

Tiefendosismessung im Wasserphantom und Berechnung des Schwächungskoeffizienten

Betreuer: Dr. Oliver Dohm
Universitätsklinikum Tübingen, Radioonkologie

Kurs: MSc Medizinische Strahlenwissenschaften

Author: Marie Jost

Datum: 19. November 2018

Table of Contents

List of Figures	ii
1 Einleitung	1
2 Aufbau	2
2.1 Aufbau des Wasserphantoms	2
2.2 Aufbau der Elektrodenmesseinheit	2
3 Durchführung	4
3.1 Voreinstellungen	4
3.2 Bestrahlungsprozess	6
4 Ergebnisse	7
4.1 Ergebnisse	7
Appendix	12

List of Figures

2.1 Ionisationskammern $0,3\text{cm}^3$ und $0,125\text{cm}^3$	3
2.2 Wasserphantom mit Messkammern.	3
3.1 Handschalter.	4
4.1 Tiefendosisverlauf im Wasserphantom, 6MV Photonenstrahlung.	7
4.2 Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 4cm bis 30cm.	8
4.3 Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 4cm bis 12cm.	9
4.4 Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 13cm bis 22cm.	10
4.5 Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 23cm bis 30cm.	10
4.6 Tiefendosisverlauf Messwerttabelle.	12

1 Einleitung

Um eine konstante Dosisleistung für Patienten- und Forschungsbetrieb innerhalb der Strahlentherapie zu gewährleisten, ist eine kontinuierliche Überprüfung der Photonen und Elektronenstrahlung an den entsprechenden Linearbeschleunigern zwingend erforderlich.

Hierbei kommt zur überprüfenden Messung ein Wasserphantom zum Einsatz, welches als repräsentatives Modell für den menschlichen aber auch tierischen Körper dient und mit dessen Hilfe die sogenannte Tiefendosis bestimmt werden kann. Bei der Tiefendosis handelt es sich um die Intensität von z.B. Photonen- oder Elektronenstrahlung, die bei einer definierten Tiefe als Dosis im Gewebe bzw. Wasser deponiert wird.

Diese wiederum kann mittels Hochpräzessionsmesseinheiten äußerst genau ermittelt werden und erlaubt somit die Gewährleistung einer im Vorfeld berechneten Dosisanwendung, welche insbesondere in der Patientenbestrahlung äußerste Präzession verlangt.

Aufgrund des zeitlichen Aufwandes, der mit einer Wasserphantommessung einhergeht, wurde das Wasserphantom in diesem Versuch lediglich mit 6MV Photonenstrahlung bestrahlt. Jedoch wäre auch hier eine Bestrahlung mit höheren Energiewerten möglich. Grundsätzlich besteht das Wasserphantom aus einem rechteckigen Plexiglas Wassertank und entsprechend verstellbaren Messelektroden, die in der Lage sind, die im Wassertank deponierte Strahlenmenge aufzuzeichnen um diese anschließend an ein Computersystem weiterzuleiten. Das Wasserphantom selbst wird auf einem höhenverstellbaren Hubwagen positioniert, mit destilliertem Wasser gefüllt und anschließend mit Hilfe eines Lasersystems relativ zum Linearbeschleuniger ausgerichtet.

Um möglichst präzise Messergebnisse zu erhalten ist daher darauf zu achten, dass die Messung im Zentralstrahl des Beschleunigers durchgeführt wird. Um dies zu erreichen ist es wichtig im Vorfeld ein entsprechendes Bestrahlungsfeld zu wählen. In diesem Beispiel wurde eine Bestrahlungsfeldgröße von $30 \times 30 \text{ cm}^2$ und eine Tiefenmessung von 0cm, also unmittelbar an der Wasseroberfläche, bis zu einer Wassertiefe von 30 cm ausgewählt.

Neben der Tiefendosisbestimmung lässt sich von den Messwerten jedoch auch der sogenannte Schwächungskoeffizient μ ableiten. Dieser Faktor gibt Kenntnis darüber, wie stark die jeweilige Strahlung relativ zur Tiefe abgeschwächt wird. Dieses Wissen ist insbesondere in der Bestrahlungsplanung von großer Bedeutung und erlaubt somit eine gezieltere Dosisverteilung sowie die Schonung von Risikoorganen.

