

Absolutdosimetrie - Bestimmung der Wasser-Energiedosis durch Kalibrier- und Korrektionsfaktoren

Betreuer: Dr. Oliver Dohm
Universitätsklinikum Tübingen, Radioonkologie

Kurs: MSc Medizinische Strahlenwissenschaften

Author: Marie Jost

Datum: 18. Januar 2019

Table of Contents

List of Figures	ii
1 Einleitung	1
2 Aufbau	2
2.1 Aufbau des Wasserphantoms mit RW3 Platten und Farmer Kammer	2
3 Durchführung	3
3.1 Bestimmung der Wasser-Energiedosis und Ermittlung der Korrekturfaktoren . .	3
3.1.1 Kalibrierfaktor N	3
3.1.2 Korrekturfaktor k_ρ für den Einfluss der Luftdichte	3
3.1.2.1 Korrekturfaktor k_ρ bestimmt durch Luftdruck und Temperatur	3
3.1.2.2 Korrekturfaktor k_ρ bestimmt mithilfe einer radioaktiven Kontrollvorrichtung	4
3.1.3 Korrekturfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung . . .	6
3.1.3.1 Korrekturfaktor k_s mittels experimenteller Messung	6
3.1.3.2 Korrekturfaktor k_s durch das Jaffé-Diagramm	7
3.1.4 Korrekturfaktor k_P für den Einfluss der Polarität der Kammeranspannung	9
3.1.5 Korrekturfaktor k_r zur unterschiedlichen Positionierung von Kompaktkammern bei Kalibrierung und Messungen	9
3.1.6 Strahlungsqualitätsindex Q	10
4 Ergebnisse	11
4.1 Ergebnisse	11

List of Figures

2.1 RW3 Platten mit PTW TM 30013 Farmer Kammer.	2
3.1 Temperatur- und Luftdruckmessgerät.	4
3.2 Radioaktive Kontrollvorrichtung.	5
3.3 Oszilloskop mit gepulster Strahlung.	7
3.4 Jaffé-Diagramm Messwerte.	8
3.5 Jaffé-Diagramm.	8
3.6 Messwerttabelle der Polaritätsmessungen	9
4.1 Korrektionsfaktoren.	11
4.2 Kalibrierschein PTW TM 30013 Farmer Kammer Seite 1.	13
4.3 Kalibrierschein PTW TM 30013 Farmer Kammer Seite 2.	14

1 Einleitung

Mithilfe der Absolutdosimetrie ist es möglich die an das Körpergewebe abgegebene Energiedosis zu bestimmen. Da die deponierte Gewebedosis jedoch aufgrund von äußeren Einflussfaktoren bei gleicher Bestrahlungsenergie variieren kann, ist es unerlässlich diese Faktoren in die Dosisberechnung miteinzubeziehen. Entsprechende strahlungsqualitätsunabhängige Einflussgrößen sind hierbei Luftdichte und Luftfeuchte sowie der Einfluss der unvollständigen Sättigung, der Polarität der Kammer-spannung, Temperatureffekte und unterschiedliche Positionierungen der Messkammern.

Die DIN 8600-2 '**Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung- Teil 2: Dosimetrie hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung mit Ionisationskammern**' beschreibt detailliert die Ermittlung der Wasser-Energiedosis und Wasser-Energiedosisleistung mit offenen luftgefüllten Ionisationskammern nach dem Sondenverfahren mit ^{60}Co -Gammastrahlung.

Der Gültigkeitsbereich der DIN 6800-2 liegt für Photonenstrahlung zwischen den Grenzenergien von 1MV bis 50MV und für die Elektronenstrahlung im Energiebereich von 3MeV bis 50MeV. Darüber hinaus ist die DIN nicht bei geschlossenen Ionisationskammern anzuwenden.

Durch Anwendung dieser DIN Norm und unter Berücksichtigung der aufgelisteten Korrektionsfaktoren ist somit die Korrektion der deponierten Gewebedosis möglich.

Für weitere Details bzgl. allgemeinen Hinweisen zur Dosimetrie nach der Sondenmethode, zur Filmdosimetrie sowie zur Thermolumineszenzdosimetrie wird an dieser Stelle auf die Teile 1, 4 und 5 der DIN 6800 verwiesen.

2 Aufbau

2.1 Aufbau des Wasserphantoms mit RW3 Platten und Farmer Kammer

Anstelle eines Wasserphantoms wird zur konstanteren Messung ein Phantom aus RW3 Platten verwendet. Der Vorteil besteht darin, dass die Platten deutlich stabiler aufgebaut sind, jedoch eine wasserähnliche Dichte aufweisen. Somit ist es möglich Wasser-Energiedosismessungen auch ohne Wasserphantom durchzuführen.

Hierzu werden die RW3 Platten gestapelt auf dem Bestrahlungstisch gelegt und mit einer Ionisationskammer versehen. Dabei bilden die unteren Platten einen Rückstreuschutz der benötigt wird, um evtl. tief eindringende Strahlung aufzunehmen. Darauf folgt die Messplatte mit Fadenkreuz, in welche die Messkammer eingeführt und anschließend entlang des Fadenkreuzes ausgerichtet wird. Zu guter Letzt wird nochmals ein Stapel von weiteren 10 RW3 Platten darübergelegt und ein Fokus-Messort-Abstand von 100cm sowie eine Feldgröße von 10cm x 10cm eingestellt.

