

Protokoll zum Praktikum Dosimetrie vom 22.11.2019

Messung von Querprofilen und Abstandquadratgesetz

Moritz Schneider

Inhalt

1. Zielsetzung.....	1
2. Messung von Querprofilen eines Strahlungsfeldes	1
2.1 Versuchsaufbau	1
2.2 Versuchsdurchführung	1
2.3 Ergebnisse und Diskussion	1
3. Abstandquadratgesetz	6
3.1 Versuchsaufbau	6
3.2 Versuchsdurchführung	6
3.3 Ergebnisse und Diskussion	8

1. Zielsetzung

1. Teil:

Im ersten Teil des Praktikums wurden zunächst Querprofile in 3 Tiefen und mit unterschiedlichen Feldgrößen aufgenommen. Dabei sollten die Effekte des Ausgleichsfilters deutlich werden. Weiterhin wurden die Besonderheiten der Blockblenden auf der einen und des Viellamellenkollimators (MLC) auf der anderen Seite untersucht. Deutlich wurde auch die Abhängigkeit der Breite des Halbschattens von der Wahl des Detektors.

2. Teil:

Im zweiten Teil des Praktikums sollte das Abstandquadratgesetz untersucht werden. Hierfür wurden Dosismessung in unterschiedlichen Abständen vom Fokus des Linearbeschleunigers durchgeführt.

2. Messung von Querprofilen eines Strahlungsfeldes

2.1 Versuchsaufbau

Zunächst wurde das Wasserphantom aufgebaut. Als Messkammer verwendet wurde eine luftgefüllte Ionisationskammer der Firma PTW aus Freiburg mit der Bezeichnung Semiflex (Typnummer: 31010) und einem sensitiven Volumen von $0,125 \text{ cm}^3$. Als Referenzkammer diente ebenfalls eine luftgefüllte Ionisationskammer der Firma PTW mit der Bezeichnung Semiflex (Typnummer: 31013), jedoch mit einem sensitiven Volumen von $0,3 \text{ cm}^3$. Alle Messungen wurden mit einem SSD von 100 cm und Photonenstrahlung mit einer Grenzenergie von 6MV durchgeführt.

2.2 Versuchsdurchführung

Für die Messreihen wurden zunächst $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$ und $30 \times 30 \text{ cm}^2$ große Strahlenfelder verwendet. Dabei wurden jeweils in 16 mm (etwa Dosismaximum), 100 mm und 250 mm Querprofile in zwei Richtungen gemessen, jeweils in G-T und A-B Richtung des Beschleunigers. Dies entspricht der Messung entlang der Koordinatenachsen C und A des Wasserphantoms und den im Messprogramm verwendeten Bezeichnungen inplane und crossplane. Abschließend wurden die Querprofile sowie ein diagonales Profil eines $40 \times 40 \text{ cm}^2$ großen Feldes in 100 mm Tiefe gemessen.

Zusätzlich wurden Querprofile eines $5 \times 5 \text{ cm}^2$ großen Feldes mithilfe einer Roos-Kammer und einem Microdiamond-Detektor in 100 mm Tiefe gemessen.

2.3 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 bis 4 zeigen Querprofile für die unterschiedlichen Feldgrößen in den genannten Tiefen. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Messungen der Querprofile in $5 \times 5 \text{ cm}^2$ großen Feldern in 100 mm Tiefe für zwei verschiedene Detektoren.

