



19.11.2018

Protokoll zum Dosimetriepraktikum vom 16.11.2018

Abstandsquadratgesetz in Luft und
Querprofilmessungen

Jonas Habrich
BM6 Dosimetrie

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung.....	2
2	Abstandsquadratgesetz in Luft.....	2
2.1	Material und Methoden	3
2.2	Ergebnisse und Diskussion	5
3	Messung von Querprofilen im Wasserphantom	7
3.1	Material und Methoden	7
3.2	Ergebnisse und Diskussion	9
4	Hausaufgabe	14
5	Quellen	14

1 Zielsetzung

Teil 1:

Im ersten Teil des Praktikums soll das Abstandsquadratgesetz (AQG) in Luft bestätigt werden. Dafür werden Punktdosismessungen in Luft durchgeführt, wobei jede Messung in einem anderen Abstand zur Strahlungsquelle stattfindet.

Teil 2:

Im zweiten Teil des Praktikums sollen Querprofile in drei definierten Tiefen bei verschiedenen Feldgrößen im Wasserphantom aufgenommen werden. Außerdem werden zwei unterschiedliche Messkammern eingesetzt und es wird untersucht, wie sich die Fahrtrichtung der Messkammer auf die Tiefendosiskurve (TDK) auswirkt.

2 Abstandsquadratgesetz in Luft

Das Abstandsquadratgesetz (AQG) besagt, dass die Dosisleistung indirekt proportional mit dem Quadrat des Abstands von der Strahlungsquelle abfällt (Abb. 1). Dies gilt allerdings nur, solange die Strahlungsquelle punktförmig ist bzw. wenn der Abstand sehr viel größer als die Ausdehnung der Quelle ist.

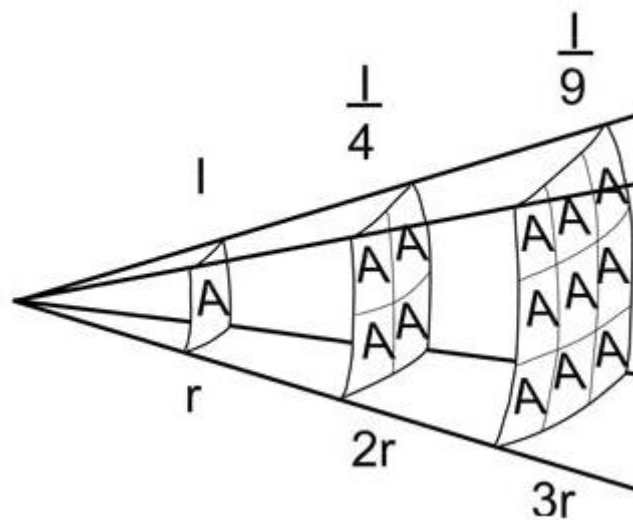


Abbildung 1: Abstandsquadratgesetz [1]

Mathematisch ausgedrückt, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Dabei entsprechen D bzw. I der Dosis bzw. Intensität und r dem Abstand von der Quelle.

2.1 Material und Methoden

Zur Messung der Punktdosen in verschiedenen Abständen wird die flexible Kammer $0,3\text{cm}^3$ verwendet. Das Wasserphantom wird nicht gebraucht, da die Messungen in Luft erfolgen sollen. Um möglichst weit von der Strahlungsquelle messen zu können, wird die Gantry des Beschleunigers um 90° gedreht (Abb. 2). Nun muss die Messkammer im gewünschten Abstand von der Folie bzw. Oberfläche des Bestrahlerkopfes angebracht werden. Dazu wird die Kammer auf einem Stapel von Platten festgeklebt, der auf einem Carbontisch steht. Die Anzahl der Platten wird so gewählt, dass die Messkammer von der Höhe her genau im Zentralstrahl des Beschleunigers liegt.

