur Ermittlung von k_p bei dieser Methode im thermischen Gleichgewicht sein. Durch den radioaktiven Zerfall ist die Quelle in der Regel wärmer, weshalb hierfür eigentlich ein Korrektionsfaktor benötigt wird. Dieser wurde in diesem Praktikum vernachlässigt.

Im Praktikum wurde k_s zunächst durch die aus der DIN entnommenen Formel (4) ermittelt.

$$k_s = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D^P}{U} \quad (4)$$

Dabei berücksichtigt γ die Verluste aufgrund der Anfangsrekombination und Diffusion, δ aufgrund der Volumenrekombination⁴. δ ist abhängig von der Dosis pro Puls D^P . U ist die verwendete Kammerspannung. Die Gleichung kann nur für bestimmte Messkammerabhängige D^P -Bereiche angewandt werden, welche in der DIN angegeben sind. Für diese Bereiche sind γ und δ der DIN zu entnehmen. Ist der D^P nicht in diesem Bereich, muss die Bestimmung von k_s experimentell durch ein Jaffé-Diagramm erfolgen.

Für das Jaffé-Diagramm misst man unter den gewünschten Messbedingungen bei variierender Kammerspannung. Diese sollte dabei zwischen der maximal erlaubten Spannung und einem Drittel dieses Werts annehmen. Der Kehrwert der Messwerte werden als Funktion von $1/U$ (bei über 10 Gy/min $1/U^2$) in ein Diagramm aufgetragen. Es wird eine Regressionsgerade gebildet. Der Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse entspricht den Wert M_s bei vollständiger Sättigung, welche theoretisch bei unendlicher Kammerspannung eintritt. M_s wird dann durch den eigentlich ermittelten Messwert M geteilt.

$$k_s = \frac{M_s}{(M - M_0)} \quad (5)$$

2.2.3.4 Korrektionsfaktor k_P für den Einfluss der Polarität der Kammerspannung

Bei gleichbleibenden Bestrahlungsbedingungen ändert sich das Ansprechvermögen der Ionisationskammer mit der Polarität der Kammer. Dies liegt daran, dass die Summe der Anzahl der durch ionisierende Strahlung eintretenden Elektronen innerhalb des Messvolumens ungleich der Summe der Elektronen ist, die durch die Messelektrode wieder austreten⁵. Die Differenz der Elektronenladungen erhöht oder erniedrigt den Messwert M . Dies wird beim Umpolen der Kammer bemerkbar. Der Wert k_P hängt von der Strahlungsart und -qualität sowie von der Kammerbauart (besonders

⁴ Diese verschiedenen Effekte werden im Anhang erläutert.

⁵ Die Weglänge der Elektronen zur Anode ist von der Polung abhängig. Ebenso beeinflusst die ionisierende Strahlung die elektrische Ladung im Kabel und somit das Messsignal.

von der Größe und Dicke der Messelektrode) ab. Bei Elektronenstrahlung sind auch die Tiefe im Phantom und die Feldgröße zu beachten. Der Wert muss für jede einzelne Kammer bei nicht-Bezugsbedingungen (siehe Tabelle 1) nachgemessen werden. Die Berechnung von k_P kann für nicht-Bezugsbedingungen nach DIN 6800-2 mit folgender Formel erfolgen, wobei der Nenner mit ^{60}Co und der Zähler mit der entsprechenden Strahlenquelle gemessen werden muss. M_1 und M_2 sind hierbei die Messwerte mit einer Kammerspannung jeweils gegensätzlichen Vorzeichens.

$$k_P = \frac{\frac{(M_1 + M_2)}{M_1}_{\text{Q,E}}}{\frac{(M_1 + M_2)}{M_1}_{^{60}\text{C}}} \quad (6)$$

Steht kein ^{60}Co zur Verfügung, muss stattdessen die niedrigste zur Verfügung stehende Photonenenergie des Beschleunigers verwendet werden.