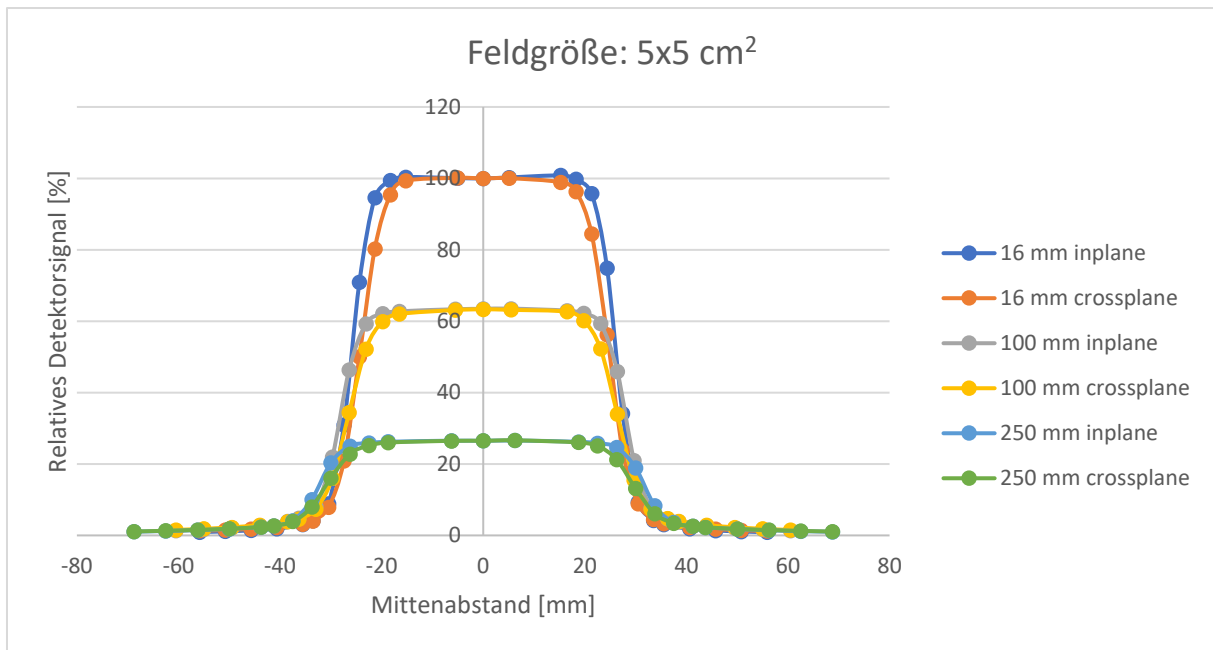


Abbildung 1: Querprofile bei einer Feldgröße von 5x5 cm².

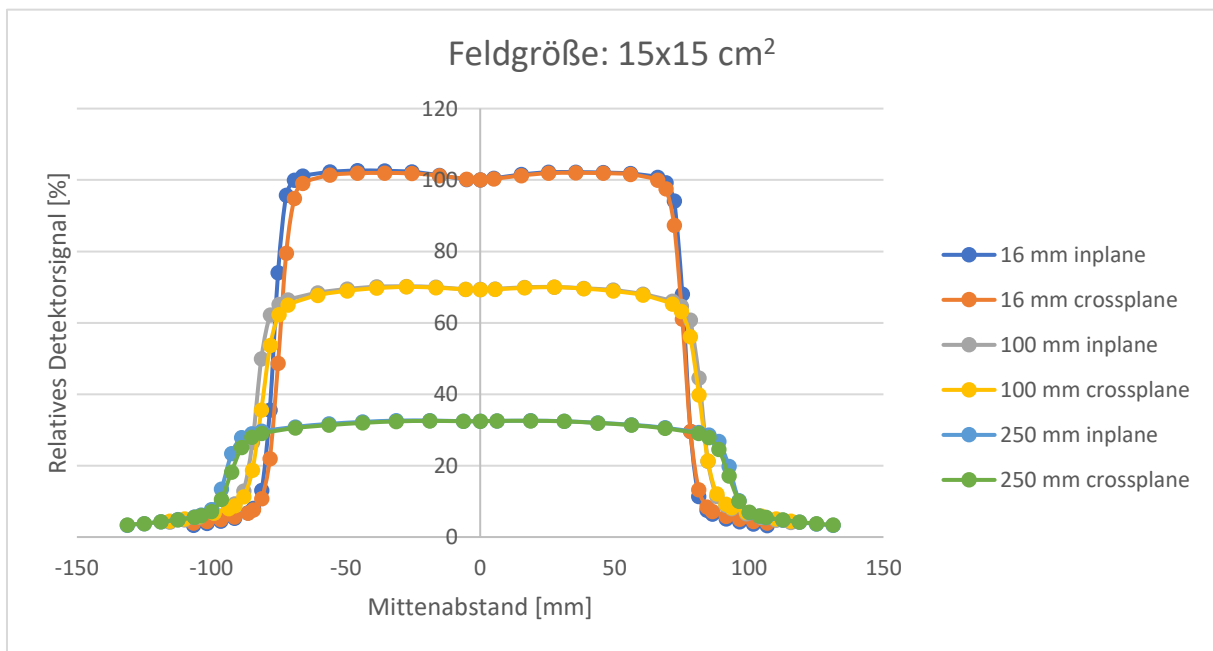


Abbildung 2: Querprofile bei einer Feldgröße von 15x15 cm².