Neben dem oben angesprochenen Wasserphantom kommen in der klinischen Routine zur Dosisverifikation auch häufig RW 3 Platten zum Einsatz. Diese sind Aufgrund ihrer festen physikalischen Eigenschaft deutlich einfacher und schneller aufzubauen als das Wasserphantom und ermöglichen darüber hinaus ebenfalls eine Messung in wasserähnlicher Dichte.

2 Aufbau

2.1 Aufbau des Wasserphantoms

Das Wasserphantom besteht grundsätzlich aus einem großem Plexiglastank, welcher auf einem mobilen und höhenverstellbaren Hubwagen aufliegt. Die Plexiglaswände verfügen über ein eingraviertes Fadenkreuz mit dessen Hilfe der Wassertank exakt entsprechend einem im Raum justierten Lasersystem und relativ zum Beschleunigerkopf ausgerichtet werden kann. Hierbei ist eine akkurate Justierung entlang aller drei räumlichen Achsen essentiell um im darauffolgenden Schritt korrekte Messwerte zu erhalten.

Nach dem entfernen unbenötigter Gegenstände wie z.B. des Patiententisches und Lagerungshilfen, wird das Wasserphantom entsprechend wie oben beschrieben im Raum ausgerichtet. Anschließend wird das Phantom der Firma PTW Freiburg mit entmineralisiertem oder destilliertem Wasser befüllt und weist dann ein Gesamtgewicht von ca. 300kg auf. Die exakte Justierung erfolgt mithilfe einer komplexen Bewegungsmechanik, welche es erlaubt den schweren Wassertank möglichst genau zu platzieren.

Der Hubwagen selbst erlaubt Messungen mit unterschiedlichen Abständen zum Strahlerkopf. Es ist hierbei von Wichtigkeit darauf zu achten, einen von der Herstellerfirma geprüften Hubwagen zu wählen um Ausrichtungsfehler zu vermeiden. Darüber hinaus sind innerhalb des Tankes entlang aller drei Achsen Metallschienen angebracht, die durch die Unterstützung eines Schrittmotors zudem die Positionierung der Elektromettermesskammern erlauben.

Nachdem der Wassertank mithilfe einer externen Wasseraufbereitungsmaschine befüllt wurde wird der Füllschlauch vorsichtig abgekoppelt. Die Füllmenge ist prinzipiell variabel, sollte jedoch spätestens gestoppt werden, sobald das Kontingent an destilliertem Wasser nahezu erschöpft ist und Luft anfängt vom Füllschlauch in den Wassertank zu gelangen.

2.2 Aufbau der Elektrodenmesseinheit

Die Elektrodenmesseinheit besteht aus zwei Elektrometern, die von zwei Ionisationskammern repräsentiert werden.

Bei den Ionisationskammern handelt es sich jeweils um flexible Schlauchkammern, die zylinderförmig geformt sind und am Messkopfende eine Halbkugelform aufweisen. Wasserdicht abgeschirmt und mit je einer Mittelelektrode sind die Ionisationskammern des Types Kammernummer: 31013 0,3cm³ und Kammernummer: 31010 0,125cm³ der Firma PTW zudem mit einer schützenden Plexiglas Kappe versehen, die vor der Messung unbedingt abgeschraubt werden sollte. Bei der Befestigung der Ionisationskammern ist zu beachten, dass diese senkrecht zueinander ausgerichtet werden. Dies heißt in unserem Fall, dass die erste Kammer, 31013 0,3cm³, mit Hilfe einer Befestigungsklammer mittig am beweglichen Fahrarm befestigt wird, siehe Abbildung 2.2.



Figure 2.1: Ionisationskammern $0,3\text{cm}^3$ und $0,125\text{cm}^3$.

