



Messungen der Konstanzprüfung nach DIN 6847-5

BM6 Dosimetrie

Am 21.12.2018

Dozent: Dr. Oliver Dohm

Protokoll: Maximilian Doriat

Inhalt

Abbildungen	3
Tabellen	3
1. Messung der Oberflächendosis und der Tiefendosis im Bereich des Aufbaueffektes	4
1.1. Theorie zum Aufbaueffekt.....	4
1.2. Messaufbau und Durchführung.....	5
1.3. Ergebnis und Diskussion	6
2. Output-Faktoren.....	7
2.1. Theorie zu Streustrahlung	7
2.2. Messaufbau und Durchführung.....	8
2.3. Ergebnisse und Diskussion.....	8
3. Abhängigkeit der Kalibrierfaktoren vom Dosismonitorwert.....	10
3.1. Theorie zum Einschwingverhalten des Linearbeschleunigers.....	10
3.2. Messaufbau und Durchführung.....	10
3.3. Ergebnis und Diskussion	11
4. Das Octavius-Phantom	13
5. Quellen	13

Abbildungen

Abbildung 1: Entstehung des Aufbaueffektes.....	4
Abbildung 2: Messung mit der Advanced-Markus Kammer	5
Abbildung 3: Tiefendosiskurven im Bereich des Aufbaueffekts	6
Abbildung 4: Phantomstreuung	7
Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung der Strahlerkopfstreufaktoren.....	8
Abbildung 6: Streufaktoren	9
Abbildung 7: Einschwingverhalten des Linearbeschleunigers	10
Abbildung 8: Messaufbau zur Messung mit variierenden Werten der Dosismonitorvorwahl	11
Abbildung 9: Einfluss der Dosismonitorvorwahl auf den Messwert pro Monitoreinheit	12
Abbildung 10: Octavius 1500	13

Tabellen

Tabelle 1: Ergebnisse der Tiefendosismessung mit RW3 Platten	6
Tabelle 2: Ergebnisse Strahlerkopfstreufaktoren	9
Tabelle 3: Ergebnisse der Variation der Dosismonitorvorwahl	11

1. Messung der Oberflächendosis und der Tiefendosis im Bereich des Aufbaueffektes

Die Oberflächendosis von Photonenstrahlung soll so exakt wie möglich bestimmt werden. Diese ist nach DIN6847-5 halbjährlich im Rahmen der Messung der Tiefendosisverteilung zu ermitteln. Die DIN fordert eine Messung in der kleinsten zu erreichenden Tiefe. Dafür wird mit einer Advanced Markus Kammer gemessen. Diese Advanced Markus Kammer ist nach DIN EN 60731 eine Parallelplattenkammer (Flachkammer), da sie im Vergleich zur Markus-Kammer das geforderte Verhältnis von Schutzringbreite zu Kammertiefe von 2:1 einhält.

1.1. Theorie zum Aufbaueffekt

Photonenstrahlung ist per Definition eine indirekt ionisierende Strahlung, welche ihre Energie über die entstehenden Sekundärteilchen an das Absorbermaterial abgibt. Beim Eintritt in das Absorbermaterial nimmt der Fluss der Primärteilchen stetig ab. Gleichzeitig steigt die Zahl der entstehenden Sekundärelektronen, welche ihre Energie kontinuierlich entlang ihres Weges an das Absorbermaterial abgeben. Diese Sekundärelektronen sind für die Deponierung der Energiedosis verantwortlich. Da von der Oberfläche ab immer mehr Sekundärelektronen emittiert werden, steigt auch die Dosis an. Die Lage der Dosismaximums ist von der mittleren Reichweite der an der Oberfläche ausgelösten Sekundärelektronen abhängig. Ist diese erreicht, haben diese Elektronen ihre gesamte Energie deponiert und die Dosis fällt mit zunehmender Tiefe ab.