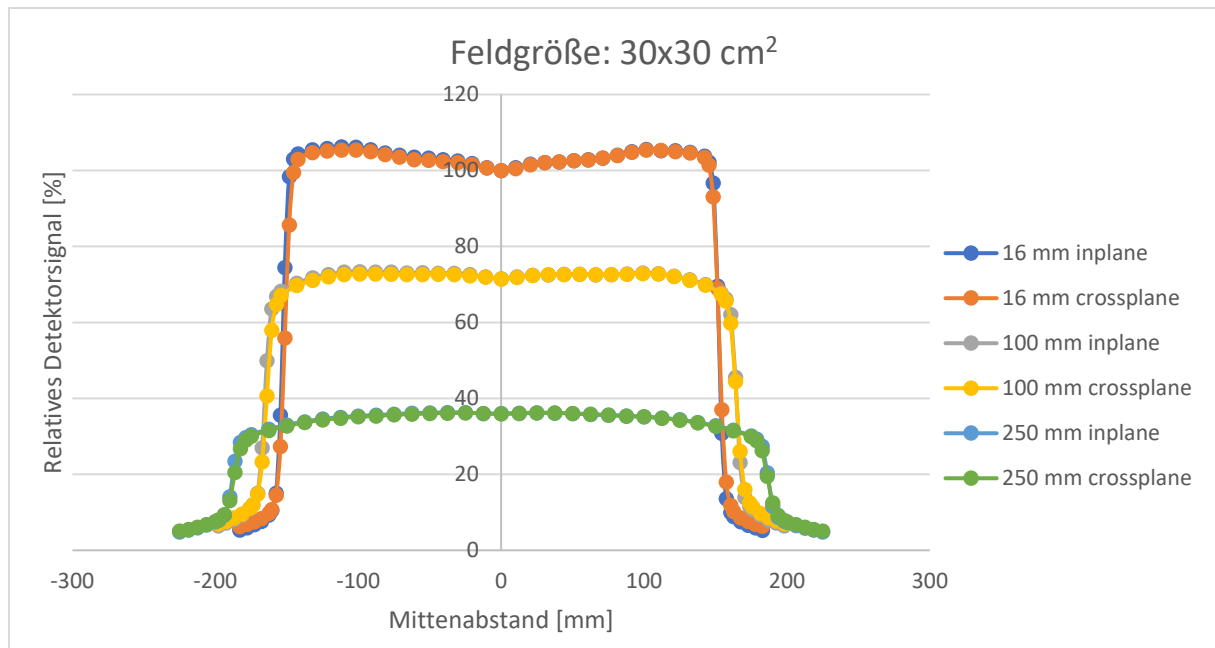


Abbildung 3: Querprofile bei einer Feldgröße von 30x30 cm².