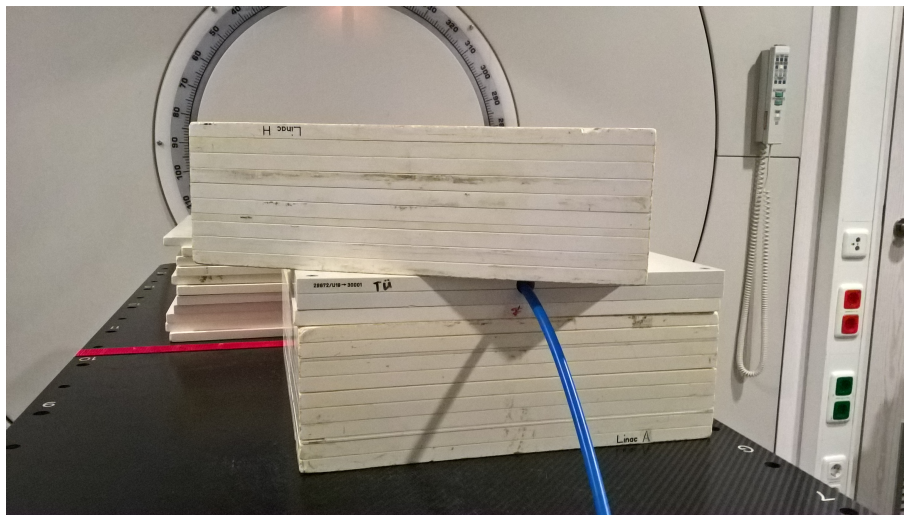


Figure 2.1: RW3 Platten mit PTW TM 30013 Farmer Kammer.

3 Durchführung

3.1 Bestimmung der Wasser-Energiedosis und Ermittlung der Korrektionsfaktoren

Ziel des Praktikums ist die Bestimmung der Wasser-Energiedosis mithilfe von wasserdichteäquivalenten RW3 Platten der Firma PTW-Freiburg durch den Einsatz einer TM30013 Ionisationskammer, Farmer Kammer.

Im Allgemeinen lässt sich die Wasser-Energiedosis wie in der DIN 6800-2 beschrieben berechnen:

$$D = (M - M_0) \cdot N \cdot \prod_{i=1}^n k_i. \quad (3.1)$$

D repräsentiert die Wasser-Energiedosis, M die Anzeige des Dosimeters, M_0 die Nullanzeige des Dosimeters ohne Bestrahlung, N ist der Kalibrierfaktor für die Wasser-Energiedosis und $\prod_{i=1}^n k_i$ das Produkt aller Korrektionsfaktoren.

3.1.1 Kalibrierfaktor N

Da es sich bei der Anzeige des Dosimeters M um einen leicht abzulesenden Wert handelt und die Nullanzeige des Dosimeters ohne Bestrahlung M_0 , als $M_0 = 0$ verifiziert werden kann, ist zunächst der Kalibrierfaktor N von Bedeutung. Der Kalibrierfaktor N wird grundsätzlich vom Hersteller für die entsprechende Ionisationskammer angegeben. Er beschreibt, unter welchen Referenzbedingungen die Kalibrierung der jeweiligen Ionisationskammer vorgenommen wurde. Eine Übersicht des Kalibrierscheins kann dem Anhang entnommen werden. Bei der für diese Messungen verwendeten Messkammer handelt es sich um eine Farmer Kammer der Firma PTW-Freiburg und Typ TM30013. Die letzte Kalibrierung erfolgte am 10. Juli 2018. Wie dem Kalibrierschein zu entnehmen ist, ist der Detektor-Kalibrierfaktor $N_{D,W}$ mit $N_{D,W} = 5,397 \cdot 10^7 \text{ Gy/C}$ angegeben.

3.1.2 Korrektionsfaktor k_ρ für den Einfluss der Luftdichte

3.1.2.1 Korrektionsfaktor k_ρ bestimmt durch Luftdruck und Temperatur

Der Korrektionsfaktor k_ρ repräsentiert die Luftdichte, welche sich aus den Einflüssen des Luftdrucks p und der Umgebungstemperatur T zusammensetzt. Rechnerisch lässt sich dieser Wert durch ein entsprechendes Verhältnis der beiden Größen bestimmen:

$$k_\rho = \frac{p_0 T}{p T_0}, \quad (3.2)$$

wobei der Bezugswerte für Luftdruck und Temperatur innerhalb der DIN 6800-2, Tabelle 1, mit $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ und $T_0 = 293,15 \text{ K}$ ($= 20^\circ\text{C}$) definiert sind.

Der Absolute Luftdruck p wird vor Ort im Bestrahlungsraum bestimmt und erreichte einen Wert von $p = 973,6 \text{ hPa}$.

Anmerkung: Da innerhalb des Klinikgebäudes auf gleichbleibender Höhe der Luftdruck auch trotz Klima- und Luftaustauschanlage annähernd gleich bleibt, muss die Luftdruckmessung nicht zwingend innerhalb des Bestrahlungsraumes durchgeführt werden. Eine Luftdruckänderung von 1 hPa erfolgt erst nach ca. 8 m Höhenunterschied.