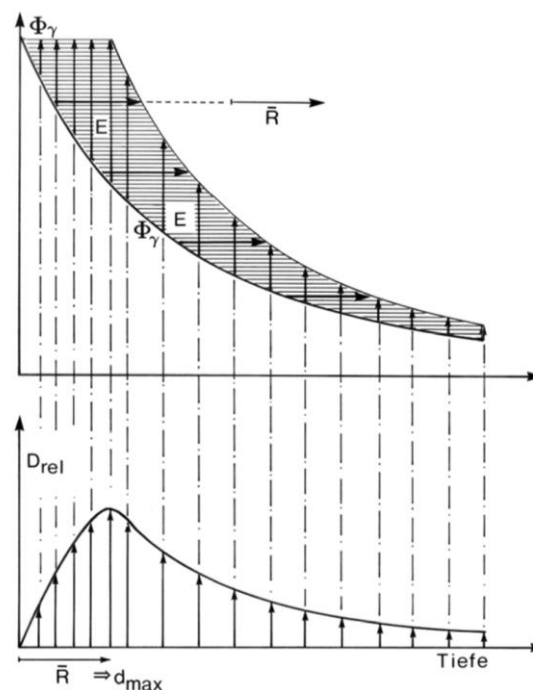


Abbildung 1: Entstehung des Aufbaueffektes

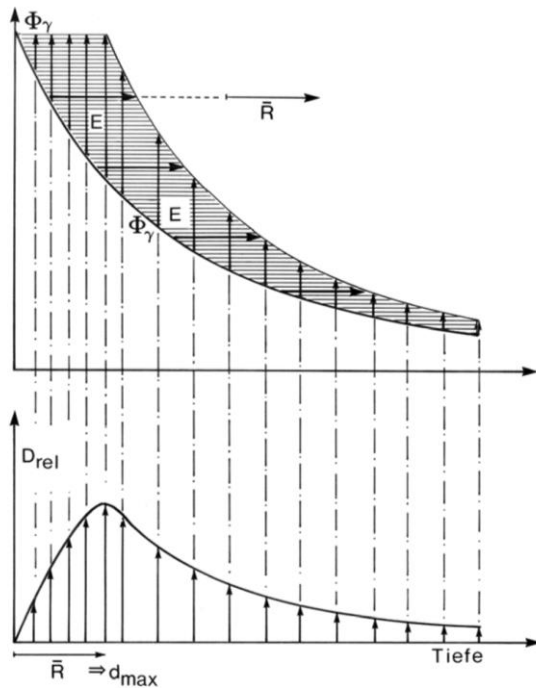


Abbildung 1 zeigt die Entstehung des Aufbaueffektes. Die obere Kurve zeigt die abnehmende Teilchenfluenz der primären Photonen ϕ_γ und der Sekundärelektronen E . $\bar{R}$ ist die mittlere Reichweite der Sekundärelektronen. Diese wird durch die waagrechten Striche dargestellt. Die untere Kurve zeigt die relative deponierte Dosis in der Tiefe. Die senkrechten Striche veranschaulichen die deponierte Dosis, welche von den entstehenden Elektronen abhängig ist.

1.2. Messaufbau und Durchführung

Zur Messung der Oberflächendosis wurde die Advanced Markus Kammer ohne Schutzkappe verwendet. Die Schutzkappe dient einerseits dazu, dass 0,03 mm dünne PE-Eintrittsfenster der Advanced Markus Kammer zu schützen und andererseits dazu, die Kammer für Messungen im Wasserphantom wasserdicht zu machen. Die Messungen werden allerdings nicht im Wasserphantom, sondern mithilfe von dosimetrisch wasseräquivalenten Platten durchgeführt. Dadurch kann auf die Schutzkappe verzichtet werden. Die verwendeten, von der Firma PTW vertriebenen, RW3 Platten bestehen aus Polystyrol mit 2% Titanoxid. In dieser Kombination haben die Platten im Energiebereich der therapeutischen Photonenstrahlung ähnliche Wechselwirkungseigenschaften wie Wasser. Die PTW vertreibt RW3-Platten, welche Aussparungen für die Dosimeter besitzen, um das Stapeln von Platten auch über das eingebrachte Dosimeter zu ermöglichen. Außerdem haben die Platten verschiedene Dicken, um in beliebigen Tiefen messen zu können.

Mithilfe dieser Platten wurde eine Tiefendosiskurve für 6MV Photonen, bei einem 10x10cm Feld für den Bereich des Aufbaueffektes von 0 bis 18 mm Tiefe aufgenommen. Der Fokus-Oberflächen-Abstand wird dabei konstant bei 100 cm gehalten. Dies wird dadurch erreicht, dass jeweils die entsprechenden Platten, welche unten aus dem Stapel gezogen werden, wieder oben auf den Detektor gelegt werden.

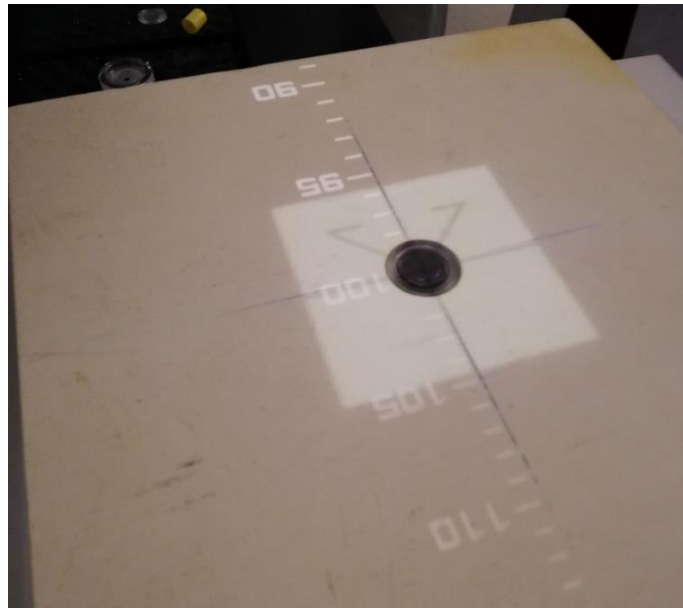


Abbildung 2: Messung mit der Advanced-Markus Kammer

Die Messung des Detektorsignals wurde mit dem PTW Unidos Elektrometer durchgeführt. Für jede Tiefe wurden 100 Monitoreinheiten abgestrahlt und die gemessene Ladung notiert.