Da der im Praktikum verwendete Beschleuniger nur eine Photonenenergie besitzt und kein ^{60}Co zur Verfügung stand, ist der Faktor k_P für dieses Praktikum gleich eins. Die Messwerte unmittelbar nach der Umpolung der Kammer schwankten im Praktikum leicht (zwischen 17,06 nC bis 17,10 nC). Laut Bedienungsanleitung sollte deshalb mindestens 15 Minuten nach Umpolung gewartet werden.

2.2.3.5 Korrektionsfaktor k_r für den Einfluss der Luftdichte

Bei Messungen mit Kompaktkammern wird nach DIN 6800-2 aufgrund des Verdrängungseffektes der Bezugspunkt der Kammer um einen halben Radius tiefer als der Messort platziert. Bei der Kalibrierung ist das nicht der Fall, da eine Ausrichtung auf den Bezugspunkt exakter erfolgen kann. Dies muss durch einen Korrektionsfaktor k_r berücksichtigt werden, welcher im Prinzip die Kalibrierung korrigiert. Bei Flachkammern ändert sich der effektive Messort i. d. R. nicht und k_r wird zu eins.

$$k_r = 1 + |\delta| \frac{r}{2} \quad (7)$$

r ist der Innenradius der Messkammer, $|\delta|$ ist der Betrag des „relativen Gradienten der Tiefendosiskurve in der Bezugstiefe bei der Kalibrierung mit Co-60-Gammastrahlung“ und ist bei Bezugsbedingungen $0,006 \text{ mm}^{-1}$.

2.2.3.6 Korrektionsfaktor k_Q für den Einfluss der Strahlungsqualität in Referenztiefe

Der Korrektionsfaktor k_Q berücksichtigt die Änderung des Ansprechvermögens der Ionisationskammer infolge der Verwendung bei der Strahlungsqualität Q unter *Referenzbedingungen* anstelle der Bezugs-Strahlungsqualität ^{60}Co -Gammastrahlung. Q kann durch die TPR-Werte TPR_{20} geteilt durch TPR_{10} ermittelt werden. In der DIN ist eine Formel angegeben, in welcher man Q auch mithilfe von $PDD_{20/10}$ näherungsweise ermitteln kann. Dies ist oftmals praktischer, da PDD-Werte schneller zu messen sind. Mithilfe von Q und der in der DIN angegebenen Tabelle 6 lässt sich dann der kammerspezifische Faktor k_Q ableiten.

2.2.3.7 Korrektionsfaktor k_{RW3} für den Einfluss des unterschiedlichen Phantommaterials

Im Praktikum wurde für die Messungen aus praktischen Gründen RW3-Platten verwendet. Da der Kalibrierfaktor N mit einem Wasserphantom ermittelt wurde, muss der Einfluss des unterschiedlichen Phantommaterials beachtet werden. Dieser ist laut Hersteller für den verwendeten Photonen-Energiebereich mit einem Faktor $k_{RW3}=1,014$ angegeben.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 KORREKTIONSFAKTOR k_p FÜR DEN EINFLUSS DER LUFTDICHT

Ermittlung von k_p durch Formel

Die ermittelte Temperatur betrug 23,3°C, der Luftdruck 973,6 hPa. Nach Formel (2) ergibt das einen Luftdichte-Korrektionsfaktor von $k_p \approx 1,052$.

Ermittlung von k_p durch radioaktive Kontrollvorrichtung

Das im Praktikum verwendete Radionuklid war ^{90}Sr , welches eine Halbwertszeit von 28,8 Jahren besitzt. M_{soll} beträgt laut Kalibrierschein $3,191 \cdot 10^{-2}$ Gy/min am Zeitpunkt der Kalibrierung (10.07.2018). Nach Anwendung des Zerfallsgesetz wurde $M_{\text{soll}2019}$ für das Datum 11.01.2019 ermittelt (Formel (8))⁶.

$$M_{\text{soll}2019} = M_{\text{soll}} * e^{-\frac{\ln(2)}{HWZ} * t} = 3,152 * 10^{-2} \text{ Gy/min} \quad (8)$$

Da die Einheit von M_{soll} Gray pro Minute beträgt, wurde im Praktikum eine Minute mit der Farmer-Kammer gemessen. Dabei wurde ein Signal von 554,0 pC/min gemessen. Nach Multiplikation mit dem Kalibrierfaktor N , welcher $5,397 \cdot 10^7$ Gy/C beträgt, ergab sich somit für $M_{\text{ist}} = 2,990 \cdot 10^{-2}$ Gy/min. Nach Gleichung 3 beträgt somit $k_p \approx 1,054$.