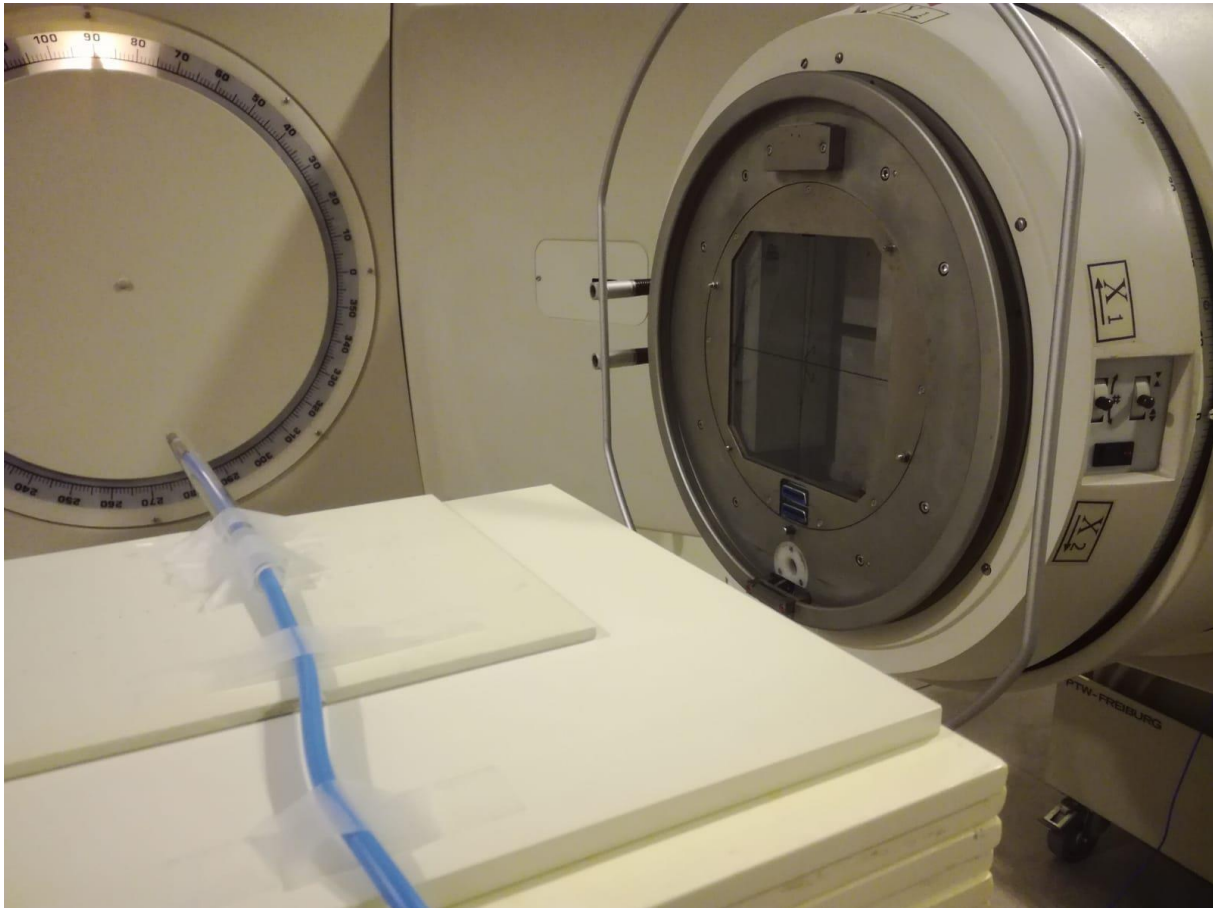


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Bestätigung des AQG

Außerdem wird die Kammer so ausgerichtet, dass das Messvolumen der Kammer möglichst genau im Zentralstrahl liegt (Abb. 3).

Bei der Befestigung der Messkammer wird darauf geachtet, dass diese möglichst weit entfernt von den Platten ist, damit keine von den Platten ausgehende Streustrahlung die Messergebnisse verfälscht.

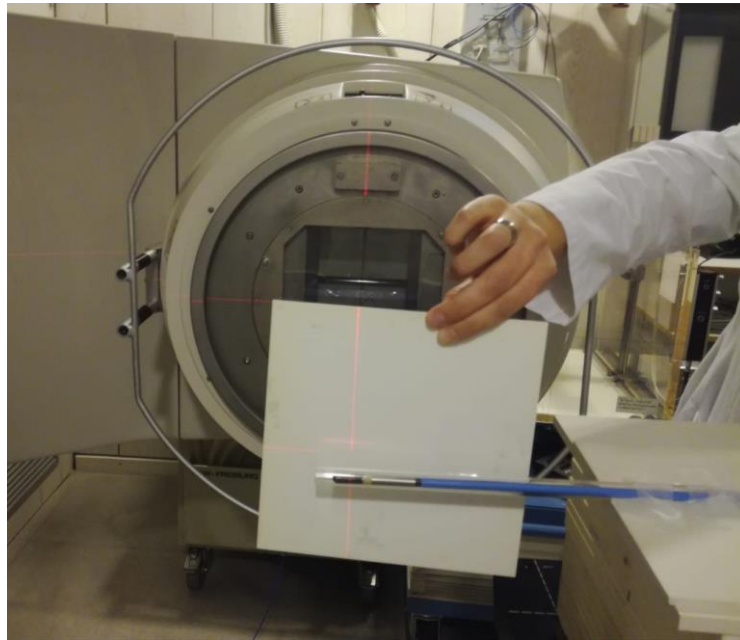


Abbildung 3: Ausrichtung der Messkammer auf den Zentralstrahl

Messungen werden immer in Intervallen von 50cm durchgeführt, außer bei der letzten Messung beträgt das Intervall 64cm, da damit der maximale Abstand direkt an der Wand erreicht wird.

Die Befestigung der Kammer bei der ersten Messung im Abstand 0cm und bei der letzten Messung unterscheiden sich insofern von den anderen Messungen, da dabei die Kammer direkt an der Oberfläche des Linacs bzw. an der Wand befestigt wird (Abb. 4).

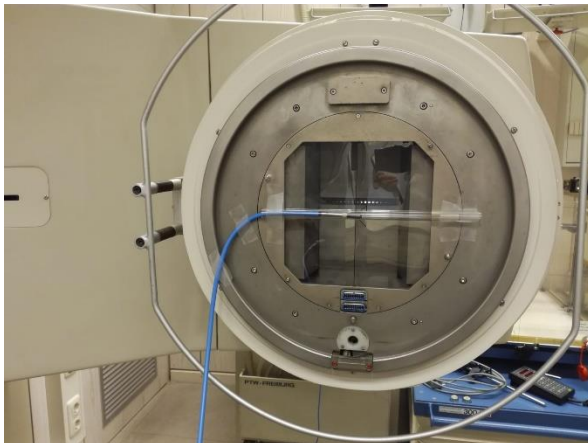


Abbildung 4: Befestigung der Messkammer am ersten Messpunkt (links) und am letzten Messpunkt (rechts)

Bei der Ausrichtung der Messkammer für die weiteren Messpunkt wird der Abstand von der Bestrahlerkopfoberfläche bestimmt, indem auf die Oberfläche des Bestrahlerkopfes eine Platte gelegt wird und mittels eines Maßbandes dann der Abstand vom Beginn dieser Platte zur Messkammer ermittelt wird.