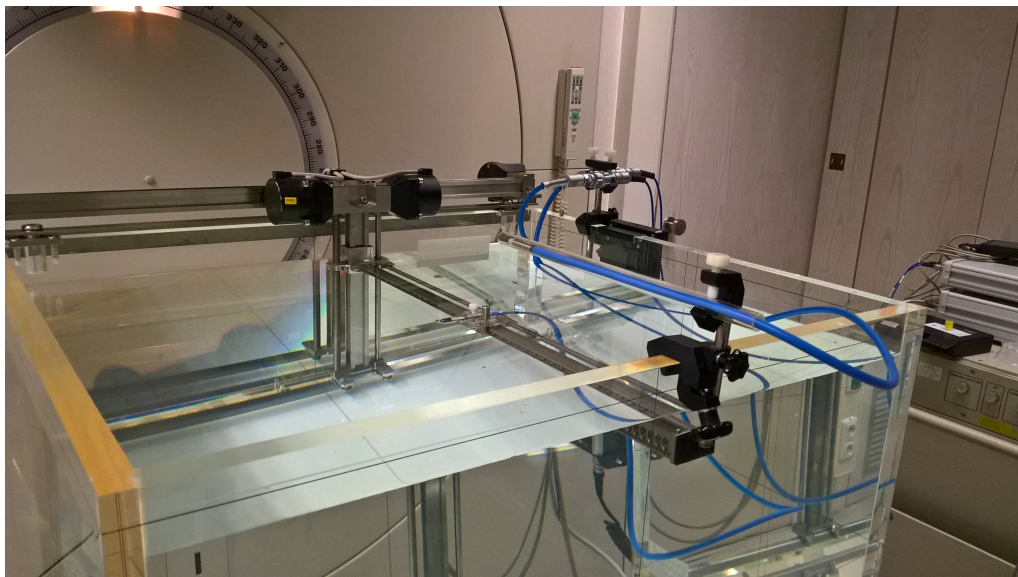


Figure 2.2: Wasserphantom mit Messkammern.

Durch den beweglichen Fahrarm mit integriertem Schrittmotor ist es dann möglich die Ionisationskammer entlang allen drei Achsen zu verschieben. Die zweite Ionisationskammer, 31010 $0,125\text{cm}^3$, wird oberhalb des Tanks am Wassertankrand ebenfalls mit einer Befestigungsklammer und einem dünnen Plexiglasrohr eingespannt und parallel zum beweglichen Fahrarm ausgerichtet. Die übrigen blauen Kabel der Ionisationskammern hängen seitlich im Wasser und die Steckverbindungen werden ebenfalls mit einer Befestigungsklammer aus dem Wasser herausgehalten. Der entsprechende Aufbau ist in Abbildung 2.2 zur Verdeutlichung bildlich dargestellt.

3 Durchführung

3.1 Voreinstellungen

Nachdem das Wasserphantom positioniert und mit destilliertem Wasser befüllt wurde, wird es zunächst entlang dem eingravierten Fadenkreuz und mithilfe des im Bestrahlungsraum integrierten Lasersystems ausgerichtet. Hierbei kann zur Kontrolle auch auf den Seiten des Tanks und an der Wasseroberfläche ein weißes Papier benutzt werden um die Laser besser sichtbar zu machen. Beim befüllen des Wasserphantoms ist insbesondere darauf zu achten, die Wasserzufuhr abzuschalten, sobald Luft aus dem Reservoir durch den Schlauch in den Wassertank gelangt. Zwar steigt die evtl. beigefügte Luft langsam aus dem Wasser an die Wasseroberfläche, jedoch wird die Messung umso genauer, je weniger zusätzliche Luft sich im Wassertank befindet. Durch eine einfache STOP-Taste, die am Reservoirgerät angebracht ist, lässt sich die Wassermenge individuell regulieren und abpumpen. Zudem können sich mit der Zeit Schmutz und Staubpartikel im Wassertank befinden, die das destillierte Wasser verunreinigen. Ein regelmäßiger Austausch des destillierten Wassers ist daher vonnöten.

Sobald die Positionierung des Wasserphantoms abgeschlossen ist, wird mit der Ausrichtung der Messeinheit begonnen. Hierzu wird die erste Ionisationskammer senkrecht zum Fahrarm und parallel zur Wasseroberfläche mittig entlang des Fahrarmes eingespannt. Diese kann nun durch Bedienung eines Handschalters, siehe Abbildung 3.1,



Figure 3.1: Handschalter.

entlang der drei Raumachsen durch den Wassertank bewegt werden. Die zweite Ionisationskammer wird parallel zum Fahrarm fest am oberen Rand des Wassertanks installiert. Dies ermöglicht eine Dosismessung sowohl außerhalb des Tanks als auch innerhalb des Wassers.

Im Anschluss erfolgt die Definition und Überprüfung des Limitpunktes (LP). Hierbei wird via Handschalter der Fahrarm jeweils entlang aller drei Achsen bis Rand gefahren und entsprechend ein gewünschter Limitpunkt gesetzt. Dieser dienen vorrangig zur Sicherung des beweglichen Systems, damit bei der darauffolgenden Messung keine Elektronik zu Schaden kommt. Die Definition des LP's kann am Handschalter unkompliziert durch den Knopf SET-LIMIT-POINT + KEY in die Richtung in die man NICHT mehr fahren möchte vorgenommen werden.