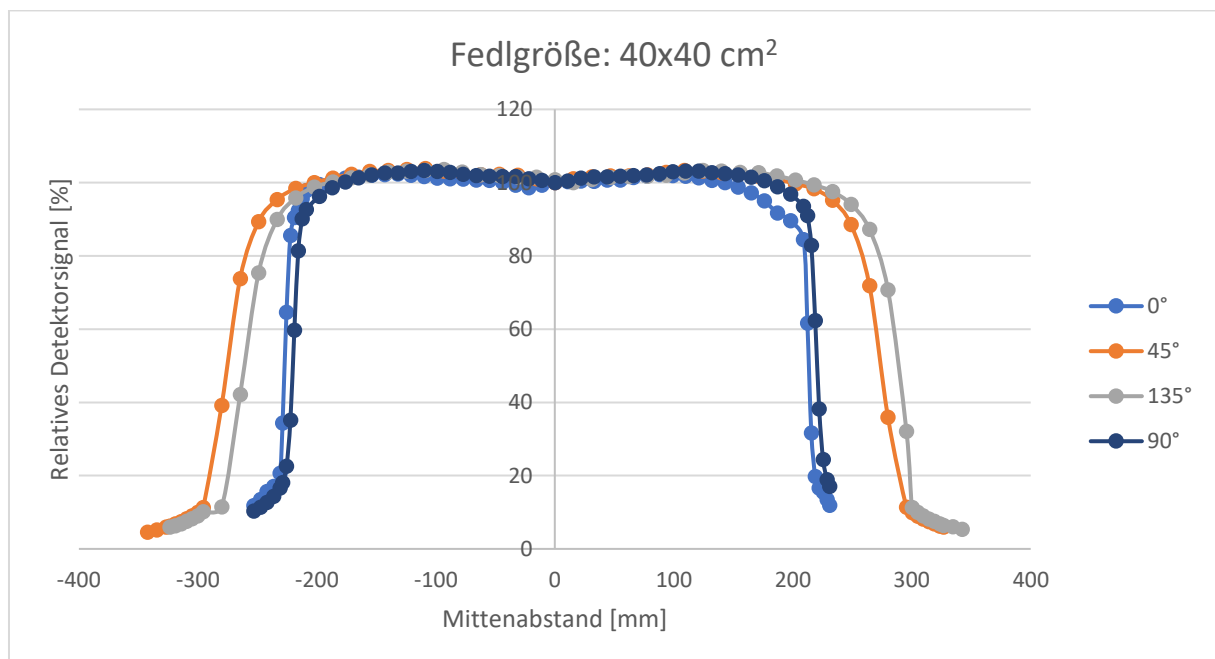


Abbildung 4: Querprofile bei einer Feldgröße von 40x40 cm² in 100 mm Tiefe.

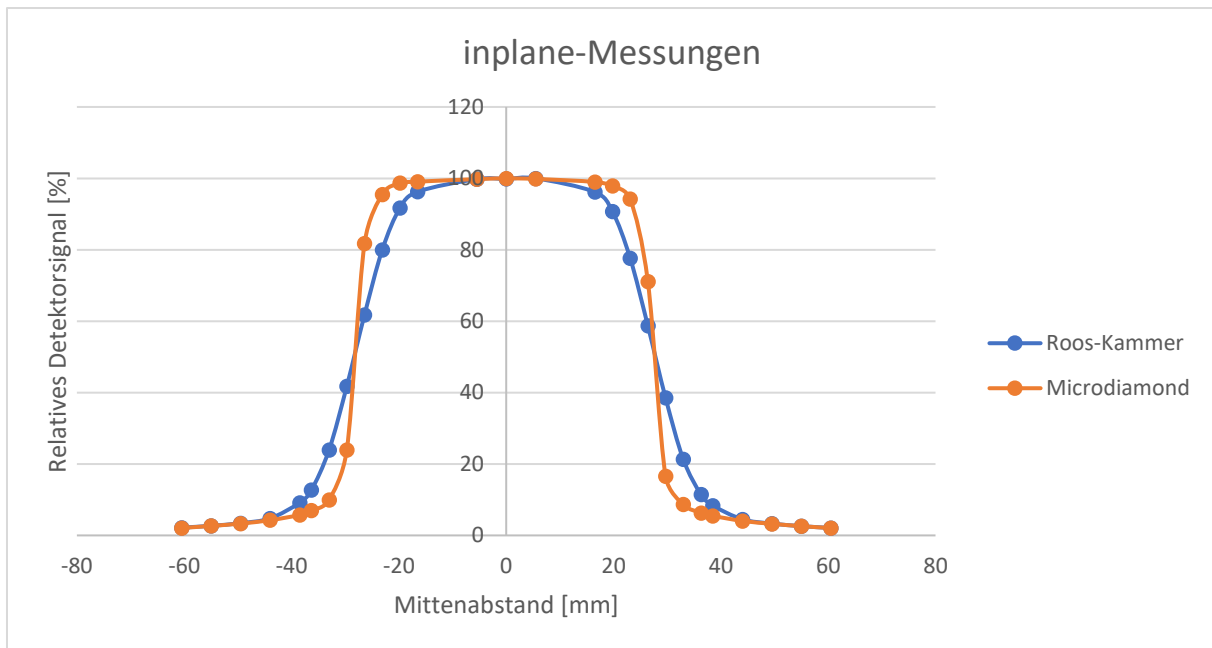


Abbildung 5: inplane-Messungen eines $5 \times 5 \text{ cm}^2$ großen Feldes mit zwei verschiedenen Detektoren.

