

Abstandsquadratgesetz

Querprofile

BM6 DOSIMETRIE

10. November 2017

Dozent: Prof. Dr. Gunter Christ

Medizinische Strahlenwissenschaften



Antonia Schlageter

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Praktikums	3
2 Abstandsquadratgesetz	3
2.1 Versuchsaufbau	4
2.2 Versuchsdurchführung	4
2.3 Messergebnisse	6
2.4 Auswertung der Messergebnisse	6
3 Messung von Querprofilen im Wasserphantom	9
3.1 Versuchsaufbau	9
3.2 Versuchsdurchführung	10
3.3 Messergebnisse	10
3.4 Auswertung der Messergebnisse	17

1 ZIEL DES PRAKTIKUMS

Teil 1:

Im ersten Teil der Veranstaltung wird die Dosis des Linearbeschleunigers frei in Luft (ohne Absorbermaterial) bei definierten Abständen gemessen. Ziel des Versuchs war es, anhand der Messergebnisse das Abstandsquadratgesetz zu überprüfen.

Teil 2:

Im zweiten Teil der Veranstaltung werden im Wasserphantom Querprofile gemessen. Ziel des Versuchs war es, die Profilabhängigkeit in verschiedenen Tiefen, bei unterschiedlicher Feldgröße und mit zwei verschiedenen Messkammern darzustellen.

2 ABSTANDSQUADRATGESETZ

Das Abstandsquadratgesetz (AQG) kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad \text{mit: Dosis (D); Abstand von der Strahlenquelle (r)}$$

Aufgrund der Divergenz der Strahlung nimmt die Dosisleistung mit zunehmendem Abstand von der Strahlungsquelle bei punktförmigen Strahlenquellen umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands ab (Kugeloberfläche = $4\pi r^2$).

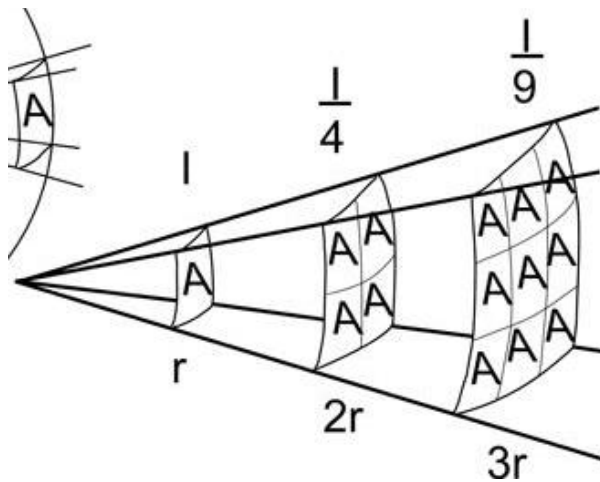


Abbildung 1 Darstellung des Abstandsquadratgesetzes

Abbildung 1 zeigt, dass die Dosisleistung quadratisch mit zunehmender Entfernung abnimmt.

Für die korrekte Anwendung des AQG ist zu beachten, dass der Divergenzpunkt des Strahlenkegels im Strahlerkopf, beim Target, liegt.

2.1 VERSUCHSAUFBAU

Ziel:

Ziel des Versuchs war es, anhand der Messergebnisse das Abstandsquadratgesetz zu überprüfen, wozu die Dosis des Linearbeschleunigers in freier Luft (ohne Absorbermaterial, sodass keine zusätzliche Schwächung der Strahlung auftritt) bei definierten Abständen gemessen wurde.



Abbildung 2 Versuchsaufbau zur Messung des AQA

Versuchsaufbau

Es erfolgt eine seitliche Einstrahlung der Photonen, sodass die Gantry zunächst auf den Gantrywinkel 90° eingestellt wird. Dies ermöglicht eine größere Messstrecke. Zur Aufzeichnung der Messung wird die flexible $0,3 \text{ cm}^3$ Kompaktkammer verwendet. Die Kammer wird horizontal um 1 cm zur Feldmitte verschoben, sodass die Mitte des Messbereichs der Sonde im Zentralstrahl des Linacs liegt. Zur

Fixierung wird die Messsonde in ein Plexiglasrohr geschoben und am Tisch und mit Hilfe von RW3 Platten angebracht. Sowohl der Tisch als auch die RW3 Platten befinden sich außerhalb des Strahlungsfeldes.

Messungen werden in Abständen von jeweils 50 cm aufgenommen. Die letzte Messung wird aufgrund der räumlichen Begebenheiten nach einer Abstandsvergrößerung von 62 cm durchgeführt, die Messsonde wird dabei an die Wand geklebt, um die gesamte Raumlänge auszunutzen.

Zur Messung der Entfernung von Strahlerkopf zur Messsonde wird eine Platte an die Oberfläche des Strahlerkopfs angelegt und mit einem Meterstab der Abstand von dieser Platte zum Mittelpunkt der Messkammer gemessen.

2.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Einstellungen am Linac

Zur Aufnahme der Messung werden für alle Abstandsmessungen folgende Einstellungen am Linac vorgenommen:

Energie: 6 MeV

Feldgröße: $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$

Strahlungsart: Photonen (X-Ray)

MU1: 100 MU ; MU2: 105 MU

Interlockgruppe 1

Vorbestrahlung

Zunächst wird bis zum Erreichen von 600MU mit einer Doserate von 200MU/min vorbestrahlt. Dies sollte vor jeder Bestrahlung durchgeführt werden, sofern der Linac an einem Werktag das erste Mal im Einsatz ist. Nach dem „Warmstrahlen“ sollte sich die Kammer im elektrostatischen Gleichgewicht befinden.

Bei der ersten Betriebsnahme sollten zudem die ersten Messungen zwei oder dreimal wiederholt werden, um sicherzustellen, dass die Messwerte nun zuverlässig und konstant sind und nicht mehr schwanken.

Messaufnahme

Vor der eigentlichen Messung werden zwei Wiederholungsmessungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Messwerte konstant sind.

Mit Hilfe des Elektrometers (PTW Unidos) erfolgt die relative Dosismessung über die Bestimmung der Ladung.