Ein entsprechender mechanischer Referenzpunkt "REF" kann ebenso definiert werden und ermöglicht dem System aus jeglicher Lage wieder exakt diesen Ausgangspunkt anzusteuern. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit nach Ausrichtung des Wassertanks einen Nullpunkt zu definieren, welcher an der Wasseroberfläche die Mitte des Wassertankfeldes kennzeichnet. Mithilfe einer Einstellhilfe wird im darauffolgenden Schritt die Mechanik möglichst genau auf die Wasseroberfläche ausgerichtet. Hierbei gilt zu beachten, dass die Einstellhilfe mittig im Laserfadenkreuz ausgerichtet wird und die weiße Spitze knapp von unten die Wasseroberfläche berührt. Hierzu kann es hilfreich sein, die Wasseroberfläche von unten zu betrachten. Sobald sich nun die Spitze der tatsächlichen Einstellhilfe mit der Spitze der im Wassertank gespiegelten berühren ist die Spitze der Einstellhilfe korrekt positioniert. Um eine möglichst genaue Ausrichtung der Einstellhilfe zu gewährleisten ist es ratsam eine evtl. auftretende Wellenbewegung des Wassers zunächst abzuwarten.

Nachdem die Einstellhilfe justiert wurde ist es nun noch vonnöten den Focus Haut Abstand (FHA) einzustellen. Hierbei handelt es sich um den Abstand vom Strahlerfokus zum Hautabstand des Patienten, bzw. in unserem Fall zum Wasseroberflächenabstand. Der FHA kann ebenfalls über eine Laserprojektion und einer unkomplizierten Höhenverstellung des Wassertanks entsprechend auf 100 cm eingestellt werden. Um die Lasermarkierung an der Wasseroberfläche sichtbar zu machen kann ein weißes DIN A4 Papier verwendet werden, welches in den Wassertank getaucht wird und anschließend auf der Wasseroberfläche aufliegt.

Bei Messungen mit einem Wasserphantom sind zudem Faktoren wie Verdunstung, Verunreinigungen, Luftdruck und Wassertemperatur mit in Betracht zu ziehen. So ist es aus Optimierungsgründen ratsam eine Wassertemperatur zu verwenden, die der Raumtemperatur entspricht. Ist das Wasser initial deutlich wärmer oder kälter als seine Umgebungstemperatur wird während dem Bestrahlungs- und Messprozess ein thermischer Ausgleich stattfinden, durch den es zu Fluktuationen der Wassertemperatur kommen kann. Zudem entsteht an der Wasseroberfläche eine Verdunstungskälte. Als ungefähre Regel würde man hierbei eine Wasserverdunstung von $0,3\text{cm}^3$ in 3h erwarten.

Entsprechend der ausgewählten Messkammer sollte die Kammerspannung überprüft und insofern notwendig entsprechend angepasst werden. Zudem ist es für eine korrekte Messung notwendig den Beschleuniger korrekt auszurichten. Hierbei kann die digitale Anzeige des Gerätes zur Hilfe genommen werden um den Beschleuniger auf 0° einzustellen. Da eine digitale Anzeige jedoch gleichzeitig immer auch eine Fehlerquelle darstellt, ist es hilfreich die Ausrichtung des Beschleunigerkopfes nochmals mithilfe einer Präzessionswasserwaage zu überprüfen. Diese wird hierzu von unten gegen den Beschleunigerkopf gehalten um mögliche Abweichungen abzulesen.

3.2 Bestrahlungsprozess

Vor jedem Bestrahlungsprozess ist zunächst das Bestrahlungsbuch (Excel-Tabelle) am Computer aufzurufen. Hier werden alle Bestrahlungen dokumentiert und die entsprechenden HT Werte zu Beginn und am Ende der Bestrahlung eingetragen. Anschließend kann das Messprogramm aufgerufen werden und die Bestrahlungsart, Feldgröße, Monitoreinheiten und Messtiefe ausgewählt werden. Auch die Ausrichtung des Wassertanks relativ zum Linearbeschleuniger ist für eine korrekte Messung notwendig. Des Weiteren erlaubt das Programm die Auswahl eines Keilfilters, Abschirmblock, den Wechsel zwischen einem Rechtecks oder quadratischem Feld sowie die Messkammerauswahl.