Messeinstellungen

Für jede Messung wird am Linac folgendes eingestellt:

- Strahlungsart: Photonen

- Energie: 6MV
- Feldgröße: 10x10cm²
- Monitoreinheiten: MU1: 100; MU2: 110
- Interlocks: Gruppe 1

Die Messungen werden mittels des Elektrometers (PTW Unidos) aufgezeichnet, wobei bei jedem Abstand 3 Messungen durchgeführt werden, um im Mittel Schwankungen ausgleichen zu können.

Erklärung des Elektrometers

- MOD-Modus: Wahl des Messmodus (Stromstärke oder Ladung)
- RGE-Range: Wahl des Messbereichs zur Empfindlichkeitseinstellung (low, middle, high)
- NUL-Nullabgleich: Durchführung des Nullabgleichs
- STA-Start: Start der Messung
- HLD-hold: Festhalten des aktuell angezeigten Messwertes
- RES-reset: Zurücksetzen der Anzeige
- INT-Intervall: Messung über eine bestimmte Zeitdauer, je nach vorheriger Einstellung

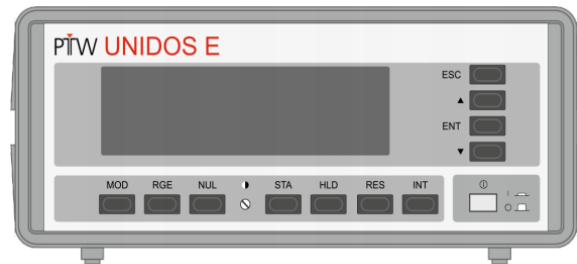


Abbildung 5: Elektrometer [2]

Setup: hier kann zwischen verschiedenen Einheiten gewählt werden: elektrische Einheiten (Stromstärke oder Ladung) bzw. radiologische Einheiten (Dosis oder Dosisleistung)

Bemerkungen zum Elektrometer:

- Elektrische Einheiten sollten bevorzugt genutzt werden, da bei radiologischen Einheiten die angewandten Korrekturfaktoren später nicht mehr nachvollziehbar sind
- Messung der Stromstärke entspricht der Dosisleistung, Messung der Ladung der Dosis
- Bei Wechsel der Messkammer immer einen Nullabgleich durchführen
- Elektrometer vor 1. Messung immer mindestens 15min warmlaufen lassen

Außerdem werden vor Beginn der ersten Messung 600MU abgestrahlt, damit sich sowohl der Linac warmstrahlt als auch die Messkammer im elektrostatischen Gleichgewicht befindet.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Für die verschiedenen Abstände ergeben sich folgende Messwerte:

Abstand [cm]	Messwert 1 [nC]	Messwert 2 [nC]	Messwert 3 [nC]
0	40,11	40,12	40,12
50	8,932	8,941	8,954
100	4,053	4,061	4,06
150	2,321	2,322	2,323
200	1,518	1,518	1,519
264	1,042	1,042	1,040



Dabei kann klar erkannt werden, dass die Ladung mit größer werdendem Abstand von der Strahlerkopfoberfläche abnimmt. Zur Überprüfung des AQG wird die Ladung für den Abstand 200cm mit dem Messwert im Abstand 100cm berechnet.

$$I_2 = 4,053nC * \frac{(100cm)^2}{(200cm)^2} = 1,013nC$$

Der berechnete Wert von 1,013nC weicht deutlich von den gemessenen 1,518nC ab. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Strahlenquelle nicht auf der Oberfläche des Strahlerkopfes liegt, sondern innerhalb dessen. Dieser Abstand muss in der Berechnung ergänzt werden, um die korrekten Werte zu errechnen.

Die Messung dieses Abstandes ergibt den Wert 53cm. Wird dies in die Berechnung miteinbezogen, ergeben sich folgende Werte:

Abstand [cm]	Mittelwert der Messungen [nC]	berechneter Wert [nC]	Abweichung [%]
53	40,117	40,117	0
103	8,942	10,622	18,7821755
153	4,058	4,814	18,62648846
203	2,322	2,735	17,76664095
253	1,518	1,760	15,9493745
317	1,041	1,121	7,688241248

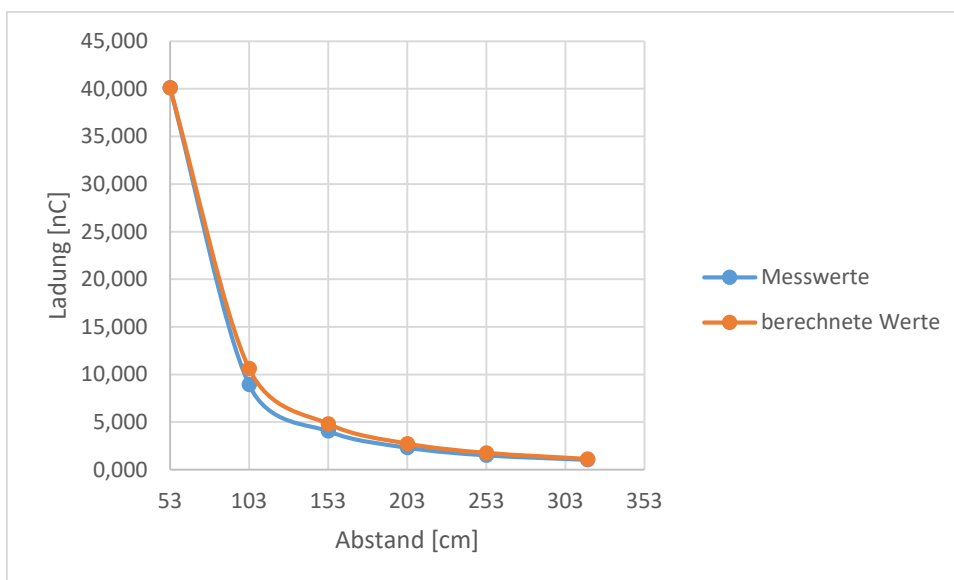


Abbildung 6: Vergleich der Messwerte mit den berechneten Werten

Dabei zeigt sich, dass die Abweichung der gemessenen Werte von den berechneten Werten immer noch sehr hoch ist. Eine Erklärung dafür sind die vielen Ungenauigkeiten, die beim Ausrichten der Messkammer und beim Messen des Quelle-Strahlerkopf-Abstandes passiert sind.