Bedienung des Elektrometers

MOD - Modus: Auswahl des Messmodus (Ladung oder Strom)

RGE – Range: drei verschiedene Messbereiche zur Einstellung der Empfindlichkeit (low, middle, high)

NUL – Nullabgleich: zur Ausführung des Nullabgleichs

STA – Start: Starten der Messung (sollte zu Beginn „0“ anzeigen – sonst erneut den NUL durchführen)

HLD – Hold: Festhalten der Messung

RES – Reset: Anzeige wird zurückgesetzt

INT – Intervallschaltung: Messung über ein bestimmtes Zeitintervall

- Zwei Zeiten stehen dazu zur Auswahl (6 und 60 Sekunden): Wird angewendet, wenn beispielsweise der Einschaltvorgang nicht berücksichtigt werden soll, damit die Messung im stabilen Betrieb stattfindet – zu Beginn einer Messung schwankt die Dosisleistung vermehrt

Setup: hier kann gewählt werden, wie die Einheit angegeben wird:

- Elektrisch: Strommessung [A] und Ladungsmessung [C]
- Radiologisch: Angabe des Messwerts in [Gy]: verschiedene Korrekturfaktoren können gewählt werden, die zum Messwert hinzumultipliziert werden

→ *Achtung! Aus diesem Messwert ist nicht ersichtlich, mit welchen Korrekturfaktoren gerechnet worden ist → Messwerte sollten in elektrischen Einheiten angegeben werden*

2.3 MESSERGEBNISSE

In der folgenden Tabelle werden die Messergebnisse für die verschiedenen Abstände der Messsonde zur Strahlerkopfoberfläche (Achtung: nicht der Abstand zur Strahlenquelle) dargestellt.

Abstand [cm]	Ladung [nC]
<i>Strahlerkopfoberfläche - Messsonde</i>	<i>Ionendosis</i>
0	40,32
50	9,315
100	4,359
150	2,493
200	1,650
262	1,121

Tabelle 1 Messwerte der Versuchsdurchführung

// für den Abstand von der punktförmigen Strahlenquelle zum Messort müssen zum „Abstand aus der obigen Tabelle“ zusätzlich 55,2 cm hinzuaddiert werden. Dieser Wert ergibt sich aus der Abmessung der Strahlerkopfoberfläche zum Isozentrum, welches sich im Abstand von 1m zur Strahlenquelle befindet (100cm-44,8cm=55,2cm)!

Es ist gut ersichtlich, dass die gemessene Ladung mit zunehmendem Abstand sinkt.

2.4 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

Der Abfall der Messergebnisse (aus Kapitel 2.3) mit zunehmendem Abstand lässt sich über das Abstandsquadratgesetz erklären.

Zunächst werden die gemessenen Messwerte mit den über das Abstandsquadratgesetz berechneten Messwerten verglichen:

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

$$\text{Beispiel: } 40,32\text{nC} * \frac{50^2}{100^2} = 10,08\text{nC}$$

In der nachfolgenden Tabelle 2 wird zur Berechnung und Darstellung angenommen, dass sich der erste Messpunkt in 50 cm Abstand vom Fokus befindet. Der wahre Abstand wird später ermittelt (57cm).

Abstand [cm]	Ladung [nC] >gemessen< <i>Ionendosis</i>	Ladung [nC] >berechnet< <i>Ionendosis</i>	Abweichung [%]
0	40,32	40,32	0
50	9,315	10,08	7,7
100	4,359	4,48	2,7
150	2,493	2,52	1,07
200	1,650	1,6128	2,25
262	1,121	1,0355	7,63

Tabelle 2 Vergleich gemessener und berechneter Ladung über das AQG

In der untenstehenden Abbildung 3 werden die Messwerte aus Tabelle 2 graphisch dargestellt. Dabei fallen die beiden Kurven bei geringem Abstand zunächst steil ab, mit zunehmendem Abstand ist der Abfall der beiden Kurven, die nahezu identisch verlaufen, jedoch gering.

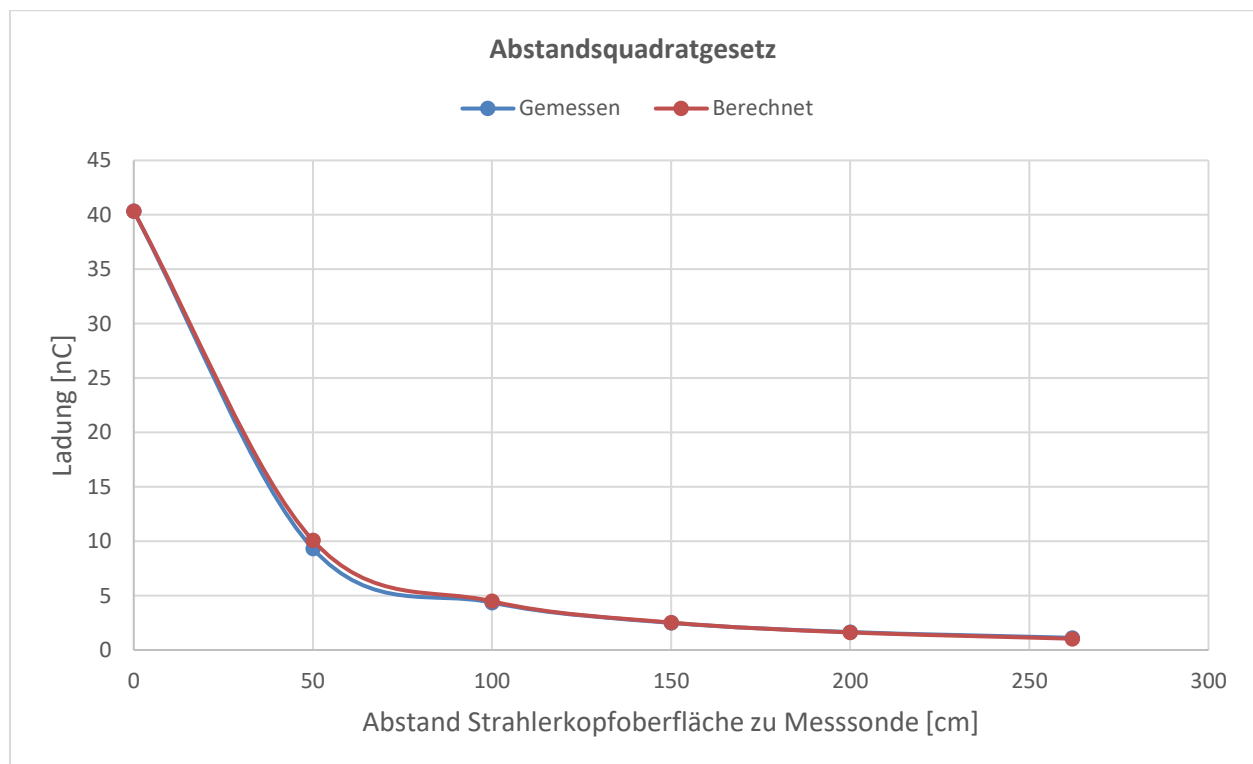


Abbildung 3 Abstandsquadratgesetz mit Messwerten aus Tabelle 1

Anhand des Kurvenverlaufs ist deutlich zu erkennen, dass sich das Abstandsquadratgesetz in geringem Abstand stärker auswirkt, wohingegen das Gesetz mit zunehmendem Abstand nahezu vernachlässigbar ist.