Beim eigentlichen Bestrahlungsprozess ist darauf zu achten, dass die Messkammer von unten zur Wasseroberfläche gefahren wird, da eine Wellenbewegung sowie die Wasseroberflächenspannung ansonsten zu Ungenauigkeiten führen könnte. Zudem kann die Genauigkeit erhöht werden, in dem man die Messzeit pro Messpunkt von 0,1s auf 0,5s erhöht. Im Regelfall wird aufgrund der Zeitersparnis eine Messzeit von 0,3s pro Messpunkt verwendet.

Weitere Möglichkeiten um evtl. auftretende Fluktuationen und Störungen zu verringern wären z.B. die Nutzung einer Referenzkammer, die nicht direkt im Zentralschichtstrahl montiert ist, die Messung der Dosisleistung mit anschließender Normierung oder auch die Entschleunigung des Fahrschlittens.

Beim Bestrahlungsprozess wurde ein $10 \times 10\text{cm}^2$ Feld sowie 6MV Photonenstrahlung verwendet. Die gemessenen Tiefen liegen zwischen 0cm und 30cm. Eine detaillierte Übersicht der Messdaten ist dem Anhang zu entnehmen.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse

Zur Tiefendosismessung im Wasserphantom wird der Wassertank mit 6MV Photonenstrahlung bestrahlt. Hierbei werden Tiefenmessungen zwischen 0cm und 30cm Tiefe vorgenommen um einen Tiefendosisverlauf zu erhalten. Die Tiefendosis repräsentiert die im Wasser deponierte Dosis am spezifischen Messpunkt innerhalb des Wassertanks. Da der menschliche Körper zu einem Großteil aus Wasser besteht, kann ein einfaches Wasserphantom repräsentativ als Approximation angewendet werden und erlaubt somit einen guten Überblick über die Dosisverteilung innerhalb des menschlichen Körpers.

Der gemessene Tiefendosisverlauf ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

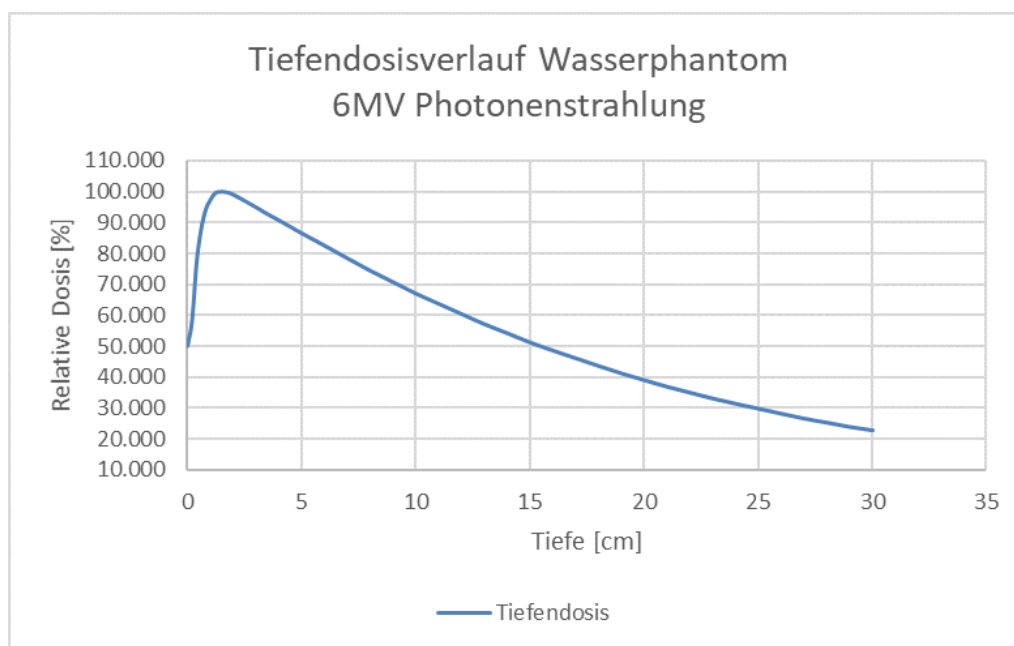


Figure 4.1: Tiefendosisverlauf im Wasserphantom, 6MV Photonenstrahlung.