Beide Ermittlungswege erzielen demnach vergleichbare Ergebnisse.

3.2 KORREKTIONSFAKTOR k_s FÜR DEN EINFLUSS DER UNVOLLSTÄNDIGEN SÄTTIGUNG

Die Ermittlung der Pulse pro Minute erfolgte mit dem Oszilloskop (siehe Abbildung 3). Der Abstand zwischen den Makropulsen betrug 2,55 ms. Dies entspricht einer Frequenz von 392 Hz bzw. 23520 Pulse pro Minute.

⁶ M_{ist} ist im Unidos einspeichbar. Die Veränderung von M_{ist} durch den radioaktiven Zerfall kann automatisch durch dieses berechnet werden.

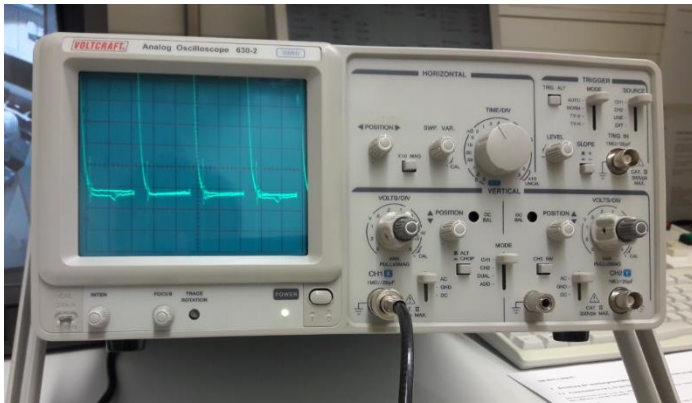


Abbildung 3.: Oszilloskop zur Ermittlung der Frequenz des Makropulses

Für die Dosis pro Minute wurde 55,56 nC ermittelt, was nach Multiplikation mit dem Kalibrierfaktor 3,25 Gy/min entspricht. Teilt man nun die Dosis pro Minute durch die Pulse pro Minute, erhält man eine Dosis pro Puls D^P von 0,14 mGy/min.

Ermittlung von k_s durch Formel

Für die Formel (4) wurde γ und δ mithilfe der DIN ermittelt (siehe Tabelle 3). k_s beträgt demgemäß 1,001. In der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass der ermittelte D^P den vorgegebenen Bereich (400V) unterschreitet.

Tabelle 3.: Für den Faktor k_s benötigte Faktoren für die im Praktikum verwendete Ionisationskammer

Bauart der IONISATIONSKAMMER	γ in V	δ in V mGy ⁻¹	WASSER-ENERGIEDOSIS pro Puls D^P in mGy	Kammer- spannung U in V	IONENSAMMELZEIT in ms
PTW 30006/30013 Farmer	0,01	3,44	0,15 – 0,35 > 0,35 – 42	100 – 300 300 – 400	0,13 bei 400 V

Ermittlung von k_s durch Jaffé-Diagramm

Die ermittelten Messwerte für das Jaffé-Diagramm sind in Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4.: Ermittelte Messwerte bei variierender Kammer-spannung

Kammer-spannung in V	Messwert M in nC	Kehrwert Kammer-spannung 1/U	Kehrwert Messwert 1/M
400	17,07	0,003	0,059
300	17,06	0,003	0,059
200	17,05	0,005	0,059
100	17	0,010	0,059
50	16,88	0,020	0,059

Dadurch ergibt sich das in Abbildung 4 zu sehendem Diagramm, woraus man wiederum den y-Wert für den Schnittpunkt mit der y-Achse ermitteln kann, welcher

0,0585 entspricht (siehe Formel der orange hinterlegten Regressionsgerade). M_S ist der Kehrwert dieser Zahl. Durch Formel (5) ergibt sich dadurch ein k_s von etwa 1,0014.