Um nun den Abstand von der Oberfläche des Strahlerkopfs zur Strahlenquelle des Linacs zu ermitteln, wird die Umkehrfunktion des Abstandquadratgesetzes gebildet, die wie folgt lautet:

$$r = \frac{1}{\sqrt{\text{Ladung}}}$$

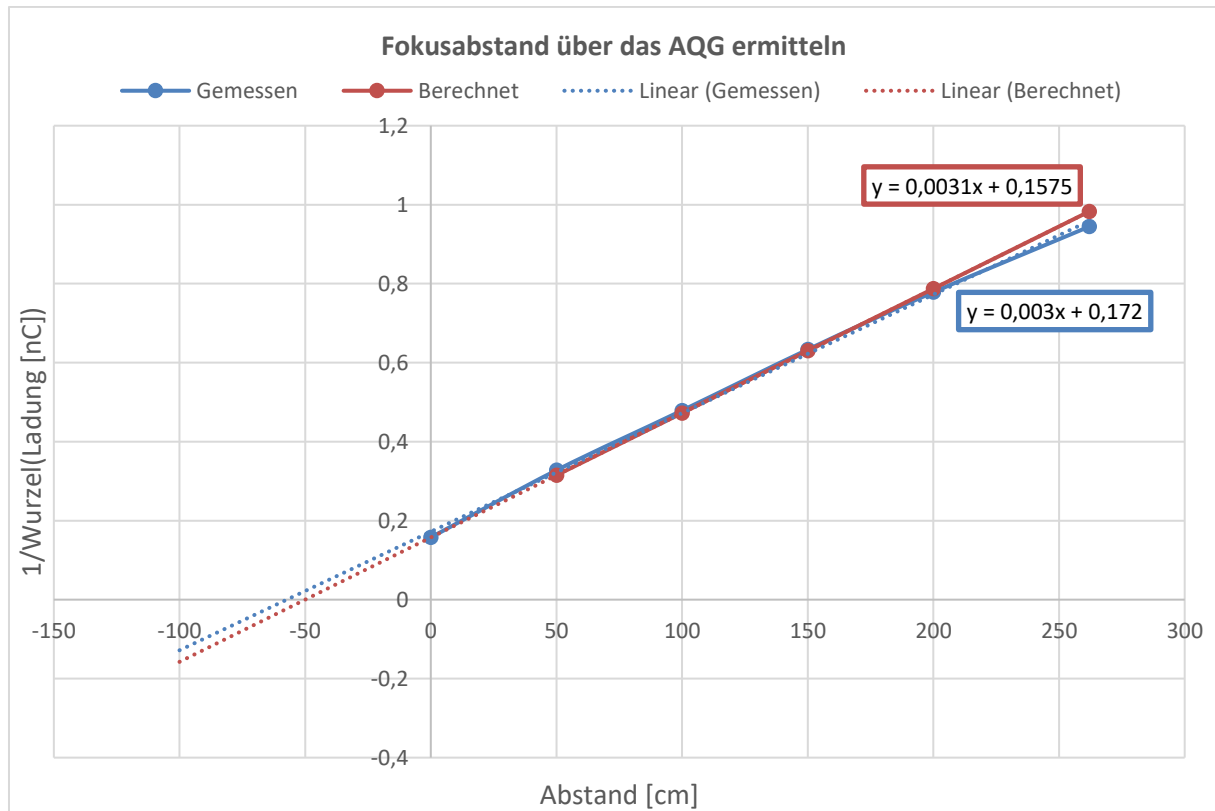


Abbildung 4 Lineare Regression

Der Schnittpunkt der x-Achse mit der Geraden ergibt nun den gesuchten Abstand der Strahlenquelle zum ersten Messpunkt an der Oberfläche des Strahlerkopfs.

- Gesuchter Abstand für die gemessenen Messwerte beträgt 57,33cm:

$$y = 0,003x + 0,172 \rightarrow x = -57,33 \rightarrow 57,33 \text{ cm}$$

- Gesuchter Abstand für die berechneten Messwerte beträgt 50,81cm:

$$y = 0,0031x + 0,1575 \rightarrow x = -50,81 \rightarrow 50,81 \text{ cm}$$

Die Abweichung der gemessenen und berechneten Messwerte ergibt sich aus der Annahme, dass sich der erste Messpunkt im Abstand 50 cm zum Fokus befindet. Über das Abstandsquadratgesetz wird jedoch ein Abstand von 57 cm ermittelt.

Die Abweichungen der gemessenen und berechneten Werte können ggf. auch aufgrund der Streustrahlen, die besonders am Strahlerkopf entstehen, auftreten. Zudem können die Abweichungen durch Ungenauigkeiten im Versuchsaufbau, der Durchführung und der Messung entstanden sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Abstandsquadratgesetz zur Berechnung der Dosis für Photonenstrahlung angenommen werden kann. Perfekte Ergebnisse sind für die Anwendung des Gesetzes bei optimalen Bedingungen zu erwarten; diese sind für eine punktförmige Quelle und einer Messung in Vakuum gegeben.

3 MESSUNG VON QUERPROFILIEN IM WASSERPHANTOM

Volumeneffekt

Der Volumeneffekt ist bei Messungen von Querprofilen mit Ionisationskammern unerwünscht. Dieser Effekt ist für die Abweichung des Dosisquerprofils von seinem wahren Verlauf verantwortlich.

Grund dafür ist, dass eine Ionisationskammer nicht als unendlich kleiner Punkt angesehen werden kann, sondern eine gewisse räumliche Ausdehnung aufweist, was verfälschte Querprofile bedingt.

Es empfiehlt sich also, Messungen zur Bestimmung des Querprofils mit einer Ionisationskammer mit möglichst kleinem Messvolumen zu verwenden, um die Integration über das Volumen möglichst klein und somit den Fehler des Volumeneffektes gering zu halten.

Flachkammern (Rooskammer) sind daher zur Aufnahme von Querprofilen ziemlich ungeeignet.

Die Verwendung einer unendlich kleinen Messkammer würde das wahre Querprofil abbilden. In der Praxis ist dies jedoch nicht umsetzbar, weshalb das Querprofil bei Kammern mit größerem Volumen eher einer Gaußkurve entspricht.

Softwareprogramme können den Volumeneffekt bis zu einem gewissen Grad kompensieren. Zusätzlich können mit Hilfe von Diamant-Detektoren bessere Querprofile gemessen werden.

3.1 VERSUCHSAUFBAU

Ziel:

Es werden Querprofile in Abhängigkeit von der Wassertiefe des Phantoms, bei unterschiedlicher Feldgröße und mit zwei verschiedenen Messkammern gemessen.

Zunächst wird das Wasserphantom aufgebaut und die verwendeten Messkammern- flexible Ionisationskammer $0,125 \text{ cm}^3$ und flexible Referenzkammer $0,3 \text{ cm}^3$ (Feldrand)- positioniert. Die Limitpunkte des Wasserphantoms werden nahe an der Wasserphantomwand gesetzt. SSD befindet sich bei 100 cm .