Deutlich zu erkennen ist die exponentielle Zerfallskurve, die nach dem Aufbaueffekt eintritt. Bei dem Aufbaueffekt handelt es sich um einen Wechselwirkungsprozess, zwischen der Photonenstrahlung und der umgebenden Materie entlang der Materienoberfläche. Mit zunehmender Photonenenergie nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Vorwärtsstreuung der bei einer Ionisation herausgelösten Elektronen aufgrund der Eigenschaften des Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitts zu, das heißt, dass sie sich überwiegend in Richtung des einfallenden Bestrahlungsfeldes bewegen. Direkt an der Hautoberfläche werden die Elektronen freigesetzt, ihre Energie geben sie aber erst in der Tiefe ab. An dem Punkt, an dem gleich viele Elektronen freigesetzt werden, wie stoppen, herrscht Sekundärelektronengleichgewicht.

Hier ist der Punkt der größten Dosisdeposition. Dieser befindet sich abhängig von der ursprünglichen

Photonenenergie in einer Tiefe von ca. 1,5cm. Durch die Verringerung der Photonenfluenz sinkt dann in der weiteren Tiefe die deponierte Dosis exponentiell ab. Der Dosisaufbau findet seine direkte Anwendung bei medizinischen Bestrahlungsprozessen und erlaubt hierbei die Schonung der Haut des Patienten. Dies ist insbesondere bei der Photonenstrahlung ausschlaggebend, da diese gegenüber der Elektronenstrahlung tief in das Gewebe eindringen kann.

Mathematisch lässt sich der exponentielle Zerfall der Tiefendosis in Wasser für den Idealfall mithilfe des Dosischwächungsgesetzes darstellen:

$$D(x) = D_0 e^{-\mu x}, \quad (4.1)$$

wobei $D(x)$ die Funktion der im Wasser deponierten Dosis darstellt, D_0 entspricht der beim Bestrahlungsprozess angewendete Ursprungsdosis, μ repräsentiert den Schwächungskoeffizienten und x die Messtiefe.

Da die deponierte Dosis durch eine einfache exponential Funktion beschrieben werden kann, kann über eine Logarithmierung der relativen Dosis eine gerade Funktion erstellt werden, die eine Extrahierung des Schwächungskoeffizienten μ zulässt.

Die graphische Darstellung des Tiefendosisverlaufes im Bereich von 4cm - 30cm Messtiefe wird durch Abbildung 4.2 repräsentiert. Um exaktere Werte des Schwächungskoeffizienten zu erhalten, wurde darauf verzichtet die komplette Messtiefe zur Berechnung auszuwählen. Da es an oberflächennahen Regionen zu einem Aufbaueffekt kommt, der den Wert des Schwächungskoeffizienten ungewollt beeinflusst, ist eine Vernachlässigung der Messwerte bei geringen Messtiefen sinnvoll.

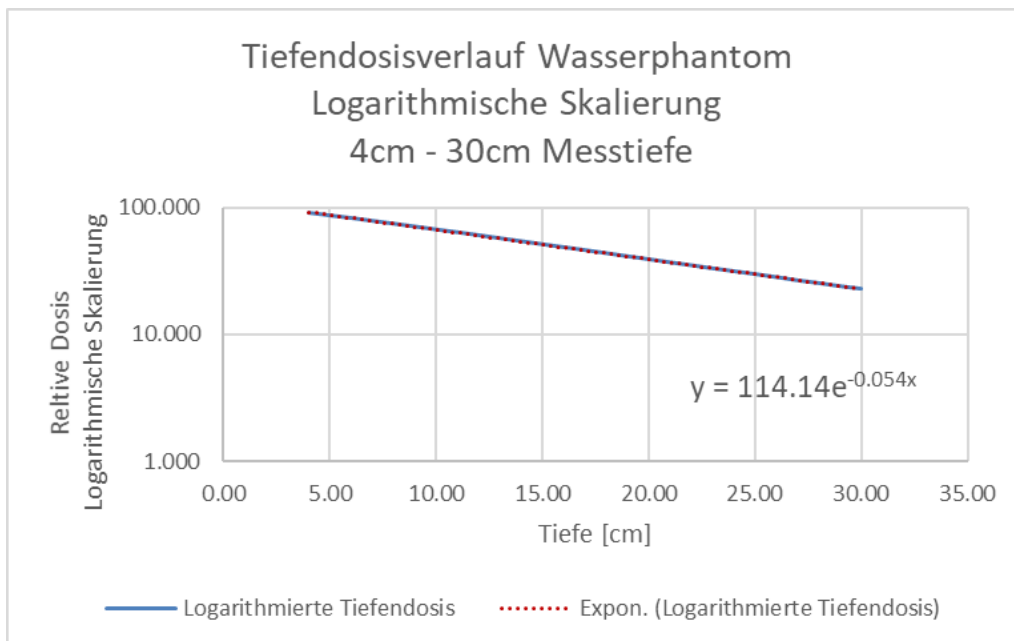


Figure 4.2: Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 4cm bis 30cm.