Anschließend wurde mit einem Temperatursensor die Umgebungstemperatur T gemessen. Hierbei ist es wichtig, dass Thermometer bereits einige Stunden vor der Messung in den Messraum zu legen um sicherzustellen, dass es sich zum Zeitpunkt der Messung bereits im thermischen Gleichgewicht befindet. Anderenfalls kann es bei dieser Messung zu einem unwahren Temperaturwert kommen.

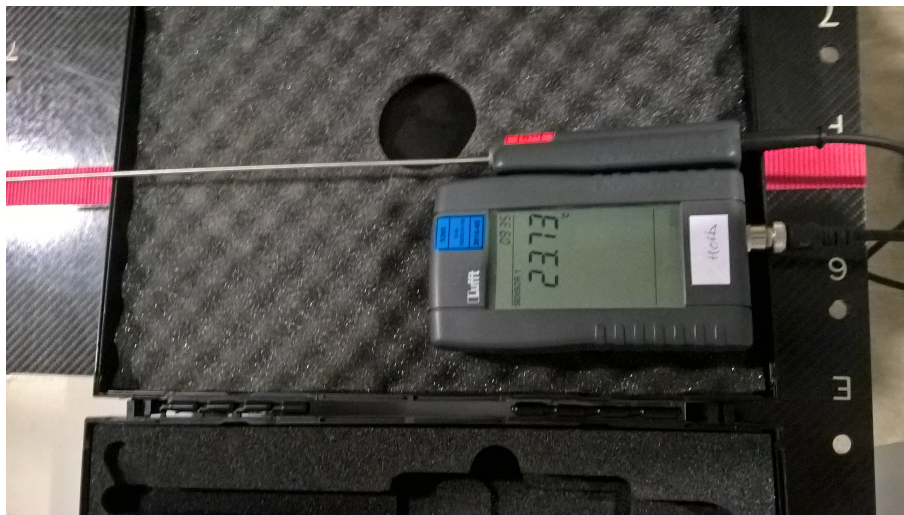


Figure 3.1: Temperatur- und Luftdruckmessgerät.

Bei der durchgeführten Temperaturmessung betrug der Wert der Umgebungstemperatur innerhalb des Bestrahlungsraumes $T = 23,3^\circ\text{C}$ ($= 296,45 \text{ K}$).

Somit erhält man rechnerisch einen Luftdichtekorrekturfaktor k_ρ wie folgt:

$$k_\rho = \frac{1013,25 \text{ hPa} \cdot 296,45 \text{ K}}{973,6 \text{ hPa} \cdot 293,15 \text{ K}} \quad (3.3)$$

$$k_\rho = 1,052 \quad (3.4)$$

3.1.2.2 Korrekturfaktor k_ρ bestimmt mithilfe einer radioaktiven Kontrollvorrichtung

Neben der experimentellen Feststellung des Einflusses der Luftdichte, lässt sich diese auch mithilfe einer radioaktiven Kontrollvorrichtung bestimmen.

Hierbei dient eine Strontium-90 (^{90}Sr) Radioquelle welche es ermöglicht, über die vordefinierte Halbwertszeit Rückschlüsse auf die Luftdichte unter Referenzbedingungen zu ziehen. Dieser Wert

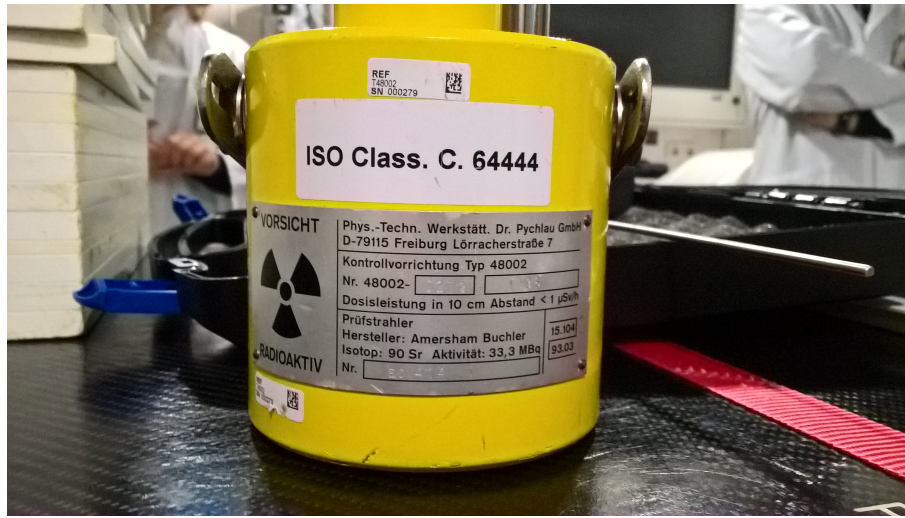


Figure 3.2: Radioaktive Kontrollvorrichtung.

wird jedoch instabil, sobald eine Quellenundichte eintritt, sich die Quelle nicht im thermischen Gleichgewicht befindet, oder falls zeitlich lange Messungen durchgeführt werden. Zudem gibt es zu jedem Messkammertyp exakt eine korrekte Halterung, welche durch eine Seriennummer im Kalibrierschein der Ionisationskammer beschrieben ist. Sowohl an der Halterung, als auch an der Ionisationskammer befindet sich eine durch schwarze Striche gekennzeichnete Positionsmarkierung. Zur korrekten Messung empfiehlt es sich, beide Markierungsstriche deckungsgleich anzubringen.