Einstellungen am Linac

Zur Aufnahme der Querprofile werden für alle Abstandsmessungen folgende Einstellungen am Linac vorgenommen:

Energie: 6MeV

Strahlungsart: Photonen (X-Ray)

Interlockgruppe 8 (Linac schaltet nachbestimmter Anzahl von MUs nicht ab)

SSD: 100cm

3.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Variieren der Messtiefe sowie der Feldgröße

Für die erste Messreihe wird zur Aufzeichnung der Querprofile eine Feldgröße von 5cm x 5cm (SSD=100cm) eingestellt. Als Ionisationskammer wird die Flex-Ionisationskammer 2,75cm² verwendet. Die Querprofile werden in den folgenden Tiefen jeweils in A- und C-Richtung gemessen:

- 16mm (~ Dosismaximum 100%)
- 100mm (~ 67% der Dosis)
- 250mm

Im Anschluss an die Messung wird die Feldgröße 15cm x 15cm gewählt und erneut die drei unterschiedlichen Tiefen abgefahren. Dies wird ebenso für die Feldgröße 30cm x 30cm durchgeführt.

In der Messtiefe von 10cm zur SSD₁₀₀ wird abschließend eine Feldgröße von 40cm x 40cm eingestellt. Dabei werden Querprofile in A- und C-Richtung und in der Diagonalen erstellt.

Vergleich der Querprofile von Kompaktkammer und Rooskammer

Zum Vergleich des Querprofils einer flexiblen Kompaktkammer und einer Rooskammer wird eine Feldgröße von 5cm x 5cm eingestellt. Das Querprofil wird in einer Messtiefe von 10cm gemessen.

TDV Tiefendosisverlauf

Um darzustellen, wie sich die Fahrrichtung der Messkammer zur Aufzeichnung eines Tiefendosisverlaufs auf den Kurvenverlauf auswirkt, werden abschließend zwei Messungen mit der Fahrrichtung unten-oben und oben- unten durchgeführt.

3.3 MESSERGEBNISSE

Variieren der Messtiefe sowie der Feldgröße

Feldgröße 5cm x 5cm; Messtiefe 16mm, 100mm, 250mm

Im Folgenden sind die Messergebnisse der ersten Messreihe bei einer Feldgröße von 5cm x 5cm in verschiedenen Messtiefen graphisch dargestellt.

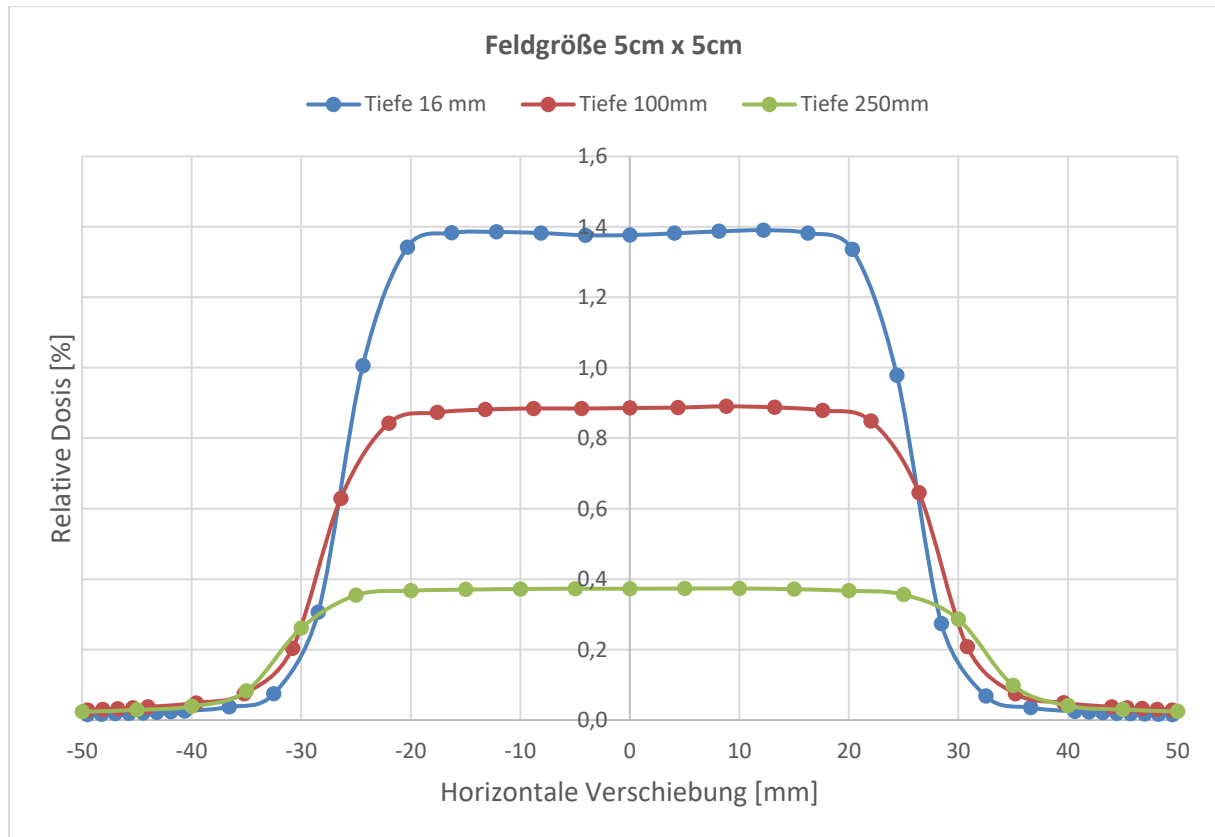


Abbildung 5 Darstellung der Querprofile in Tiefenabhängigkeit; Feldgröße 5cm x 5cm

Feldgröße 15cm x 15cm; Messtiefe 16mm, 100mm, 250mm

Es folgen die Messergebnisse der zweiten Messreihe bei einer Feldgröße von 15cm x 15cm in verschiedenen Messtiefen.