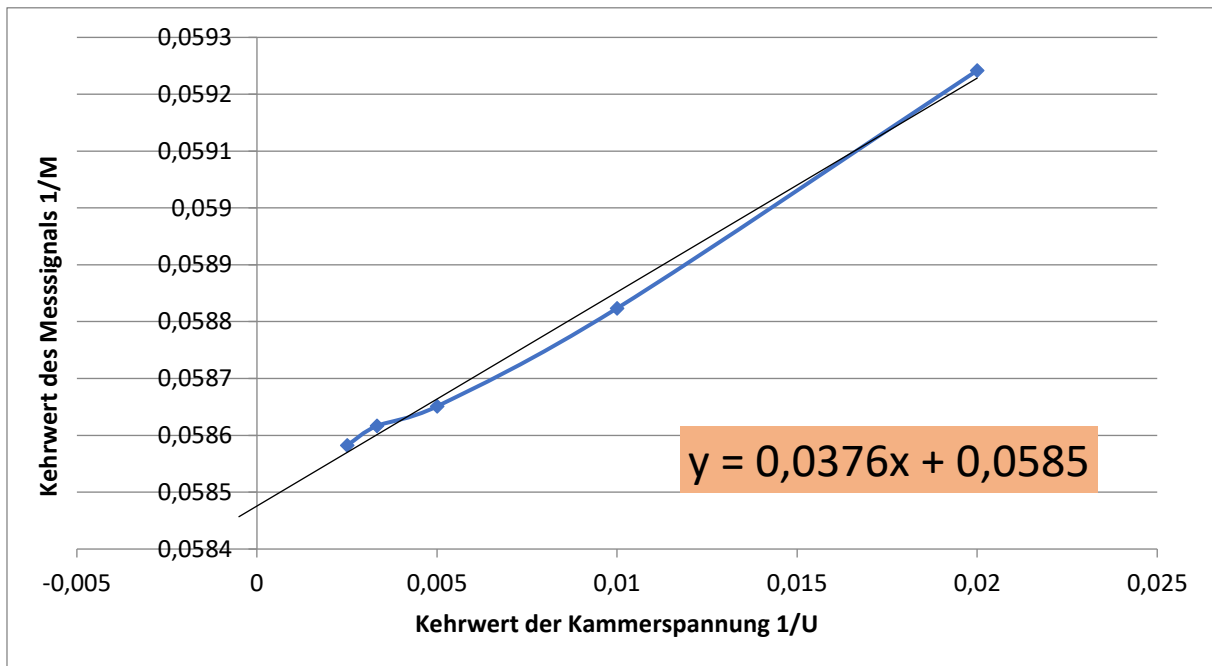


Abbildung 4.: Jaffé-Diagramm zur Bestimmung des Korrekturfaktors k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung. Die Formel der Regressionsgerade ist orange unterlegt.

Beide Ermittlungswege erzielen vergleichbare Ergebnisse.

3.3 KORREKTIONSFAKTOR k_R FÜR DEN EINFLUSS DER LUFTDICHT

$k_r = 1,009$ konnte mithilfe der Formel (7) und dem Innenradius der Farmerkammer (3,1 mm) berechnet sowie in Tabelle 5 der DIN nachgeschlagen werden (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5.: Auszug der Tabelle 5 der DIN 6800-2

Bauart der IONISATIONSKAMMER	Innenradius des Kammervolumens in mm	KORREKTIONSFAKTOR k_r
PTW 30006/30013 Farmer	3,1	1,009

3.4 KORREKTIONSFAKTOR k_Q FÜR DEN EINFLUSS DER STRAHLUNGSQUALITÄT IN REFERENZTIEFE

Da Q bereits im ersten Dosimetrie-Praktikums des Wintersemesters mit einem Wert von 0,6777 ermittelt wurde, konnte k_Q ohne weitere Messung ermittelt werden. Dabei wurde mithilfe von Tabelle 6 und linearer Interpolation ein Wert k_Q von 0,989 ermittelt.