Die Kammerspannung der verwendeten Farmer Kammer wird anschließend über das UniDos auf 400V eingestellt und ein Messintervall von 60s definiert, bevor der Bestrahlungsprozess gestartet wird. Dies ist insofern relevant, als das die Einheit der Kontrollanzeige ebenfalls in Gy/min gegeben ist.

Somit erhält man für die Wasser-Energiedosisbestimmung zur Ermittlung der Luftdichte mithilfe einer radioaktiven Kontrollvorrichtung folgenden Wert:

$$D_W = N \cdot M \quad (3.5)$$

$$D_W = 5,397 \cdot 10^7 \frac{\text{Gy}}{\text{C}} \cdot 554 \cdot 10^{-12} \text{C}, \quad (3.6)$$

$$D_W = 2,9899 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Gy}}{\text{min}}, \quad (3.7)$$

wobei M dem Bestahlungsmesswert von $M = 554 \cdot 10^{-12} \text{C}$ entspricht.

Für die Berechnung des Korrekturfaktors am Tag der Messung, k_p , werden zunächst Bezugsbedingungen angenommen. Somit ergibt das Produkt aller Korrekturfaktoren $k=1$ und der Korrekturfaktor des Messwertes, k_m , entspricht der Wasser-Energiedosis unter Referenzbedingungen. Der finale Korrekturfaktor k_ρ ergibt sich daher aus dem Verhältnis von k_p zu k_m :

$$k_\rho = \frac{k_p}{k_m} \quad (3.8)$$

Unter Referenzbedingungen, wenn Produkt aller Korrekturfaktoren gleich $k=1$:

$$k_\rho = \frac{k_p}{D_W} \quad (3.9)$$

$$k_\rho = \frac{3,125}{2,9899} = 1,054 \quad (3.10)$$

Der durch die radioaktive Kontrollvorrichtung gemessene Korrekturfaktor für die Luftdichte ergibt sich daher als $k_\rho = 1,054$.

Dieser kann nun mit dem durch Luftdruck und Temperatur gemessenen, ersten Korrekturfaktor, $k_\rho = 1,052$ verglichen werden. Hierbei fällt der geringe Unterschied der Ergebnisse zwischen den Beiden Messverfahren auf.

3.1.3 Korrekturfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung

3.1.3.1 Korrekturfaktor k_s mittels experimenteller Messung

Als unvollständige Sättigung wird der Verlust an Ionen durch Rekombination bei hohen Dosisleistungen bezeichnet. Dieser Effekt ist neben der Dosisleistung des Weiteren von der Kammergeometrie sowie der angelegten Kammer Spannung abhängig.

Der Korrekturfaktor k_s kann mithilfe der Tabelle 4, DIN 8600-2 berechnet werden und ergibt sich aus folgenden Werten:

$$k_s = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D^P}{U}, \quad (3.11)$$

hierbei repräsentiert der Koeffizient γ die Verluste aufgrund der Anfangsrekombination und Diffusion und δ die Verluste basierend auf der Volumenrekombination. D^P beschreibt die Wasser-Energiedosis pro Puls am Messort in mGy und U die Kammer Spannung in V. Da die Koeffizienten γ und δ der Tabelle entnommen werden können und die Kammer Spannung auf 400V eingestellt wird, ist zur Ermittlung von k_s lediglich die Wasser-Energiedosis pro Puls am Messort vorab auszurechnen.

Hierzu werden zunächst Makropulse bestehend aus multiplen Mikropulsen in Form einer gepulsten Strahlung abgestrahlt und mit dem Oszilloskop aufgezeichnet.

Dies ermöglicht die Bestimmung der Zeitdauer für die Dosis pro Puls eines einzelnen Makropulses. Die Zeitdauer eines Makropulses ist abhängig vom Herstellertyp sowie der Bestrahlungsart und Energie. Ein entsprechender Makropuls wird immer genau dann ausgelöst, sobald ein Stromimpuls in das Magnetron hineingeschossen wird. Durch das Ablesen der Zeitdauer eines Makropulses am Oszilloskop (0,5ms /Kästchen) beträgt die Zeitdauer für einen gesamten Makropuls:

$$T_{Makropuls} = 5,1 \text{ Kästchen} \cdot 0,5ms = 2,55 \cdot 10^{-3}s. \quad (3.12)$$

Dies ergibt eine Pulsfrequenz von

$$f_{Makropuls} = \frac{1}{2,55 \cdot 10^{-3}s} = 392,16Hz. \quad (3.13)$$

Sobald die Frequenz der Pulse bestimmt ist, kann im darauffolgenden Schritt die Dosis pro Puls