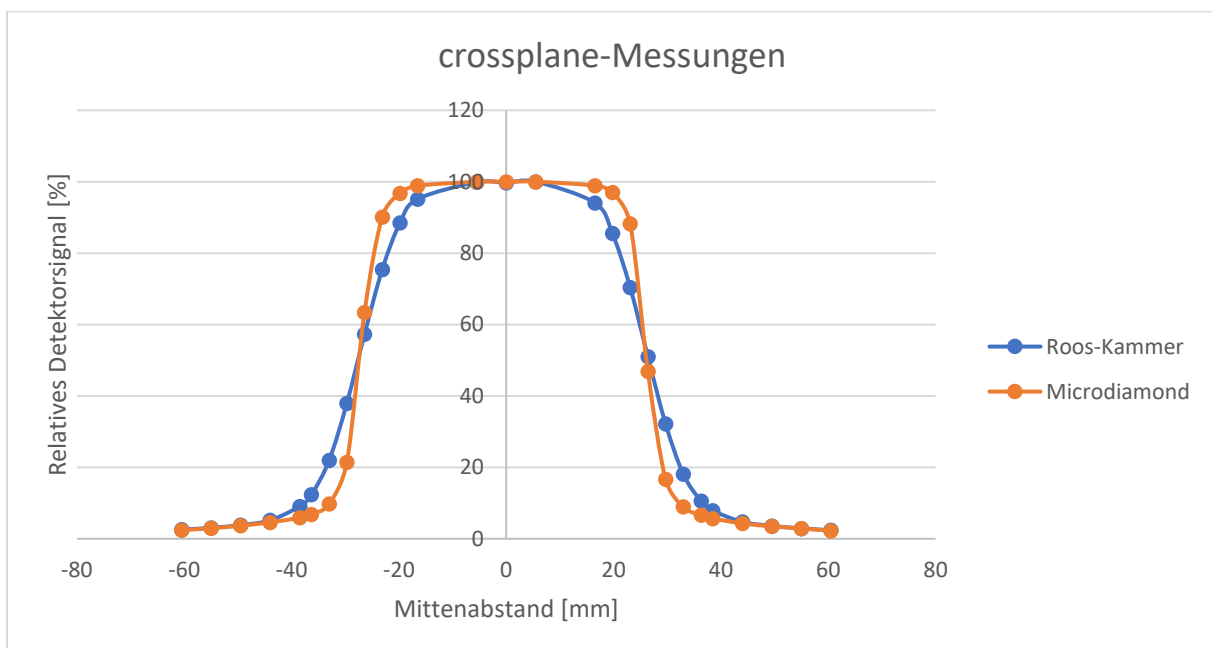


Abbildung 6: inplane-Messungen eines $5 \times 5 \text{ cm}^2$ großen Feldes mit zwei verschiedenen Detektoren.

Betrachtet man die Messergebnisse in den oben dargestellten Abbildungen, so zeigt sich eine erhöhte Breite der Profile in größerer Tiefe. Dies erklärt sich aus der Divergenz des Strahls, also der Zunahme der effektiven Feldgröße in größerem Abstand vom Fokus des Linearbeschleunigers. Verstärkt wird dieser Effekt durch die zusätzliche Streustrahlung, die sich in größerer Tiefe ergibt.

Weiterhin ist die Abnahme der Signalintensität mit zunehmender Tiefe zu beobachten. Dies erklärt sich wiederum aus dem Abstandquadratgesetz und der Schwächung. Denn eine größere Tiefe bedeutet zunächst einen größeren Abstand zum Fokus des Linearbeschleunigers. Damit ist die deponierte Dosis

im selben Volumen dort geringer. Zusätzlich dazu wird die Strahlung durch das Phantommaterial, hier Wasser, geschwächt. Dies trägt also auch zu einem geringeren Signal in größerer Tiefe bei.

Auch in den Abbildungen 1 bis 3 ist zu erkennen, dass die Plateaus der crossplane-Messungen, gerade in geringerer Tiefe, schmaler sind als die der inplane-Messungen derselben Tiefe. Dies geht einher mit einer geringen Halbschattenbreite (Breite zwischen 20% und 80% des maximalen Detektorsignals) im Falle der inplane-Messungen. Das wiederum leitet sich aus den unterschiedlichen Blenden in den beiden Richtungen ab. So wird in inplane-Richtung eine Blockblende verwendet. Diese ist fokussierend, passt also ihren Winkel an die jeweilige Strahlenfeldgröße an. In crossplane-Richtung findet hingegen der MLC in Verbindung mit der Backup-Blende Verwendung. Die Lamellen des MLC sind an ihrem Ende abgerundet und dieser Winkel ist auch nicht veränderlich. Der MLC ist also nicht fokussierend und daraus folgt ein breiterer Halbschatten in dieser Richtung.