Nach erfolgter mathematischer Berechnung erhält man somit für den Schwächungskoeffizienten $\mu \approx 0,054$.

Um die Beständigkeit dieser Berechnung zu überprüfen, wurde der Schwächungskoeffizient anschließend für drei Abschnitte entlang der Messtiefe individuell bestimmt. Die ausgewählten Messtiefen betragen hierbei 4cm - 12cm, 13cm - 22cm und 23cm - 30cm.

Die entsprechenden Messkurven in logarithmischer Darstellung sowie die Ergebnisse der drei individuellen Schwächungskoeffizienten sind jeweils in den Abbildungen 4.3, 4.4 und 4.5 abgebildet.

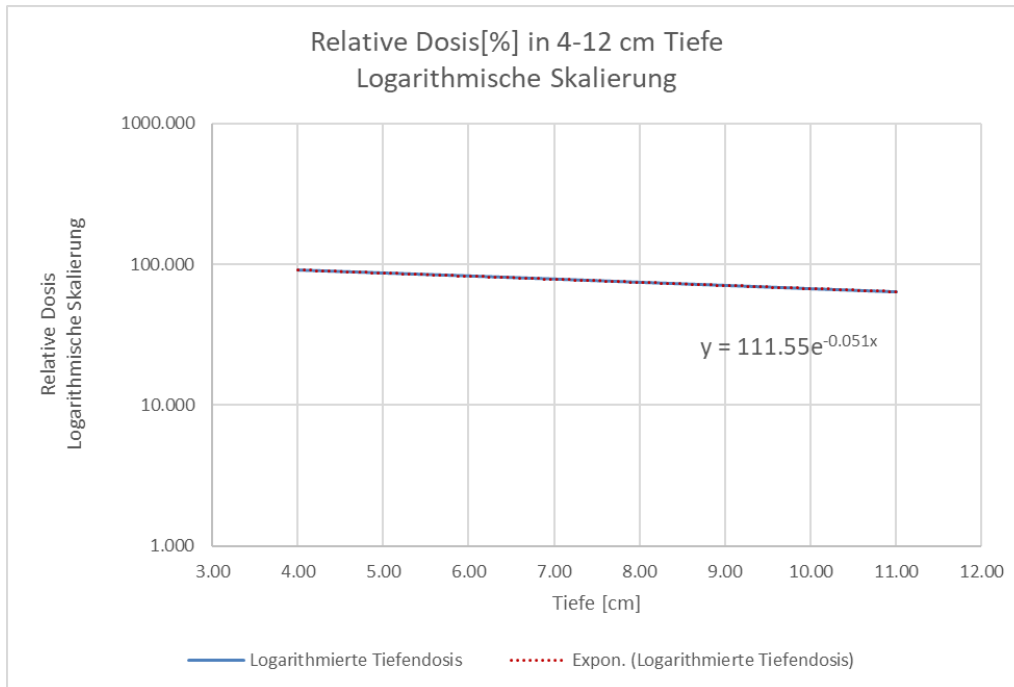


Figure 4.3: Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 4cm bis 12cm.

Mithilfe der Abbildungen 4.3, 4.4 und 4.5 lässt sich erkennen, dass die Schwächungskoeffizienten die Werte 0,051 ; 0,054 und 0,054 annehmen.

Vor allem für größere Messtiefen lässt sich daher der Schwächungskoeffizient sehr genau bestimmen. Die geringe Abweichung des ersten Schwächungskoeffizienten mit dem Wert 0,051 für eine Tiefe von 4cm - 13cm lässt sich auf den bereits angesprochenen Dosisaufbau zurückführen.