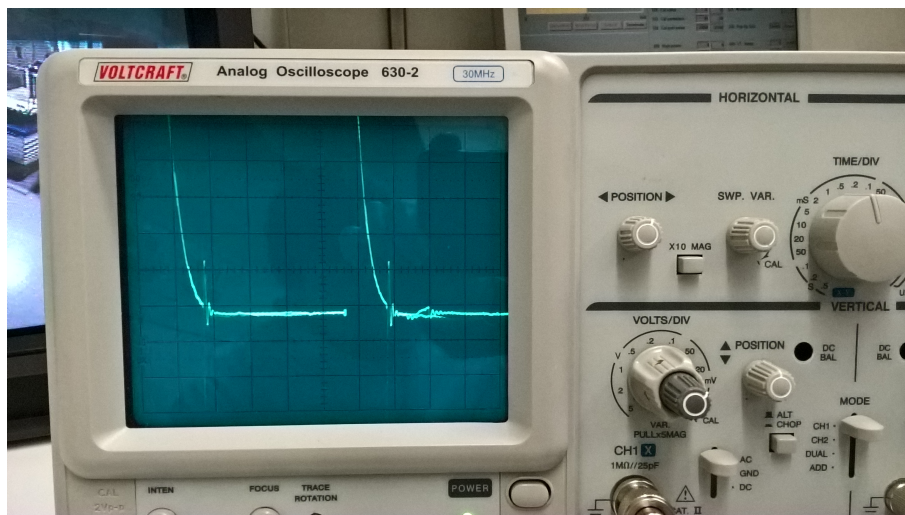


Figure 3.3: Oszilloskop mit gepulster Strahlung.

ermittelt werden. Hierzu wird zunächst die Dosis von 500 Monitorunits (MU) für den Zeitraum von 60s abgestrahlt. Dies ergibt wie folgt:

$$60s \text{ Strahlung} \approx 55,56nC \approx 3,25 \frac{Gy}{min}. \quad (3.14)$$

Die Dosis pro Puls lässt sich somit einfach berechnen

$$D^P = \frac{3,25 \frac{Gy}{min}}{60 \cdot 392,16Hz} = 0,14 \frac{mGy}{Puls}. \quad (3.15)$$

Anmerkung: Nach Definition, erhält man bei 100 MU und in einer Messtiefe von 10cm exakt 1Gy.

Da nun alle notwendigen Werte bestimmt sind, lässt sich der Korrekturfaktor k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung durch einsetzen der Werte berechnen:

$$k_s = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D^P}{U}, \quad (3.16)$$

$$k_s = 1 + \frac{0,01 + 3,44 \cdot 0,14 \frac{mGy}{min}}{400V} \quad (3.17)$$

$$k_s = 1,0012. \quad (3.18)$$

Da k_s verhältnismäßig klein ausfällt und nahe 1 liegt, ist dieser Korrekturfaktor im Alltag vernachlässigbar.

3.1.3.2 Korrekturfaktor k_s durch das Jaffé-Diagramm

Das Jaffé-Diagramm bezeichnet eine graphische Darstellung des Verhältnisses zwischen den Kehrwerten der Messungen und derer der Kammeranspannungen. Ein entsprechendes Beispiel Jaffé-Diagramm kann in der DIN 6800-2 für Flachkammern eingesehen werden. Da es sich bei unseren Messungen mit der Farmer Kammer jedoch um eine Kompaktkammer handelt, wurde im Rahmen unseres Praktikums ein spezifisches Jaffé-Diagramm erstellt. Hierzu wurden zunächst jeweils 100

MU bei verschiedenen Spannungen abgestrahlt und die resultierenden Messwerte dokumentiert. Diese Messwerte sind in Figure 3.4 angegeben.

Spannung U [V]	Messwert M [nC]	Kehrwert U	Kehrwert M
400	17,07	0,0025	0,0586
300	17,06	0,0033	0,0586
200	17,05	0,0050	0,0587
100	17,00	0,0100	0,0588
50	16,88	0,0200	0,0592

Figure 3.4: Jaffé-Diagramm Messwerte.

Bei einem linearen Verlauf des Jaffé-Diagramms wird k_s durch Extrapolation auf Kammer-spannung unendlich ermittelt:

$$k_s = \frac{M_s}{(M - M_0)k_\rho k_P}. \quad (3.19)$$

Dabei ist M_s die zur Kammer-spannung unendlich (d.h. $1/U = 0$) gehörende Anzeige, also der Wert bei vollständiger Sättigung, M ist der Messwert, den man für die Kammer-spannung bei 400V erhält, M_0 die Nullanzeige, k_ρ der Korrekturfaktor für den Einfluss der Luftdichte und k_P der Korrekturfaktor für den Einfluss der Polarität der Kammer-spannung.

Die Messwerte aus Figure 3.4 erlauben eine graphische Darstellung der Messwerte und Spannungen in einem Jaffé-Diagramm.

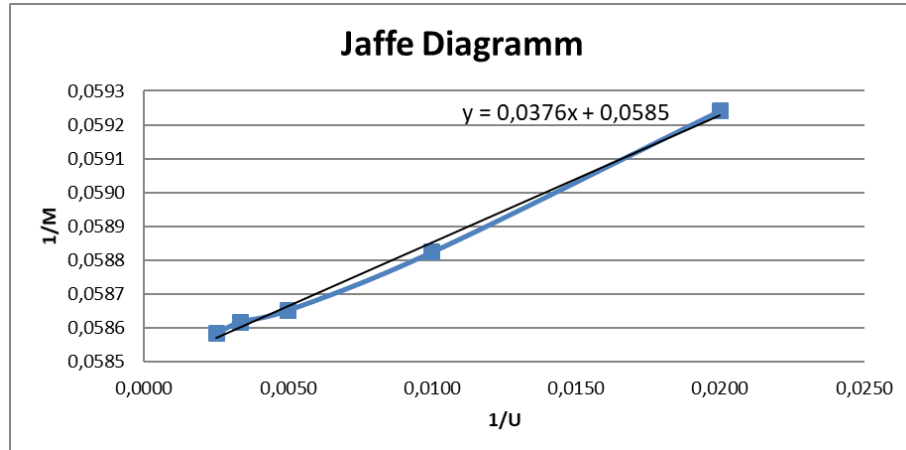


Figure 3.5: Jaffé-Diagramm.