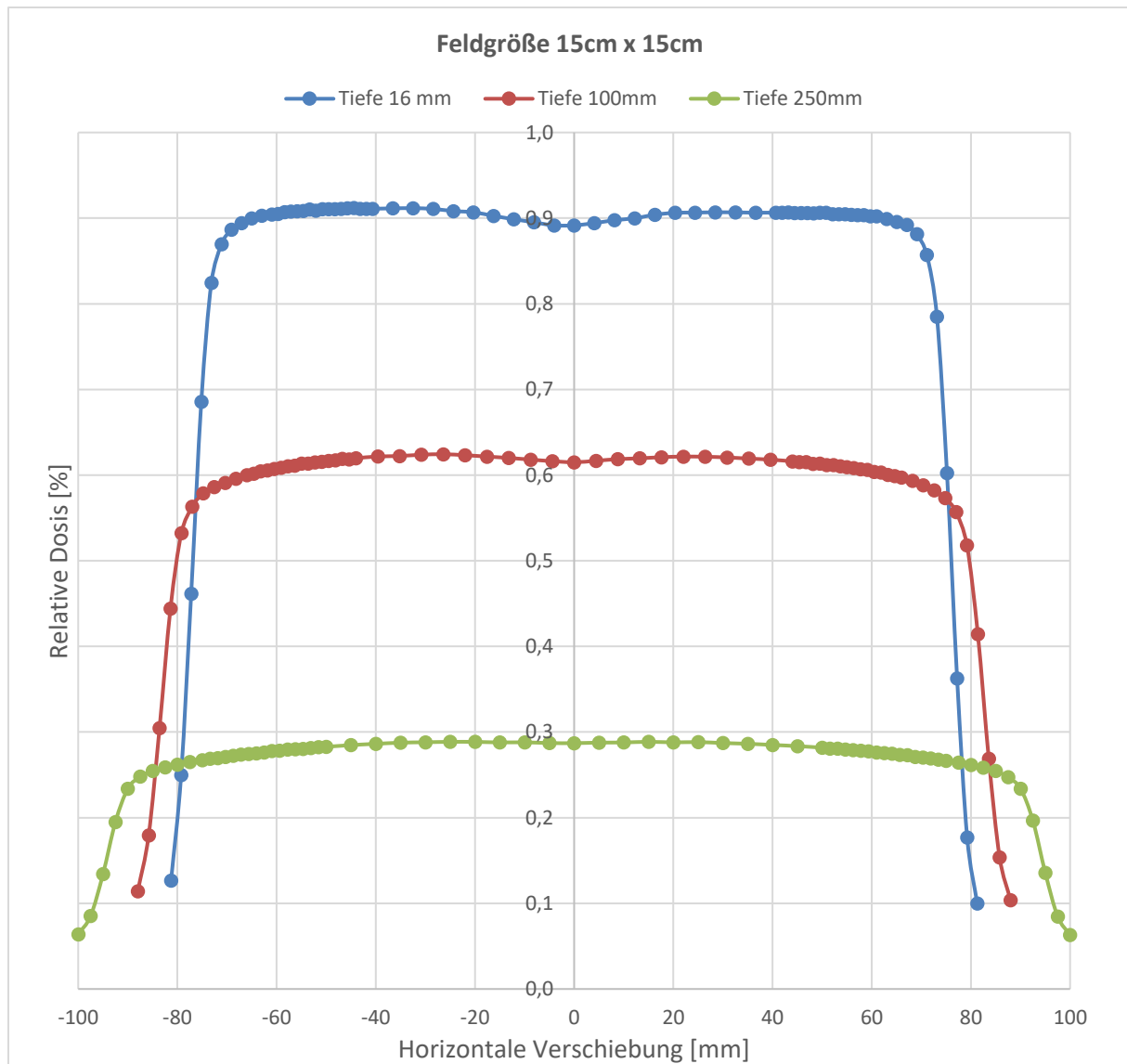


Abbildung 6 Darstellung der Querprofile in Tiefenabhängigkeit; Feldgröße 15cm x 15cm

Feldgröße 30cm x 30cm; Messtiefe 16mm, 100mm, 250mm

Im Folgenden sind die Messergebnisse der dritten Messreihe bei einer Feldgröße von 30cm x 30cm in verschiedenen Messtiefen graphisch dargestellt.

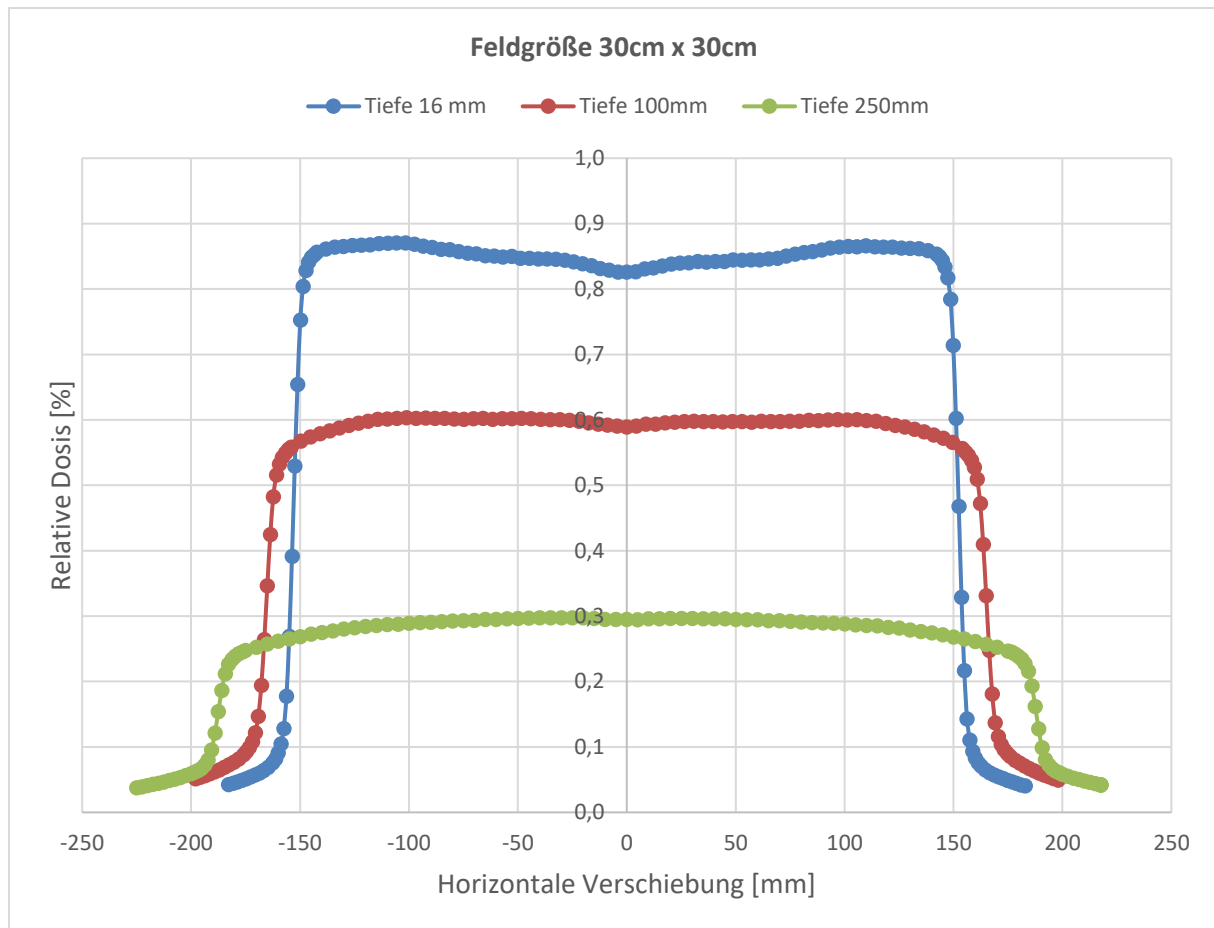


Abbildung 7 Darstellung der Querprofile in Tiefenabhängigkeit; Feldgröße 30cm x 30cm

Feldgröße 40cm x 40cm; Messtiefe 100mm

Im Folgenden sind die Messergebnisse der vierten Messreihe bei einer Feldgröße von 40cm x 40cm graphisch dargestellt. Es wird zusätzlich die Diagonale als Querprofil dargestellt.