Allerdings sieht man den Einfluss des AQG daran, dass die Abweichungen der beiden Kurven voneinander mit zunehmenden Abstand weniger werden.

Auf die Messungen aufbauend wird zudem die Hausaufgabe formuliert:

Aus den gemessenen Werten soll der Quelle-Strahlerkopf-Abstand errechnet werden!

Abschließend kann durch die Messungen die Gültigkeit des AQG bei Messungen von Photonenstrahlung in Luft angenommen werden. Zu beachten aber, dass das AQG nur bei perfekten Bedingungen die richtigen Werte liefert, also im Vakuum, einer punktförmigen Quelle und exakt eingestellten Abständen.

3 Messung von Querprofilen im Wasserphantom

Volumeneffekt

Unter dem Volumeneffekt versteht man, dass die endliche Ausdehnung der Messkammer einen Einfluss auf die Messergebnisse hat und damit die Messung von Querprofilen verfälscht.

Ideal wäre eine punktförmige Messkammer. Da solch eine Messkammer aber nicht existiert, sollte eine Messkammer mit möglichst geringer Ausdehnung genutzt werden.

Softwareprogramme können inzwischen auch schon den Volumeneffekt aus Messungen zum Teil wieder herausrechnen. Für hochpräzise Messungen sollte jedoch ein Diamant-Detektor verwendet werden.

3.1 Material und Methoden

Für die Aufnahme von Querprofilen wird das Wasserphantom, wie im Protokoll zum 26.10.2018 beschrieben, aufgebaut. Allerdings werden die Limitpunkte in der A und C-Achse weiter außen gesetzt. Als Messkammer dient nun die semiflexible Kompaktkammer $0,125\text{cm}^3$ und als Referenzkammer am Feldrand dient die semiflexible Kompaktkammer $0,3\text{cm}^3$. Der Fokus-Oberflächen-Abstand wird auf 100cm eingestellt.

Vor Beginn der ersten Messung wird zudem der Check-of-Center-Beam durchgeführt, um den Nullpunkt des Wasserphantoms zu bestimmen. Die Messungen werden mit Hilfe der Software mephisto durchgeführt.

Linac Einstellungen:

- Strahlenart: Photonen
- Energie: 6MV
- Interlockgruppe: 8 (sorgt für Dauerstrahlbetrieb)
- SSD: 100cm

Variation der Messtiefen und Feldgrößen

Bei der Messung der ersten Querprofile wird eine Feldgröße von $5 \times 5\text{cm}^2$ genutzt. Die Messung der Querprofile erfolgte immer in A und C-Richtung, wobei in Richtung C auch inplane und Richtung A crossplane genannt wird.

Querprofile werden immer in folgenden Tiefen aufgenommen:

- 16mm (entspricht ungefähr Dosismaximum)
- 100mm
- 250mm

Für die zweite Messreihe wird die Feldgröße auf $15 \times 15 \text{ cm}^2$ erhöht, für die dritte Messreihe auf $30 \times 30 \text{ cm}^2$.

Für die vierte Messreihe wird die Feldgröße auf $40 \times 40 \text{ cm}^2$ (maximale Feldgröße) erhöht. Allerdings wird hier nur in der Tiefe von 100mm gemessen. Dafür werden zusätzlich die beiden Diagonalen gemessen.

Variation der Messkammer

Für diese Messung wird die Messkammer durch die Rooskammer, eine Flachkammer, ersetzt. Es wird ein Querprofil in 100mm Tiefe bei einer Feldgröße von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ aufgenommen. Vor der Messung wird nochmals ein Check-of-Center-Beam durchgeführt, da ein Messkammerwechsel stattgefunden hat.

Tiefendosiskurven bei verschiedenen Fahrtrichtungen

Für diese Messungen wird erneut die Rooskammer genutzt. Es werden drei Tiefendosiskurven (TDK) im Nullpunkt des Wasserphantoms aufgenommen. Dabei verfährt die Messkammer bei der ersten Messungen aus der Tiefe an die Wasseroberfläche und bei den beiden anderen Messungen von der Wasseroberfläche nach unten.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Variation der Messtiefen und Feldgrößen

Für die Feldgröße von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ergeben sich folgende Querprofile:

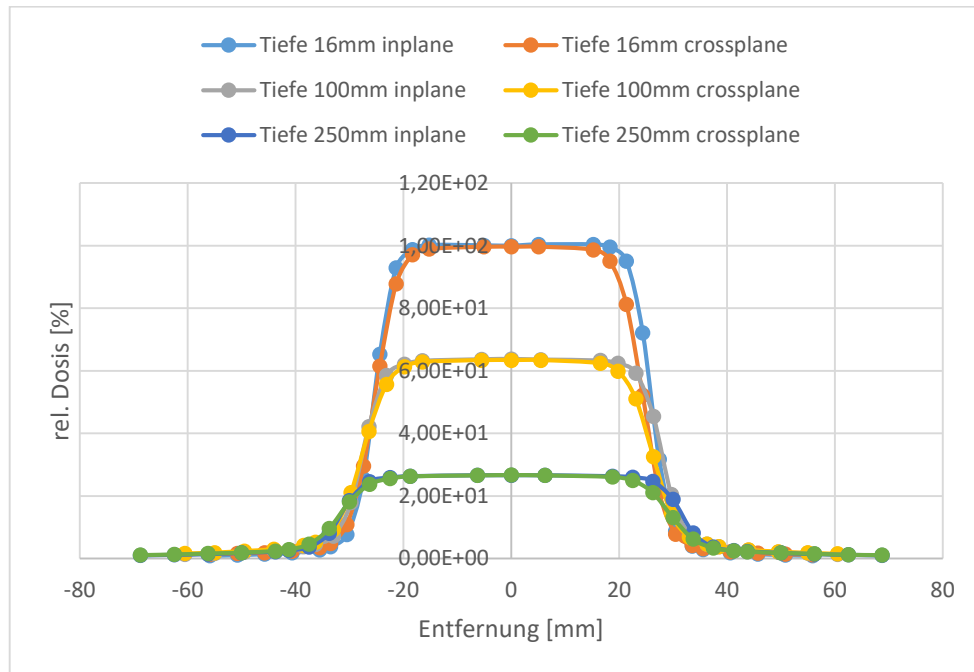


Abbildung 7: Querprofile bei Feldgröße $5 \times 5 \text{ cm}^2$

Für die Feldgröße von $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ergeben sich folgende Querprofile:

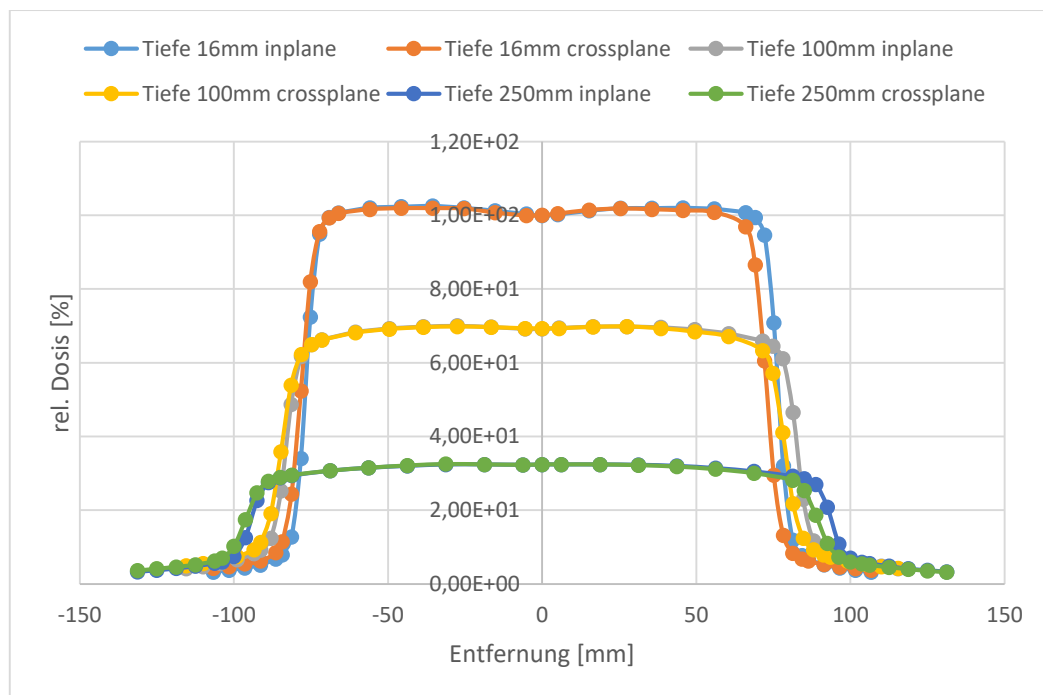


Abbildung 8: Querprofile bei Feldgröße $15 \times 15 \text{ cm}^2$

Für die Feldgröße von $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ergeben sich folgende Querprofile:

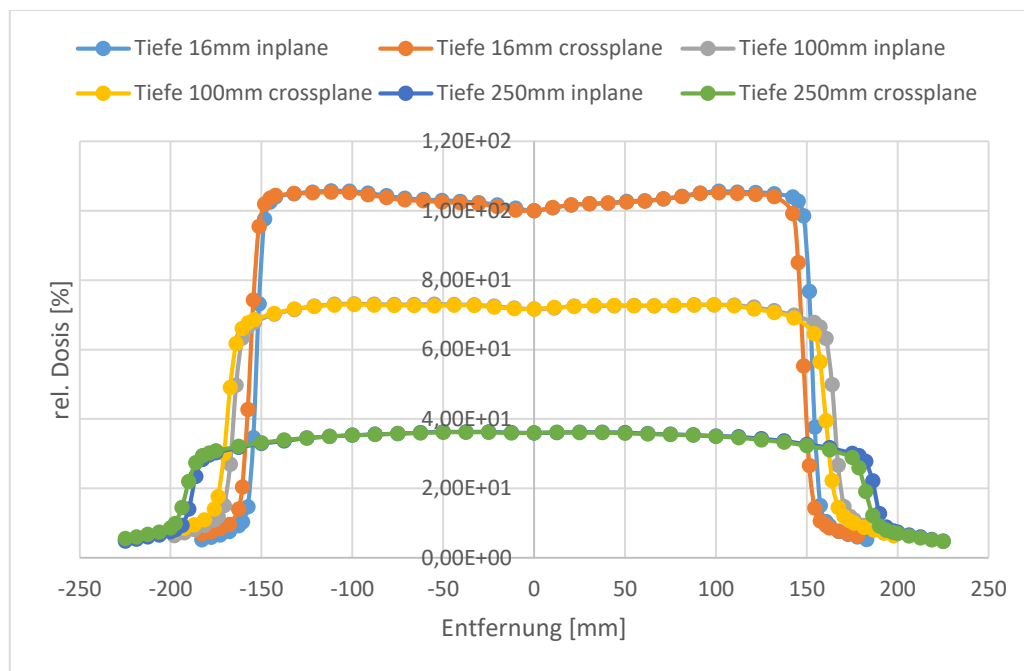


Abbildung 9: Querprofile bei Feldgröße $30 \times 30 \text{ cm}^2$

Für die Feldgröße von $40 \times 40 \text{ cm}^2$ und eine Tiefe von 100mm ergeben sich folgende Querprofile und Diagonalen:

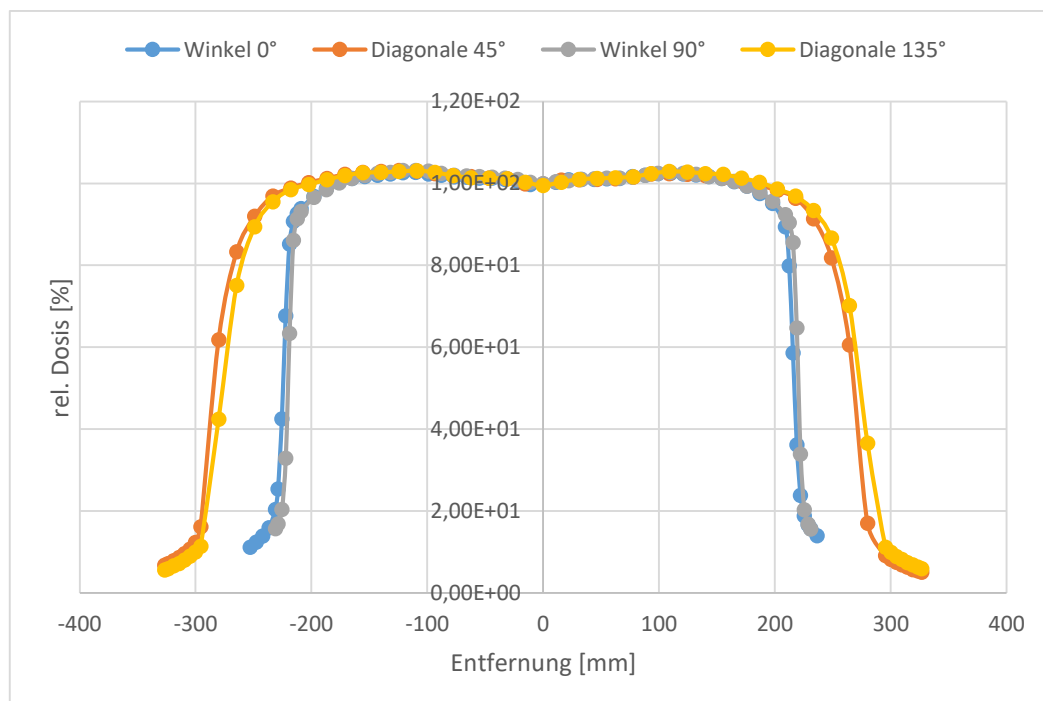


Abbildung 10: Querprofile und Diagonalen bei Feldgröße $40 \times 40 \text{ cm}^2$

Es zeigt sich bei allen gemessenen Querprofilen, dass sich die Querprofile mit zunehmender Tiefe verbreitern. Die Ursache dafür liegt in der Divergenz der Strahlung, die sich mit zunehmender Tiefe

verbreitert. Außerdem nimmt in größerer Tiefe die Photonenstreustrahlung zu. Der Effekt der Verbreiterung der Querprofile mit der Tiefe wäre in einem weniger stark streuenden Medium wie Luft geringer ausgeprägt.

Man kann zudem erkennen, dass das Dosismaximum der Querprofile mit zunehmender Tiefe kleiner wird. Dies lässt sich mit dem Schwächungsgesetz der Strahlung in Materie erklären.

Eine weitere Erkenntnis beim Betrachten der Grafiken ist, dass das Plateau der Querprofile nur in der Tiefe 100mm wirklich gerade ist. In der Tiefe von 16mm steigt die Dosis am Plateaurand an und es zeigen sich Buckel, während die Dosis am Plateaurand in einer Tiefe von 250mm geringer ist und die Kurve einer Parabel ähnelt. Die Ursache dafür liegt im Ausgleichskörper des Linac, den die Photonenstrahlung passieren muss. Dieser ist in der Mitte sehr dick und wird zu den Seiten immer dünner. Deshalb werden die Photonen im Zentralstrahl stärker geschwächt bzw. die Strahlung wird mehr aufgehärtet als am Rand, was zu mehr niederenergetischen Photonen am Feldrand führt. Dies führt in geringen Tiefen zu mehr Dosis am Feldrand, wobei dieser Effekt sich in größeren Tiefen umkehrt und die Dosis hier dementsprechend geringer ist, was zum parabelähnlichen Verlauf führt. In einer Tiefe von 100mm ist das Plateau praktisch gerade, weil die Ausgleichskörper so gebaut sind, dass das Plateau in einer bestimmten Tiefe eben sein soll, welche genau 100mm ist.

Außerdem kann in Abbildung 9 in der Kurve in 16mm Tiefe crossplane erahnt werden, dass der Buckel keine stetige Kurve ist, sondern in drei Abschnitten verläuft. Die Ursache hierfür ist, dass der Ausgleichskörper ebenfalls so gebaut ist, dass er in drei Bereichen unterschiedliche Steigungen besitzt, die sich im Verlauf der Kurve widerspiegeln.

Zudem kann man in Abbildung 10 erkennen, dass die Kurven, die diagonal aufgenommen wurden, einen größeren Halbschatten besitzen. Ursache dafür ist, dass in den Ecken des Wasserphantoms weniger Streustrahlung entsteht und damit weniger Dosis gemessen wird.