Mithilfe der aufgetragenen Werte und durch den Einsatz einer linearen Regressionsgeraden lässt sich die Geradengleichung bestimmen und aus dieser wiederum die Steigung der Regressionsgeraden entnehmen. Dies ergibt bei unendlicher Spannung eine Steigung m von

$$\frac{1}{m_{U \rightarrow \infty}} = 0,0585 \quad (3.20)$$

$$m_{U \rightarrow \infty} = 17,09. \quad (3.21)$$

Bei einer Spannung von 400V hingegen, erhalten wir ohne Sättigungsverluste eine etwas geringere

Spannung:

$$m_{U \rightarrow 400V} = 17,07 \quad (3.22)$$

Der finale Korrekturfaktor k_s für den Einfluss der Luftdichte errechnet aus dem Jaffé-Diagramm beträgt daher

$$k_{s,Jaffe} = \frac{17,09}{17,07} = 1,0014. \quad (3.23)$$

3.1.4 Korrekturfaktor k_P für den Einfluss der Polarität der Kammerspannung

Während des Bestrahlungsprozesses variiert die Anzahl der aus der Messkammer ein- und aus-tretenden Elektronen, was eine Differenz der Ladungen abschwächt oder erhöht. Dieser Effekt wird vor allem beim Umpolen der Kammerspannung deutlich und muss daher ebenfalls mit einem entsprechenden Korrekturfaktor k_P berücksichtigt werden.

Der Polaritätseffekt kann sowohl bei Photonen- als auch bei Elektronenstrahlung beobachtet werden. Er steht vor allem in Abhängigkeit zu den Faktoren Strahlungsart- und Qualität, sowie der Kammerbauart, insbesondere Größe und Dicke der Messelektrode. Zudem spielt bei der Elektronenstrahlung auch die Tiefe im Phantom sowie die Feldgröße eine Rolle.

Der Korrekturfaktor k_P wird demnach wie folgt ermittelt:

$$k_P = \frac{\left(\frac{M_1+M_2}{M_1}\right)_{Q,E}}{\left(\frac{M_1+M_2}{M_1}\right)_{^{60}\text{Co}}}, \quad (3.24)$$

hierbei ist M_1 der Betrag der Anzeige bei der gewöhnlich benutzten Polarität der Kammerspannung, M_2 derjenige bei der entgegengesetzten Polarität. M_1 und M_2 sind hierbei mit der gleichen Dosis zu erzeugen. Der Index Co bezieht sich auf die Messung bei ^{60}Co -Gammastrahlung.

Bei niedrigen Photonenenergien gilt $k_P = 1$. Die Polarisation der Messkammer wurde mehrfach geändert und dabei bei gleichbleibender Dosis gemessen. Hierfür wurden 100 MU bei 400V abgestrahlt.

Polarisation	Messwert 1 [nC]	Messwert 2 [nC]	Messwert 3 [nC]	Messwert 4 [nC]
M1 (übliche Polarisation)	17,07	-	-	-
M2 (umgedrehte Polarisation)	17,09	17,07	17,10	17,09
M1 (übliche Polarisation)	17,06	17,07	-	-

Figure 3.6: Messwerttabelle der Polaritätsmessungen

Anmerkung: Dieses Messverfahren ist sehr zeitaufwändig, da vom Hersteller empfohlen wird zwischen den umgepolten Messungen jeweils 15min zu warten.

3.1.5 Korrekturfaktor k_r zur unterschiedlichen Positionierung von Kompaktkammern bei Kalibrierung und Messungen

Während der Kalibrierung einer Kompaktkammer mit ^{60}Co -Gammastrahlung wird der Messkammerbezugspunkt, der sich entlang der Kammerachse befindet, auf die Bezugstiefe im Phantom gebracht. Hierbei wird die Kompaktkammer im Phantom so positioniert, dass der Bezugspunkt um $\frac{r}{2}$ tiefer liegt als der Messort. Dies erlaubt eine durch den Verdrängungseffekt nicht beeinflusste Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens bei der Photonenstrahlung. Darüber hinaus

lässt sich hierdurch eine einheitliche Positionierungsvorschrift für die Elektronendosimetrie sowie den ansteigenden und abfallenden Bereich der Photonen-Tiefendosiskurve ermitteln. Somit gilt für die Berechnung von k_r folgende Gleichung:

$$k_r = 1 + |\delta| \frac{r}{2}, \quad (3.25)$$

wobei $|\delta|$ den Betrag des relativen Gradienten der Tiefendosiskurve in der Bezugstiefe bei einer ^{60}Co -Gammastrahlen Kalibrierung beschreibt. Nach Tabelle 1 der DIN 6800-2 gilt $|\delta| = 0,006\text{mm}^{-1}$. Der Innenradius der äußeren Messelektrode wird durch r repräsentiert.