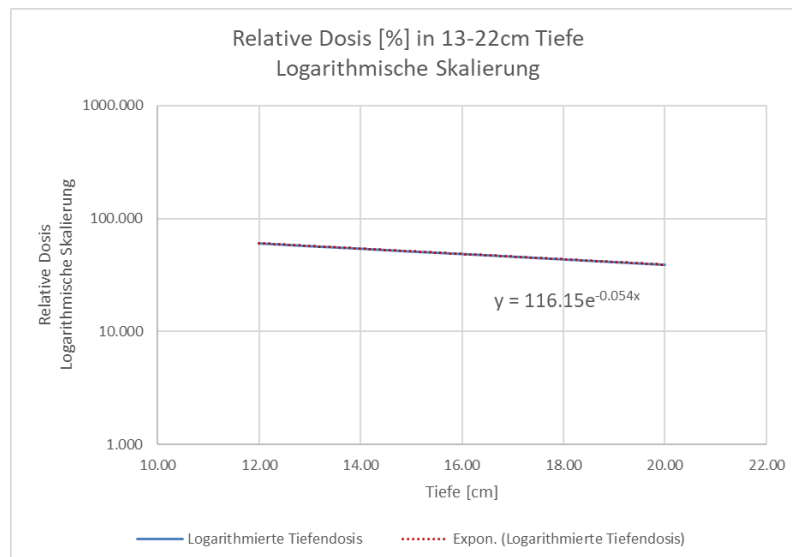


Figure 4.4: Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 13cm bis 22cm.

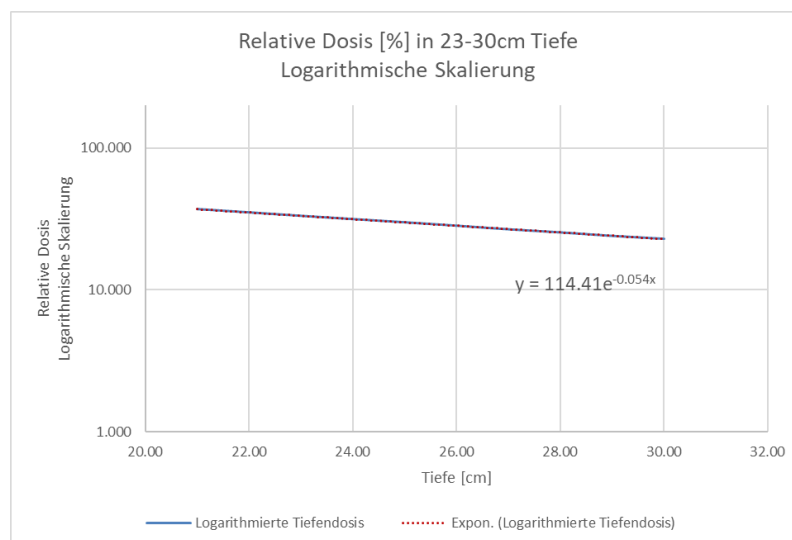


Figure 4.5: Tiefendosisverlauf im Wasserphantom mit logarithmischer Skalierung, 23cm bis 30cm.

Mithilfe von Messkammern lässt sich die deponierte Dosis im Wasserphantom bestimmen. Über die entsprechenden Messwerte kann der Tiefendosisverlauf in Wasser graphisch dargestellt und der Schwächungskoeffizient μ errechnet werden. Für die vorgenommenen Messungen beträgt der Schwächungskoeffizient in Wasser $\mu = 0,054$ bei einer Messtiefe zwischen 4cm und 30cm.

Appendix

Messwerte zur Tiefendosisbestimmung im Wasserphantom bei 6MV Photonenstrahlung.

Tiefe [cm]	Relative Dosis [%]	log[Relative Dosis[%]]
0.00	50.200	3.916
0.20	58.600	4.071
0.40	77.400	4.349
0.60	88.100	4.478
0.80	94.300	4.546
1.00	97.400	4.579
1.20	99.500	4.600
1.40	100.000	4.605
1.60	100.000	4.605
1.80	99.700	4.602
2.00	99.100	4.596
2.50	97.100	4.576
3.00	95.000	4.554
3.50	92.800	4.530
4.00	90.800	4.509
4.50	88.700	4.485
5.00	86.600	4.461
6.00	82.600	4.414
7.00	78.500	4.363
8.00	74.500	4.311
9.00	70.800	4.260
10.00	67.100	4.206
11.00	63.800	4.156
12.00	60.500	4.103
13.00	57.200	4.047
14.00	54.300	3.995
15.00	51.300	3.938
16.00	48.700	3.886
17.00	46.200	3.833
18.00	43.700	3.777
19.00	41.300	3.721
20.00	39.100	3.666
21.00	37.000	3.611
22.00	35.100	3.558
23.00	33.200	3.503
24.00	31.500	3.450
25.00	29.900	3.398
26.00	28.300	3.343
27.00	26.700	3.285
28.00	25.400	3.235
29.00	24.000	3.178
30.00	22.900	3.131

Figure 4.6: Tiefendosisverlauf Messwerttabelle.