Als letzte Beobachtung sieht man in Abbildung 7, dass das Plateau der Kurve in 16mm Tiefe inplane breiter ist und die Kurve nach dem Plateau steiler abfällt als die gleiche Kurve crossplane. Das bedeutet, die Messung inplane hat einen kleineren Halbschatten als die crossplane Messung. Ursächlich hierfür ist, dass bei der inplane Messung eine scharfe Begrenzung der Strahlung durch die Blockblenden des linac besteht, wohingegen bei der crossplane Messung die vorne abgerundeten Lamellen des MLCs eine weniger scharfe Abgrenzung bilden. Dadurch entstehen bei inplane Messungen kleinere Halbschatten als bei crossplane Messungen.

Variation der Messkammer

Beim Vergleich der Messung mit der semiflexiblen Kammer und der Rooskammer ergeben sich folgende Kurven:

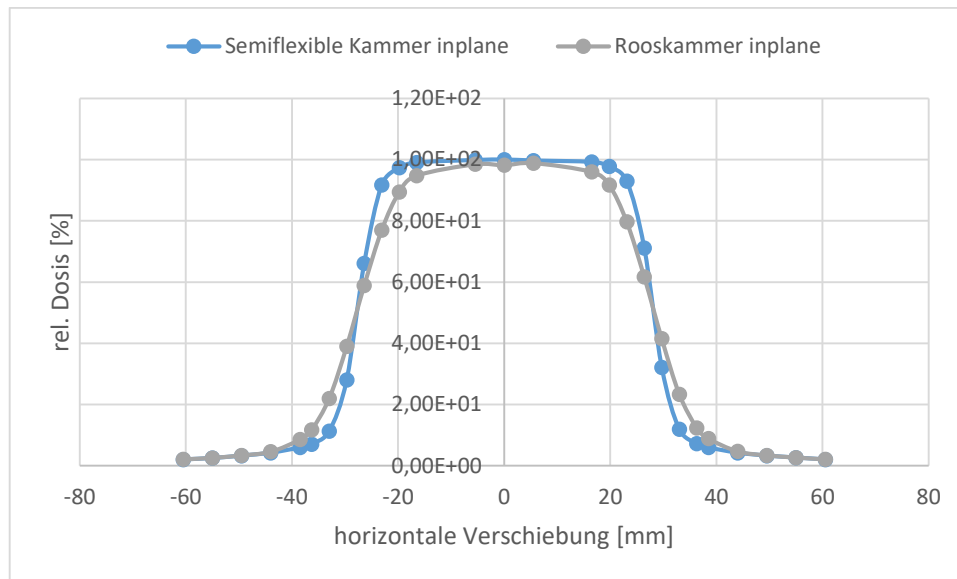


Abbildung 11: Vergleich der Messung mit der semiflexiblen Kammer mit der Rooskammer bei einer Feldgröße von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ und einer Tiefe von 100mm

Beim Vergleich der beiden Messkammern sieht man, dass das Plateau, gemessen mit der semiflexiblen Kompaktkammer, breiter ist als mit der Rooskammer und zudem danach deutlich steiler abfällt, also einen kleineren Halbschatten besitzt. Außerdem schneiden sich die beiden Kurven bei exakt 50% der Dosis.

Ursache dafür ist der zu Beginn erläuterte Volumeneffekt. Die Rooskammer hat deutlich größere Ausdehnung als die Kompaktkammer. Bei beiden wird aber die Dosis über das Messvolumen integriert. Dabei misst die Rooskammer also immer noch Dosis, auch wenn sie schon zum Großteil außerhalb des bestrahlten Feldes ist. Die Kompaktkammer dagegen verlässt aufgrund der geringeren Ausdehnung am Feldrand schneller keine Dosis mehr, weshalb sie einen kleineren Halbschatten hat. Außerdem ist der Schnittpunkt der beiden Kurven bei 50% der Dosis nicht willkürlich, sondern liegt immer bei 50% der Dosis, da über das Volumen der Messkammer integriert wird. Dies kann auch mathematisch nachgewiesen werden. Deshalb wird auch die 50% Breite als Maß für die Feldbreite genutzt, da diese immer korrekt gemessen werden kann.

Tiefendosiskurven bei verschiedenen Fahrtrichtungen

Beim Vergleich der TDK mit verschiedenen Fahrtrichtungen ergeben sich folgende Kurven:

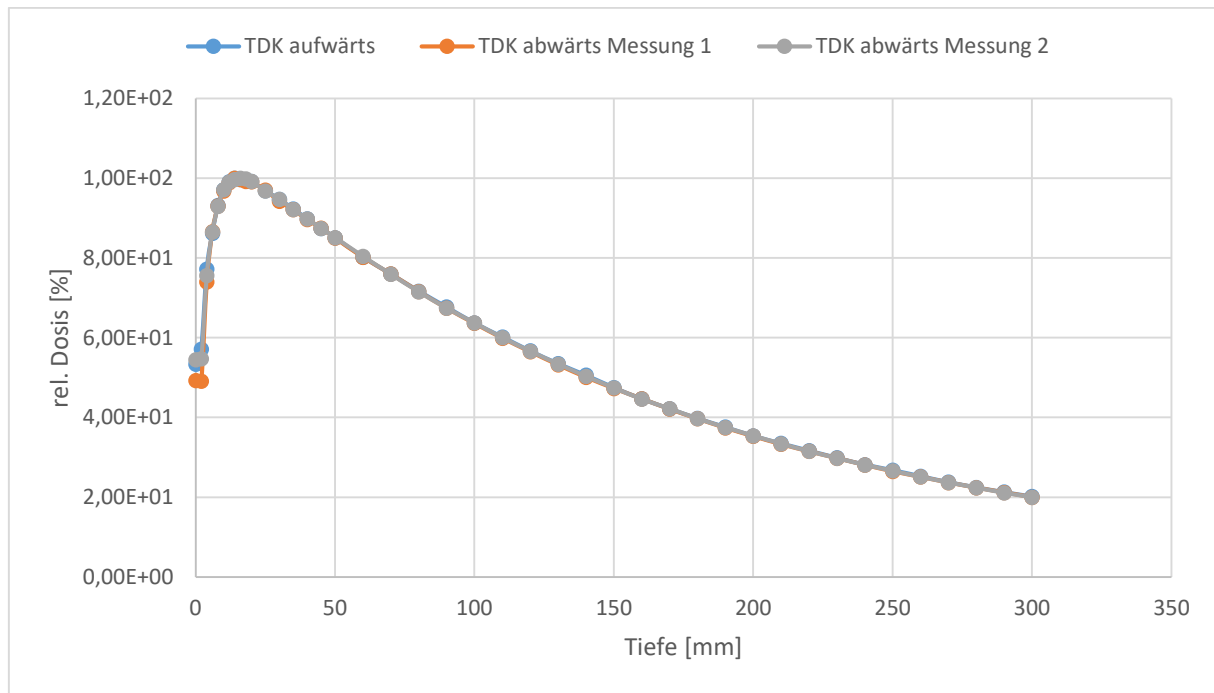


Abbildung 12: TDK bei verschiedenen Fahrtrichtungen aufgenommen mit der Rooskammer

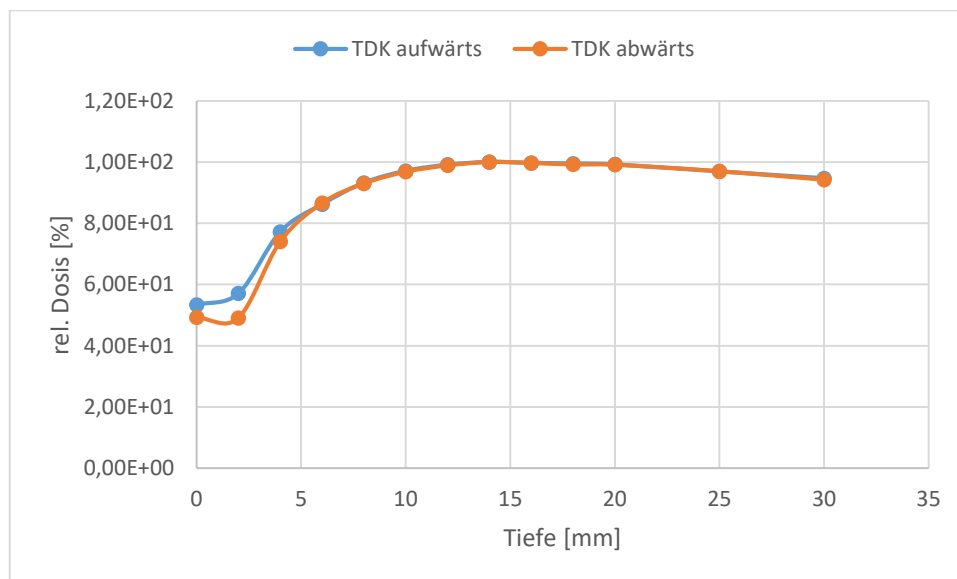


Abbildung 13: TDK bei verschiedenen Fahrtrichtungen Detailaufnahme nahe der Wasseroberfläche

Man sieht anhand der Kurven, dass die Dosis in größerer Tiefe kaum voneinander abweicht. Allerdings sind nahe der Wasseroberfläche deutliche Unterschiede erkennbar. Die Ursache dafür liegt in der Oberflächenspannung des Wassers. Fährt die Messkammer von oben in das Wasser, verhindert die Oberflächenspannung zu Beginn noch ein Eindringen. Wird diese dann überwunden, bilden sich Wellen am Wasser aus, welche dann die Messergebnisse beeinflussen. Da diese erzeugten Wellen unterschiedliche Verläufe haben können, unterscheiden sich außerdem Messungen mit Fahrtrichtung der Messkammer von oben nach unten voneinander, so dass immer die Fahrtrichtung von unten nach oben genutzt werden sollte.

4 Hausaufgabe

Als Hausaufgabe sollte der Quelle-Strahlerkopfoberflächenabstand (QSA) bestimmt werden, da dieser fehlende Abstand dafür sorgt, dass die gemessenen Werte aus dem ersten Teil des Praktikums nicht dem AQG entsprechen.

Berechnung über AQG:

Tiefe 1: $0+x$ cm

Ladung 1: $40,11nC$

Tiefe 2: $100+x$ cm

Ladung 2: $4,053nC$

Mit x = QSA

Mit AQG:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

$$\Rightarrow 40,11nC * x^2 = 4,053nC * (100 + x)^2$$

Damit folgt für x :

$$x = \frac{100cm}{\sqrt{\frac{40,11nC}{4,053nC}} - 1} = 46,6cm$$

Der über das AQG berechnete QSA wäre $46,6cm$.

5 Quellen

[1] <https://ask.audio/articles/creating-a-3d-mix-with-two-speakers/de> aufgerufen am 19.11.2018

[2] http://www.ptw-usa.com/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=ZmlsZWJkbWluL2ludGVybmFscy9kZ25fcmFkL21hbl9zcGVjL1VOSURPU19FX01hbl9lbl81NDUxMzEwMF8wNi5wZGY=&t=1498459278&hash=c5d9278bcd07ddbf08e7029055e5d473 aufgerufen am 19.11.2018