Vergleicht man nun die Profile der Feldgrößen von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ bis $30 \times 30 \text{ cm}^2$, so fällt ein unterschiedliches Verhalten innerhalb des Dosisplateaus auf. So zeigt sich in der geringsten Tiefe mit zunehmender Feldgröße eine zunehmend stark ausgeprägte Delle in der Mitte des Dosisplateaus. Diese nimmt mit zunehmender Tiefe ab und kehrt sich in der größten Tiefe im $30 \times 30 \text{ cm}^2$ großen Feld zu einem Signalanstieg zur Mitte des Plateaus. Dieses Verhalten erklärt sich aus der Funktionsweise des Ausgleichfilters. Dieser sitzt in Strahlrichtung unterhalb des Targets und soll für einen homogenen Verlauf der Dosis über die eingestellte Feldgröße sorgen. Dazu besitzt er annähernd die Form eines Kegels, da die Intensität des Photonenstrahls nach dem Target mittig am höchsten ist. Dieser ist so geformt, dass sich in 10 cm Tiefe bei einem $10 \times 10 \text{ cm}^2$ großen Feld und einem SSD von 100 cm ein homogener Verlauf der Dosisverteilung ergibt. Bei abweichenden Bedingungen ergibt sich dann allerdings kein homogener Verlauf. Der Ausgleichfilter arbeitet nämlich nach dem Prinzip eines Streufilters. Da dabei niederenergetische Strahlung stärker gestreut wird als hochenergetische, erhält man keine gleichmäßige Energieverteilung im Strahlungsfeld. Dies bedeutet wiederum, dass der Strahl nicht gleichmäßig geschwächt wird. Niederenergetische Strahlung wird stärker geschwächt als hochenergetische. Soll also eine homogene Verteilung unter den genannten Bedingungen erreicht werden bedeutet dies bei einer geringeren Tiefe eine Erhöhung des Signals am Rand des Plateaus, den Bereichen mit niedrigerer mittlerer Energie, gegenüber der Mitte dessen. Mit zunehmender Tiefe werden die Randbereiche aufgrund der geringeren mittleren Energie stärker geschwächt als das Zentrum des Plateaus. Daraus resultiert zunächst eine homogenere Verteilung, die bei noch größerer Tiefe in niedrigere Signalstärken in den Randbereichen des Plateaus übergeht. Der größer werdende Effekt bei zunehmender Feldgröße erklärt sich aus dem zunehmend starken Unterschied der mittleren Energien zwischen dem Zentrum und den Randbereichen des Signalplateaus. Der Unterschied der Signalintensität zwischen den Randbereichen und dem Zentrum des Plateaus kann zur Überwachung der Energie des Beschleunigers verwendet werden.

Weiterhin kann in Abbildung 3 bei einer Tiefe von 16 mm eine Dreiteilung des Signalverlaufes im Plateau pro Halbfeld erkannt werden. Auch diese Phänomen hängt mit dem Aufbau des Ausgleichsfilters zusammen. Dieser besitzt drei Bereiche mit unterschiedlichen Steigungen. Diese Bereiche sind zu erkennen.

Die Messungen des $40 \times 40 \text{ cm}^2$ großen Feldes zeigen zunächst in den Diagonalen eine Breite von etwa 54 cm. Dies entspricht nicht dem rechnerisch ermittelten Wert von 56,6 cm. Zurückzuführen ist dies auf den Primärkollimator. Dieser besitzt eine Bohrung, die bei der Auswahl eines $40 \times 40 \text{ cm}^2$ großen Feldes die Ecken des Strahlungsfeldes abschattet. Vorteil dieser Bauart ist jedoch weniger

Durchlassstrahlung und damit eine bessere Schonung des Patienten. Weiterhin weisen die diagonalen Messungen einen breiten Halbschatten auf. Dies resultiert aus der geringeren Streustrahlung in den Ecken eines Feldes. Daraus resultiert ein langsamerer Aufbau der Dosis.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen jeweils Messungen von Querprofilen mithilfe zweier unterschiedlicher Detektoren. Verglichen werden die mithilfe einer Roos-Flachkammer und eines Diamantdetektors gemessenen Profile. Die Detektoren unterscheiden sich vor allem in der Größe ihres sensitiven Volumens. So besitzt die Roos-Kammer ein sensitives Volumen mit einem Radius von 7,8 mm, der Diamantdetektor hingegen nur eines mit dem Radius von 1,1 mm. Aufgrund dieses großen Unterschiedes zeigt sich der Volumeneffekt sehr deutlich. Die Halbschattenbreite ist bei den Messungen mithilfe der Roos-Kammer deutlich breiter. Dies ergibt sich aus der Faltung des vorhandenen Strahlungsfeldes mit der Abmessung der Kammer. Durch rückrechnen kann der Volumeneffekt weitgehend entfernt werden. Trotzdem sollte zur Messung von Querprofilen ein Detektor mit möglichst kleiner Ausdehnung verwendet werden.