Tabelle 6.: Auszug der Tabelle 6 der DIN 6800-2

Bauart der IONISATIONSKAMMER	STRAHLUNGSQUALITÄTSINDEX Q														
	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
PTW 30006/30013 Farmer	1,006	1,004	1,001	0,999	0,996	0,992	0,987	0,985	0,981	0,976	0,971	0,964	0,955	0,946	0,933

3.5 DOSIS AM MESSORT UND ABSCHLIEßENDE KALIBRIERUNG DER MONITORKAMMER

Mithilfe der Korrekturfaktoren ergab sich für 100 Monitoreinheiten nach Formel (1) eine Dosis am Messort von:

$$\begin{aligned}
 D &= (M - M_0) * N * k_\rho * k_s * k_r * k_Q * k_{RW3} \\
 &= 17,07 \text{ nC} * 5,397 * 10^7 \frac{\text{Gy}}{\text{C}} * 1,053 \\
 &= 0,970 \text{ Gy}
 \end{aligned}$$

100 MU entsprachen also nicht einem Gray. Die in der Software eingespeicherten Monitorkalibrierwerte können händisch durch Dreisatz angepasst werden. Der verwendete Beschleuniger bietet aber unter „Service Page Selection/ Dose Cal“ die Option, die ermittelte Dosis in ein Fenster einzugeben, wodurch die Kalibrierwerte für die beiden Monitorkammern „Dose Ref1“ und „Dose Ref2“ automatisch angepasst werden. Diese Option wurde im Praktikum verwendet. Nach Anpassung der Werte wurde wiederholt gemessen. Dabei wurde eine Dosis von 0,999 Gy ermittelt.

Anmerkung: Verwendet man bei gleichen Messbedingungen anstelle Photonen Elektronen, müsste man nur k_E anstelle von k_Q neu ermitteln.

4 ANHANG

4.1 ERLÄUTERUNG ANFANGS- UND VOLUMENREKOMBINATION

4.1.1 Anfangsrekombination

Die Anfangsrekombination bezeichnet die Rekombination der Elektronen-Ionenpaare entlang der Bahnspur eines geladenen Teilchens. Diese Paare befinden sich nach der Ionisation in räumlicher Nähe, weshalb eine Rekombination wahrscheinlich ist. Mit zunehmender Spannung E_F des angelegten elektrischen Feldes innerhalb einer Ionisationskammer sinkt die Wahrscheinlichkeit einer Anfangsrekombination R_A . Sie ist umgekehrt proportional zum Betrag der Feldstärke E_F .

$$R_A \sim \frac{1}{E_F}$$

4.1.2 Volumenrekombination

Die Volumenrekombination R_V entsteht durch Diffusion (selbständige Durchmischung) und elektrostatische Anziehung der im Ionisationsvolumen homogen verteilten Ladungsträger. Sie ist proportional zur Dosisleistung bzw. Dosis pro Puls, da bei zunehmender Dosisleistung die Ladungsträgerdichte und somit die Wahrscheinlichkeit der Rekombination zunimmt.

$$R_V \sim \frac{DL}{E_F}$$

Der Effekt wird anschaulich beschrieben durch Ionen und Elektronen, die sich auf dem Weg zur Elektrode überlagern, d.h. treffen und miteinander wechselwirken.

Beispiel: Ein Luftatom wird durch ionisierende Strahlung innerhalb der Messkammer ionisiert, es entsteht ein Elektronen-Ionen-Paar. Das Ion trifft auf dem Weg zur Kathode auf ein Elektron einer anderen Ionisation. Das Messsignal, welches beide erzeugen würden, geht verloren. Ein Messsignalverlust entsteht. Die Wahrscheinlichkeit hierfür nimmt mit der Anzahl der erzeugten Spuren und somit mit der DL zu und mit der Zunahme der Spannung ab.