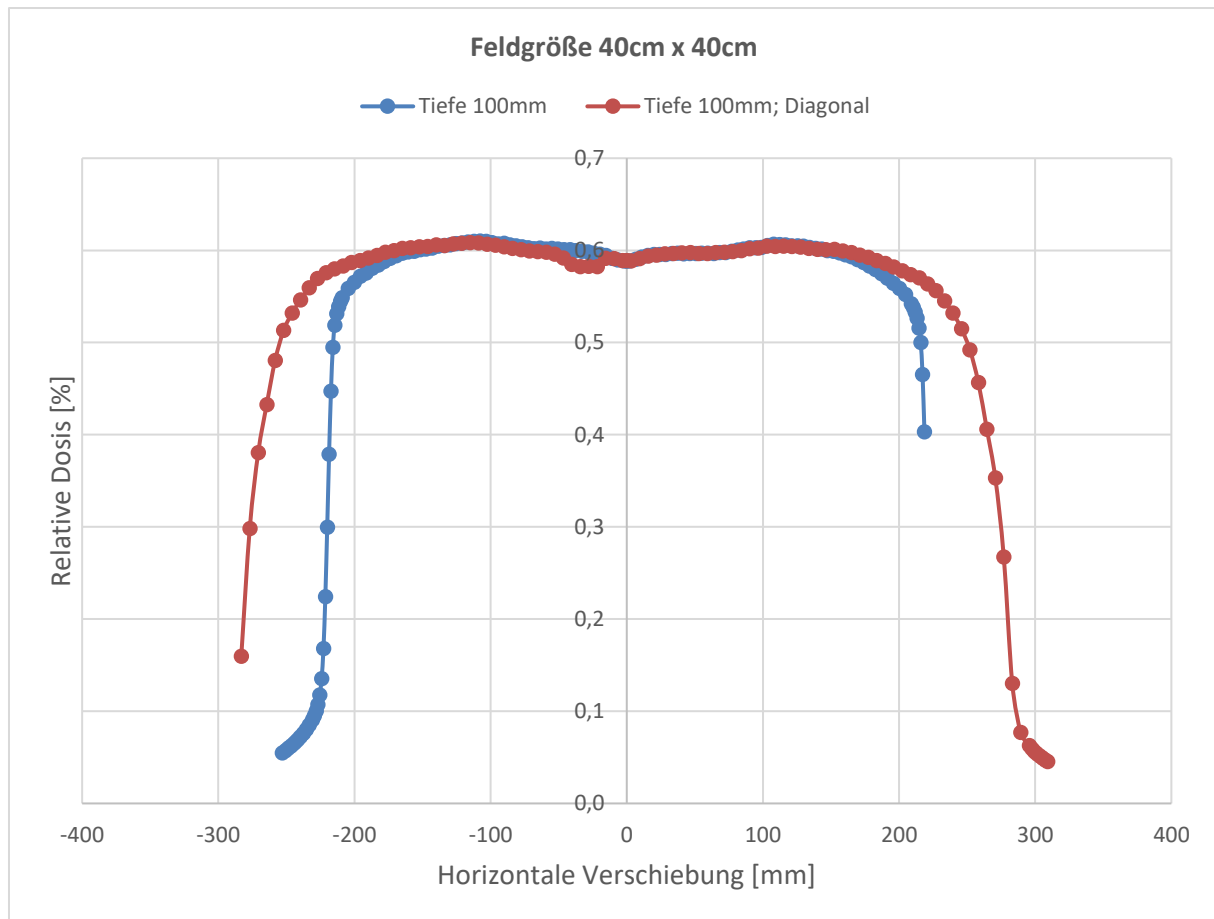


Abbildung 8 Darstellung der Querprofile in diagonal- und A-Richtung; Feldgröße 40cm x 40cm

Beschreibung der Querprofile (Messreihe 1-4):

- Mit zunehmender Tiefe verbreiten sich die Querprofile
- Das Plateau des Querprofils ist nicht in jeder Tiefe eben
- Abrundungen der Profilecken

Vergleich der Querprofile von Kompaktkammer und Rooskammer

Vergleich Kompaktkammer – Rooskammer; Feldgröße 5cm x 5cm; Messtiefe 100mm

Die untenstehende Abbildung zeigt zwei Querprofile, aufgenommen in 10 cm Wassertiefe und einer Feldgröße von 5cm x 5cm, die jeweils mit unterschiedlichen Ionisationskammern gemessen worden sind.