3. Abstandquadratgesetz

3.1 Versuchsaufbau

Zunächst wird die Gantry des Beschleunigers auf 90° gedreht. Anschließend wird mithilfe einer Semiflex-Ionisationskammer (Produktnummer 31013) der Firma PTW aus Freiburg die Ladung, die in der Kammer durch 6MV Photonenbestrahlung mit 100 Monitoreinheiten entsteht, mithilfe eines Elektrometers bestimmt. Diese Messung wird in unterschiedlichen Abständen zum Fokus des Linearbeschleunigers durchgeführt. Dazu wird die Kammer in einem Plexiglasröhrchen fixiert und jeweils mit der Mitte des sensitiven Volumens im Zentralstrahl positioniert. Die Positionierung bei einem Abstand von 0 cm zum Austrittsfenster des Beschleunigers ist in Abbildung 7 zu sehen. Der fahrbare Tisch zur Positionierung der Kammer in den übrigen Positionen befindet sich jeweils außerhalb des Strahlungsfeldes.



Abbildung 7: Versuchsaufbau für die Messung in 0 cm Abstand vom Austrittsfenster.

3.2 Versuchsdurchführung

Verwendet wurde 6MV-Photonenstrahlung in einem 10x10 cm² großen Feld. Um jeweils die gleiche abgestrahlte Energiemenge zu gewährleisten, wurde als Abschaltkriterium für den

Linearbeschleuniger 100 Monitoreinheiten für Monitorkammer 1 und 110 Monitoreinheiten für Monitorkammer 2 eingestellt. Um möglichst aussagekräftige Messergebnisse zu erhalten wurde jede Messung drei Mal durchgeführt.

Vor Beginn der eigentlichen Messung wurde der Messaufbau „Warmgestrahlt“. Dies bedeutet, dass 600 Monitoreinheiten abgestrahlt werden. Damit soll erreicht werden, dass sich die Kammer im elektrostatischen Gleichgewicht befindet. Es sollte auch darauf geachtet werden das Elektrometer etwa 15 Minuten vor Messbeginn einzuschalten, um auch dieses „aufzuwärmen“.

Zur Bestimmung der jeweils im Detektor deponierten Dosis wird das Integral des in der Ionisationskammer fließenden Stromes, die Ladung, gemessen. Die Messung des Stromes entspräche der Dosisleistung. Es sollten bevorzugt elektrische Einheiten (Ampere/Coulomb) verwendet werden, da bei radiologischen Einheiten (Gy) die verwendeten Korrekturfaktoren nichtmehr rekonstruierbar sind. Die Messung erfolgte mithilfe des „Unidos“ Elektrometers der Firma PTW (Freiburg), ähnlich dem hier in Abbildung 8 gezeigten Gerät.



Abbildung 8: Elektrometer "Unidos". Entnommen von:
<https://www.ptwdosimetry.com/en/overview-pages/unidos-electrometers/>,
2.12.2019

Zur Benutzung des Elektrometers ist die Kenntnis über die Funktionen dessen notwendig. Da es sich um die erste Benutzung des Elektrometers während unseres Praktikums handelte, werden diese im Folgenden kurz erläutert:

- MOD: ermöglicht die Auswahl eines Messmodus, also die Messung des Stroms oder der Ladung.
- RGE: ermöglicht die Auswahl des beabsichtigten Messbereiches. Es stehen drei Empfindlichkeitsstufen zur Auswahl, low, middle und high.
- NUL: ermöglicht die Durchführung eines Nullabgleiches. Dabei wird der ohne Bestrahlung fließende Strom gemessen. Dieser sollte bei jedem Tausch des Detektors durchgeführt werden.
- STA: Start der Messung.
- HLD: der aktuell angezeigte Messwert wird eingefroren und dauerhaft angezeigt.
- RES: Zurücksetzen der Anzeige
- INT: Auswahl einer Messung über eine bestimmte Zeitdauer.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Messungen in unterschiedlichen Abständen vom Austrittsfenster der Strahlung ergab folgende Werte:

Tabelle 1: Messwerte für verschiedene Abstände des Detektors vom Austrittsfenster des Linearbeschleunigers.

Abstand vom Austrittsfenster [cm]	Messwert 1 [nC]	Messwert 2 [nC]	Messwert 3 [nC]
0	12,76	12,77	12,86
50	2,807	2,817	2,818
100	1,259	1,261	1,268
150	0,7235	0,723	0,723
200	0,4755	0,4755	0,476
264	0,323	0,3235	0,3235