Innerhalb der DIN 8600-2, Tabelle 5, ist der Korrekturfaktor k_r bereits numerisch für die gängigsten Ionisationskammern gelistet. Für die Messung mit der Farmer Kammer Typ 30013 erhält man somit einen Korrekturfaktor $k_r = 1,009$.

3.1.6 Strahlungsqualitätsindex Q

Neben dem Radionuklid setzt sich die Nutzstrahlung von ^{60}Co -Gammastrahlungsquellen aus der im radioaktiven Material entstehenden Streustrahlung zusammen. Zur Dosismessung wird daher die Strahlungsqualität als Quotient der Anzeigen eines Dosimeters sowohl in 10cm als auch in 20cm Tiefe innerhalb eines Wasserphantoms errechnet. Hierfür gilt eine Feldgröße von 10cm x 10cm sowie einem Fokus-Messort-Abstand von 100cm.

$$Q = 1,2661 \cdot \frac{M_{(20)}}{M_{(10)}} - 0,0595. \quad (3.26)$$

Da die Messwerte bereits am ersten Praktikumstag genommen wurden, erhalten wir für diese $M_{(20)} = 39,100$ und für $M_{(10)} = 67,100$. Dies ergibt somit einen Strahlungsqualitätsindex Q von

$$Q = 1,2661 \cdot \frac{39,100}{67,100} - 0,0595 = 0,678. \quad (3.27)$$

Somit folgt als letzter Korrekturfaktor der Faktor k_Q , der die Änderung des Anspruchvermögens der Ionisationskammer bei Strahlungsqualität Q unter Referenzbedingungen beschreibt. Dieser Wert kann ebenfalls aus der DIN 6800-2, Tabelle 6, direkt entnommen werden, insofern der Wert des Strahlungsqualitätsindex Q bereits berechnet wurde.

Für die PTW 30013 Farmer Kammer und einem Wert $Q = 0,678$, erhalten wir somit für $k_Q = 0,987$.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse

Mithilfe des Kalibrierfaktors N , dem Produkt aller Korrekturfaktoren $\prod k_i$ sowie der Anzeige des Dosimeters M kann die Wasser-Energiedosis D innerhalb der RW 3 Platten berechnet werden. Dies erfolgt mit Hilfe der Gleichung

$$D = (M - M_0) \cdot N \cdot \prod_{i=1}^n k_i. \quad (4.1)$$

Da bereits im Kapitel 'Durchführung' die Ermittlung des Kalibrierfaktors sowie die der einzelnen Korrekturfaktoren beschrieben wurde, kann die Wasser-Energiedosis durch einsetzen der Werte unkompliziert berechnet werden.

Korrekturfaktoren k	Korrektionswert
Luftdichte k_p	1,0530
unvollständige Sättigung k_s	1,0013
Polarität der Kammerspannung k_p	1
Positionierung der Kompaktkammern k_r	1,0090
Strahlungsqualität k_Q	0,9870
Kalibrierfaktor N	$5,397 \times 10^{-7} \text{ Gy/C}$
Anzeige des Dosimeters M	17,07 nC

Figure 4.1: Korrekturfaktoren.

Somit erhält man die Wasser-Energiedosis im Wasserphantom:

$$D = 17,07 \text{ nC} \cdot 5,397 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gy}}{\text{C}} \cdot 1,053 \cdot 1,0013 \cdot 0,987 \cdot 1 \cdot 1,009 \quad (4.2)$$

$$D_{RW3Platten} = 0,97 \text{ Gy} \quad (4.3)$$

Da die Messung nicht direkt im Wasserphantom durchgeführt wurde, sondern in RW 3 Platten, ist ein zusätzlicher Umrechnungsfaktor von 1,014 zu berücksichtigen:

$$D_{Wasserphantom} = 0,97 \text{ Gy} \cdot 1,014 = 0,986 \text{ Gy} \quad (4.4)$$

Dieses Ergebnis entspricht nicht exakt der Definition von $100 \text{ MU} = 1 \text{ Gy}$. Aufgrund von Messungenauigkeiten und weiteren Korrekturfaktoren, die in diesem Beispiel Anwendung finden könnten, ist die gemessene Wasser-Energiedosis von $D = 0,986 \text{ Gy}$ leicht abweichend vom Sollwert.

Appendix

KALIBRIERSCHEIN

Nr. 1803650

*Farmer Kammer
Länge blau
(Vgl. Kalibrierschein
1803650 original)*

PTW

PTW-Freiburg, Lorracher Str. 7, 79115 Freiburg, Germany ☎ +49-(0)761- 49055-0 FAX +49-(0)761- 49055-70 E-Mail info@ptw.de

Kalibriergegenstand

Strahlungsdetektor

Detektor	[REF] TM30013 [SN] 001488	
Detektortyp	Ionisationskammer	
Kontrollvorrichtung	[REF] T48002 [SN] 000279	
Halter	[REF] T48002.3.003 [SN] 000918	
Hersteller	PTW-Freiburg	
Auftraggeber	Eberhard-Karls-Universität Tübingen	Auftragsnummer : R181346
	Kliniken Schnarrenberg	Auftragsdatum : 14.06.2018
	Hoppe-Seyler-Straße 3	
	72076 Tübingen	