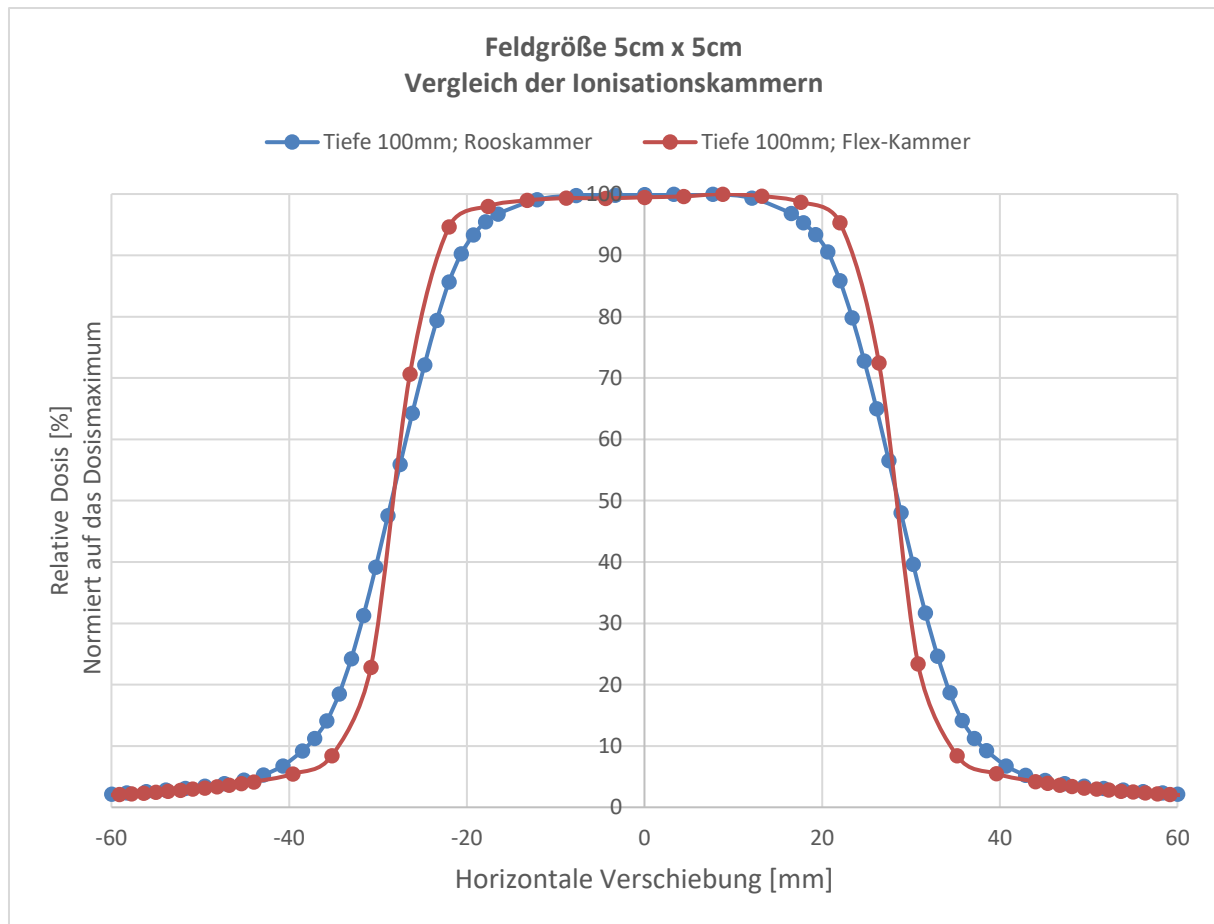


Abbildung 9 Messung der Querprofile mit unterschiedlichen Ionisationskammern; Feldgröße 5cm x 5cm

Während das Querprofil, gemessen mit der flexiblen Kompaktkammer $2,75 \text{ cm}^2$, ein ausgeprägtes Plateau und einen relativ steilen Abfall aufweist, ähnelt das Querprofil, aufgenommen mit der Rooskammer, eher einer Gauß-Funktion. Bei etwa 50% der Dosis, gleichzeitig auch die Definition für die Feldbreite, treffen sich die Kurven.

TDV Tiefendosisverlauf

Tiefendosisverlauf; Messverlauf oben – unten; Messverlauf unten - oben

Im Folgenden sind die Messergebnisse der sechsten Messreihe dargestellt. Dabei wird die Auswirkung der Fahrtrichtung der Messsonde im Tiefendosisverlauf abgebildet.

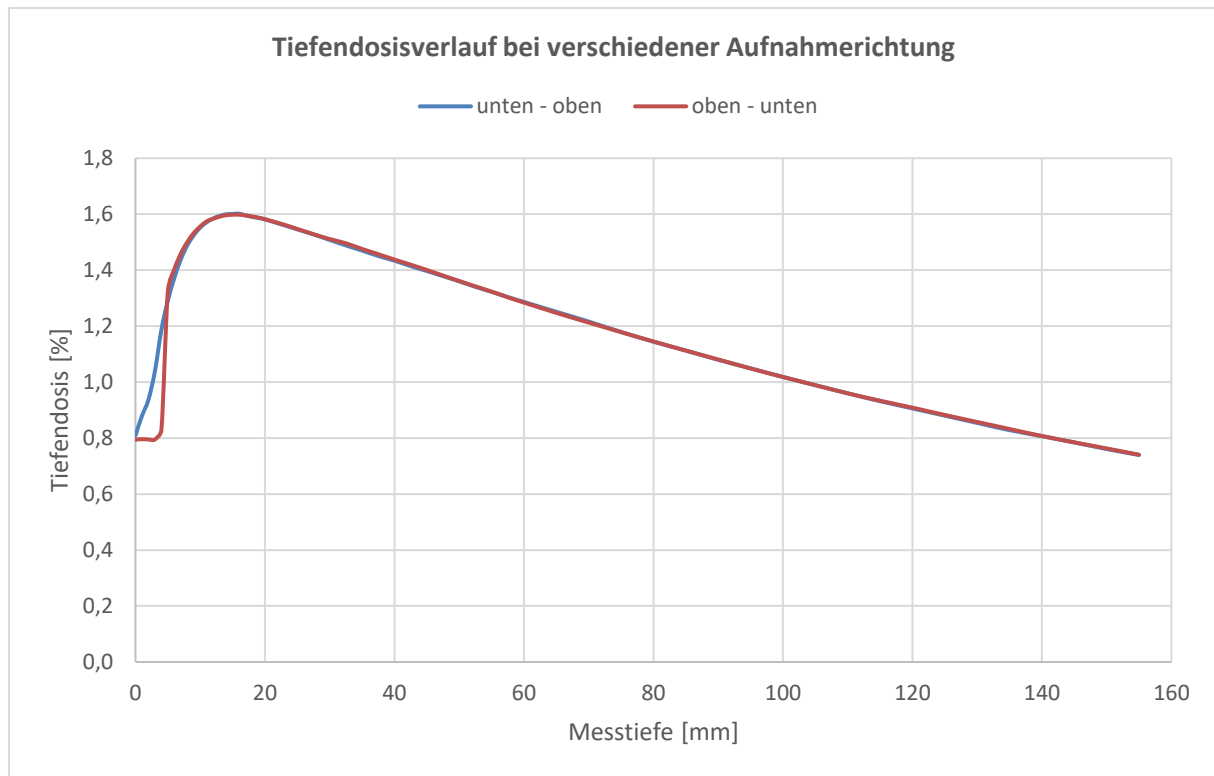


Abbildung 10 Tiefendosisverlauf bei unterschiedlicher Fahrtrichtung der Messsonde (Semiflex 2,75 cm²)

Der Tiefendosisverlauf wird mit einer flexiblen Ionisationskammer 2,75cm² durchgeführt. An bzw. nahe der Wasseroberfläche weichen die beiden Kurvenverläufe stark voneinander ab (Abbildung 10). In zunehmender Tiefe überlagern sich die Kurven.