Das Abstandquadratgesetz besagt, dass bei einer punktförmigen Quelle die deponierte Dosis mit dem Quadrat des Abstandes abfällt. Es gilt also:

$$D_1/D_2 = r_2^2/r_1^2$$

Nutzt man dieses nun, um beispielsweise die Ladung in 200 cm Abstand vom Austrittsfenster aus dem Messwert aus 100 cm Abstand zu berechnen, so erhält man:

$$D_2 = D_1 * r_1^2/r_2^2 = 1,259nC * (100cm)^2/(200cm)^2=0,315nC$$

Die erhebliche Abweichung des berechneten Wertes vom Messwert ist darauf zurückzuführen, dass der Abstand zum Austrittsfenster nicht dem Abstand zur Quelle der Photonenstrahlung entspricht. Ermittelt man den Abstand der Quelle zum Austrittsfenster aus den Messwerten mithilfe der folgenden Formel, so erhält man im Mittelwert einen Abstand von 46,88 mm.

$$A_{Quelle\ zu\ Fenster} = \frac{A_1}{\sqrt{D_0/D_1} - 1}$$

Dabei ist D_0 die Dosis bei dem Abstand 0 cm des Detektors zum Austrittsfenster und D_1 der Dosis beim beliebigen Abstand A_1 des Detektors zum Austrittsfenster.

Berücksichtigt man diesen Abstand, so erhält man die folgenden Werte (Tabelle 2). Ebenfalls gezeigt sind die aus dem Abstand 46,88 cm mithilfe des Abstandquadratgesetz berechneten Dosiswerte und die Abweichung zwischen diesen und den Messwerten. Abbildung 8 zeigt die berechneten und die gemessenen Werte grafisch.

Tabelle 2: Vergleich der Messwerte für verschiedene Abstände vom Fokus des Beschleunigers mit den nach dem Abstandquadratgesetz berechneten Werten.

Abstand [cm]	Mittelwert der Messwerte [nC]	berechnete Ladung [nC]	Abweichung [%]
46,88	12,80	12,80	0,00
96,8	2,81	3,00	6,09
146,88	1,26	1,30	3,14
196,88	0,72	0,73	0,32
246,88	0,48	0,46	3,09
310,88	0,32	0,29	11,12

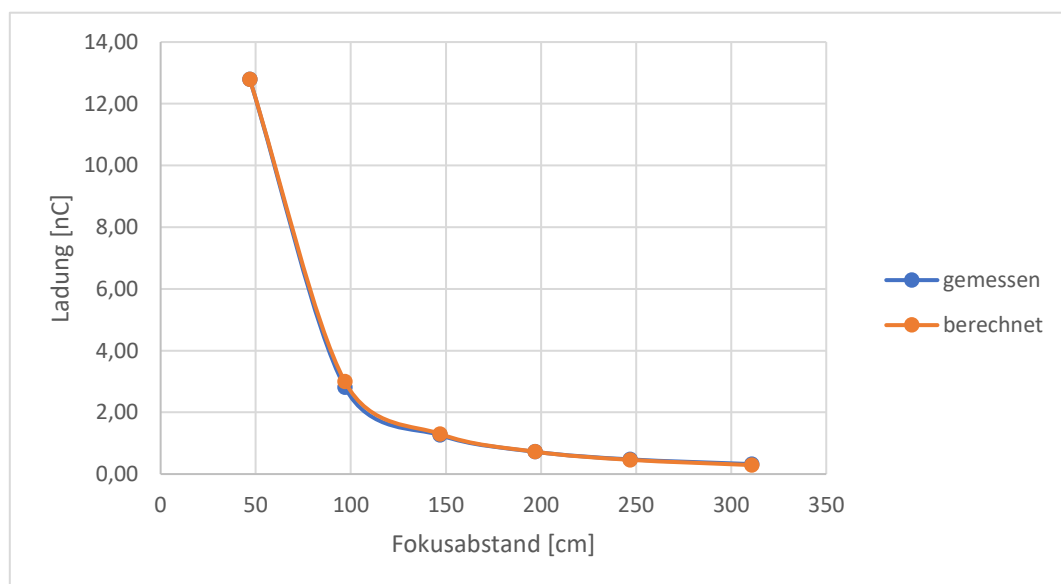


Abbildung 9: Messwerte der Messung zum Abstandquadratgesetz und berechnete Werte nach dem Abstandquadratgesetz aus dem Abstand 46,88 mm.

Die größte Abweichung tritt dabei bei dem größten Abstand des Detektors vom Fokus des Linearbeschleunigers auf. Grund dafür könnte sein, dass aus Platzgründen diese Messung direkt an der Wand des Beschleunigerraumes vorgenommen wurde. Somit tritt einzig an dieser Stelle Streuung in die Kammer aus einer dichten Materie auf. Die übrigen Abweichungen ergeben sich vermutlich, da das Abstandquadratgesetz für punktförmige Quellen und bei der Messung im Vakuum zutrifft, sowie aus den Messungenauigkeiten.