Ergebnis der Kalibrierung

Messgröße Wasserenergiedosis (D_w)

Detektor-Kalibrierfaktor $N_{D,w} = 5,397 \cdot 10^7 \text{ Gy / C}$

Strahlungsqualitätskorrektur	Strahlen-Qualität	Korrekturfaktor k_Q	Unsicherheit
	^{60}Co	1,000	1,1 %

Kontrollanzeige $k_{p,0} = 3,191 \cdot 10^{-2} \text{ Gy/min}$

Isotop / Halbwertszeit $^{90}\text{Sr} / 28,8 \text{ Jahre}$

Referenzbedingungen	Strahlungsqualität:	^{60}Co
	Umgebungstemperatur:	293,2 K (20°C)
	Luftdruck:	1013,25 hPa
	Relative Luftfeuchte:	50%
	Kammerspannung/Polarität:	+ 400 V
	Sättigungseffizienz:	100 %

Kalibrierdatum **10.07.2018**

Rekalibrierintervall 2 Jahre (empfohlen)

Freiburg, den 11.07.2018

PTW-Freiburg
Physikalisch-Technische
Werkstätten Dr. Pöchlau GmbH

Pöchlau
(Unterschrift)

Seite 1 / 2

Figure 4.2: Kalibrierschein PTW TM 30013 Farmer Kammer Seite 1.

Kalibrierbedingungen

Klimatische Bedingungen	Temperaturbereich:	(294,2 ± 3) K / (21 ± 3) °C			
	Luftdruckbereich:	(1000 ± 50) hPa			
	Rel. Luftfeuchte Bereich:	(40 ± 20) %			
Strahlungsqualitäten und Geometrie	Qualität	Filter [mm]	HWD [mm]	SDD [cm]	Feld [cm]
	⁶⁰ Co	-	-	100	10 x 10
Qualität: Strahlungsqualitäten gemäß DIN 6809-5 / DIN 6809-4 Filterung: Gesamtfilterdicke (Eigenfilterung der Röhre + Zusatzfilterung) HWD: Halbwertschichtdicke am Messort SDD: Abstand zwischen dem Referenzpunkt und der Strahlenquelle Feld: Feldgröße am Referenzpunkt, diam. = Felddurchmesser Referenztiefe: 5 g cm ⁻² H ₂ O					
Anordnung des Detektors	Die Kammerachse war senkrecht zum Zentralstrahl ausgerichtet Die Linie auf dem Kammerstiel zeigte in Richtung der Strahlenquelle Der Referenzpunkt befand sich in der angegebenen Tiefe / im angegebenen Abstand zur Strahlenquelle Weitere Informationen zur Positionierung befinden sich in der Gebrauchsanweisung, bzw. dem Datenblatt zum Detektor				
Dosis und Dosisleistung	Wasserenergiedosis : min.: 5,0 · 10 ⁻² Gy / max.: 5,0 Gy Wasserenergiedosisleistung : min.: 50 mGy/min / max.: 300 mGy/min				
Polaritätseffekt	≤ 0,2 % (im Kalibrierfaktor zur angegebenen Polarität nicht berücksichtigt)				
Sättigungskorrekturfaktor	k _s = 1,000				
Selbstablauf	Vernachlässigbar während der Kalibrierung				

Bemerkungen

- Die angegebene relative Messunsicherheit des Kalibrierfaktors bezieht sich auf den Erweiterungsfaktor $k = 2$. Sie wurde gemäß dem "Guide to the expression of Uncertainty of Measurement" (ISO, 1995) ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im zugeordneten Werteintervall. Die angegebenen relativen Messunsicherheiten setzen sich zusammen aus den Unsicherheiten des Kalibrierverfahrens, der Umgebungsbedingungen und denen des Prüflings während der Kalibrierung. Ein Anteil für die Langzeitinstabilität des Kalibriergegenstandes ist nicht enthalten.
- Die Kalibrierung ist rückführbar auf Normale der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig. Dieser Kalibrierschein gilt nur im Zusammenhang mit dem Strahlungsdetektor/-dosimeter mit dem unverletzten Aufkleber mit der Kalibrierscheinnummer. Kalibrierfaktoren und Messwerte von Strahlungsdetektoren, die zu Reparaturzwecken geöffnet wurden, sind nicht mit früheren Kalibrierungen vergleichbar.
- Die Komponenten des Kalibriergegenstands entsprechen vollständig den jeweiligen Spezifikationen des Datenblatts und der Gebrauchsanweisung.
- Die vorliegende Kalibrierung kann gleichermaßen für die Wasserenergiedosis-Bestimmung gemäß der Dosimetrie-Protokolle IAEA TRS 398, AAPM TG-51 und DIN 6800-2 verwendet werden. Dabei ist zu beachten, dass die in diesem Kalibrierschein angegebene Bezugstemperatur mit der des angewendeten Protokolls übereinstimmen muss. Sollte das nicht der Fall sein, muss eine entsprechende Korrektur des Kalibrierfaktors auf die Bezugstemperatur des angewendeten Protokolls durchgeführt werden.

Figure 4.3: Kalibrierschein PTW TM 30013 Farmer Kammer Seite 2.