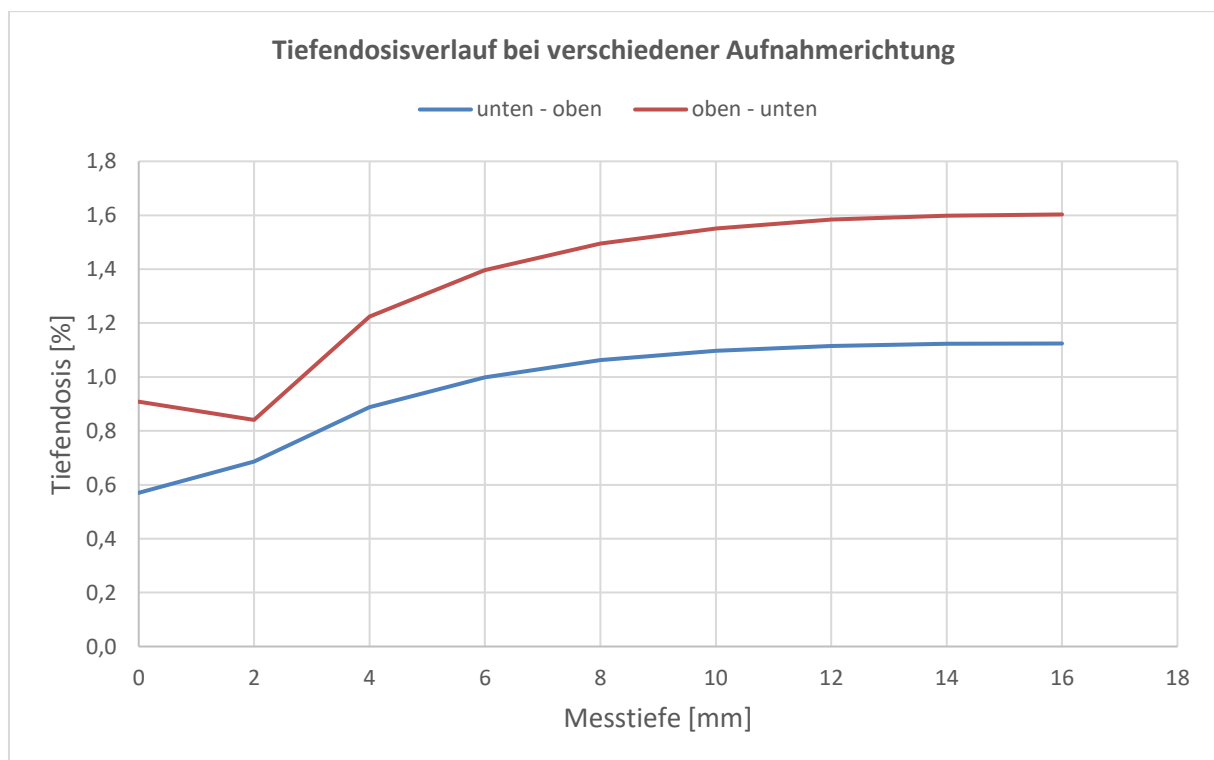


Abbildung 11 Tiefendosisverlauf bei unterschiedlicher Fahrtrichtung der Messsonde (Roos)

Auch in Abbildung 11, Aufnahme mit der Rooskammer, zeigt sich in Fahrtrichtung von Phantomboden zur Wasseroberfläche (unten-oben) ein gleichförmiger Kurvenverlauf, wohingegen die rote Kurve (oben-unten) starke Schwankungen aufweist.

3.4 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

Variieren der Messtiefe sowie der Feldgröße

Verbreitetes Querprofil mit zunehmender Tiefe:

Die Feldverbreiterung des Querprofils, mit zunehmender Tiefe, ist durch die Strahlendivergenz bedingt. Zudem nimmt die Photonenstreustrahlung in der Tiefe zu. Würden die Profile in Luft gemessen werden, wären die Profile weniger stark verbreitert, da die Streuung hier geringer ist als in Wasser.

Abgerundete Ecken des Querprofils:

Aufgrund des Ausgleichsfilters befinden sich am Feldrand im Vergleich zur Feldmitte eher niederenergetische Photonen. Dies führt zu einer vermehrten Comptonstreuung am Feldrand und somit einer stärkeren Schwächung der Strahlung, weshalb das Querprofil am Feldrand abgerundet ist. Um dies auszugleichen, müssten am Feldrand mehr Photonen auftreffen.

Plateau des Querprofils:

Durch die unterschiedliche Dicke des Ausgleichskörpers werden die Photonen im Zentralstrahl starker geschwächt als die Photonen am Rand, sie werden in der Mitte also stärker aufgehärtet. Das Querprofil zeigt somit in 16 mm Tiefe kein flaches Plateau, vielmehr verläuft es zugespitzt und bildet den Ausgleichskörper ab. In 100mm Tiefe besitzt das Querprofil seinen bestmöglichen Kurvenverlauf. Das Plateau sollte hier (wie in Abbildung 5 zu sehen) eben sein, bedingt durch die mit der Tiefe zunehmend entstehenden Streustrahlen.

Feldgröße 40cm x 40cm; Messtiefe 100mm

Der kleine Dosisseinbruch nahe des Zentralstrahls bei der Messung des Querprofils in der Diagonalen erklärt sich dadurch, dass sich bei der Aufnahme des Querprofils die Referenzelektrode im Strahlengang bzw. direkt über der Messsonde befunden hat und somit die Strahlung geschwächt hat. Der Dosisabfall am Feldrand entsteht hingegen durch den zu kleinen Primärkollimator, der die Ecken des eingestellten Feldes überdeckt.

Vergleich der Querprofile von Kompaktkammer und Rooskammer

Feldgröße 5cm x 5cm; Messtiefe 100mm

Die Querprofile der beiden verwendeten Kammern zeigen erhebliche Unterschiede auf. Dabei verliert das Querprofil, aufgenommen mit der Rooskammer, seinen Plateaueffekt und ist am Feldrand mehr abgerundet.

Für Aufnahmen der Querprofile sind die Rooskammern ungeeignet. Die horizontale Ausdehnung dieser Messkammer ist zu groß (→ siehe Volumeneffekt), weshalb das Ergebnis über eine größere Strecke gemittelt wird. Folglich sind die Ergebnisse besonders an Stellen mit einer starken Dosisänderung (Feldrand) ungenau bzw. verfälscht.

TDV Tiefendosisverlauf

Tiefendosisverlauf; Messverlauf oben – unten; Messverlauf unten - oben

Wird die Messung des Tiefendosisverlaufs mit der Messsonde von Wasseroberfläche Richtung Phantomboden ausgeführt, wird das Wasser durch die Kammer „eingezogen“. Es entstehen erhebliche Schwankungen der Tiefendosisverläufe.

Die Messergebnisse zeigen also, dass die Aufnahme eines Tiefendosisverlaufs niemals von Wasseroberfläche zum Phantomboden erfolgen soll, Die Ergebnisse sind nicht reproduzierbar.

Ergänzung: Verfahren zur Bestimmung des Fokus

1. Geometrische Bestimmung über die unterschiedliche Feldverbreitung des Querprofils in unterschiedlichen Tiefen
 2. Messung der Dosispunkte am Tisch frei in Luft bei unterschiedlichen Abständen (Versuchsdurchführung 1): Über das Abstandsquadratgesetz kann der Fokus bestimmt werden
- ➔ Mittels dieser beiden Verfahren kann der Fokus bestimmt werden. Es ist jedoch anzumerken, dass die Verfahren nicht zu selben Ergebnissen führen, da sie jeweils anderen Einflüssen ausgesetzt sind.