1.3. Ergebnis und Diskussion

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Messreihe. Die Messwerte in pC wurden zur Vergleichbarkeit mit anderen Kurven auf das Maximum in 15mm Tiefe normiert und in Spalte 3 in Prozent angegeben.

Messtiefen in mm	Messwert in pC	Dosis in %
0	187,5	18,1
2	624	60,2
4	819	79,0
6	919,5	88,7
8	980	94,5
10	1014	97,8
12	1031	99,4
14	1036	99,9
15	1037	100,0
16	1036	99,9
17	1035	99,8
18	1031	99,4

Tabelle 1: Ergebnisse der Tiefendosismessung mit RW3 Platten

Abbildung 3 zeigt die aufgenommene Kurve in blau dargestellt. Zusätzlich wird der Bereich des Aufbaueffektes einer Tiefendosiskurve der gleichen Energie und Feldgröße, gemessen mit einer Kompaktkammer, im Wasserphantom im Diagramm dargestellt.

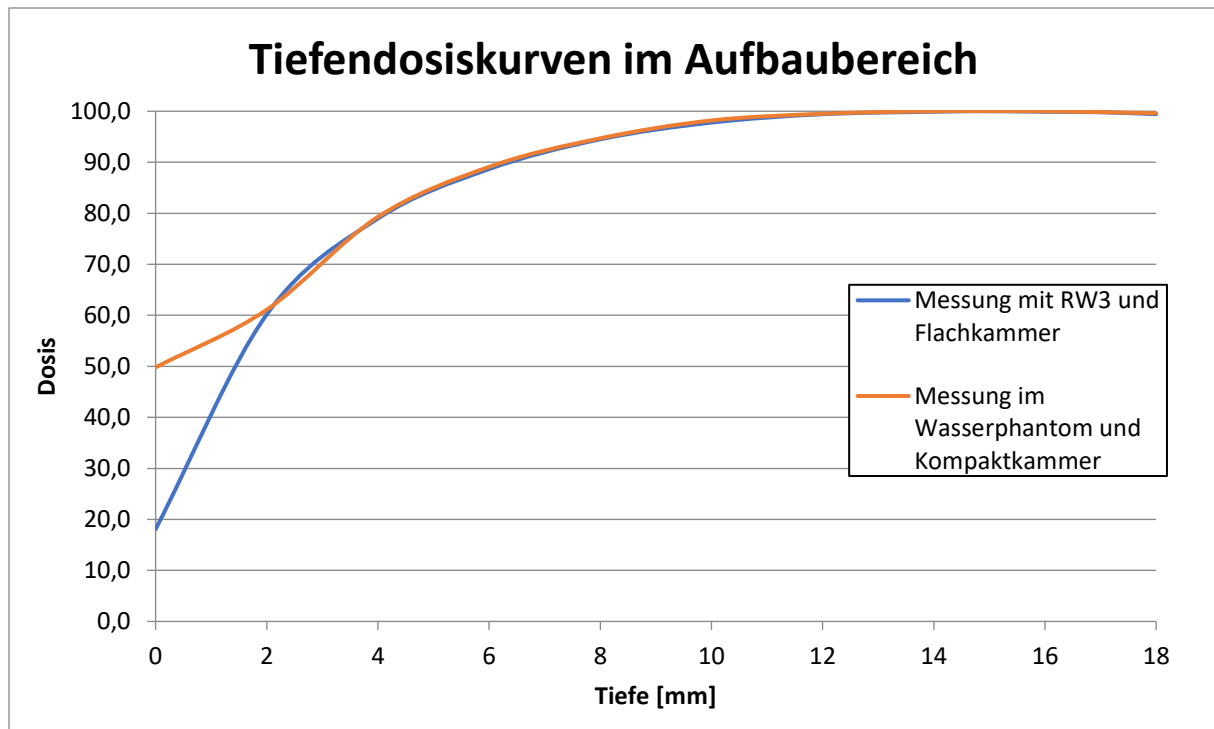


Abbildung 3: Tiefendosiskurven im Bereich des Aufbaueffekts

Ab einer Tiefe von ca. 5mm ist kein Unterschied zwischen den beiden Kurven mehr erkennbar. Allerdings driften die Kurven in geringeren Tiefen, als den 5mm deutlich auseinander. Dies ist einerseits dem Wasserphantom geschuldet, welches durch die Wellenbewegung gerade im Bereich von geringen Messtiefen deutliche Einflüsse auf das Messergebnis hat. Andererseits liegt es an der Messung mit einer Kompaktkammer, welche in der Tiefe eine schlechtere Auflösung besitzt, als eine Flachkammer. Die Messung mit den RW3-Platten und der Flachkammer stellt die reale Dosisverteilung an der Oberfläche dar. Der Unterschied zwischen den beiden Messmethoden beträgt ca. 32 Prozentpunkte. Für die Basisdaten für das Planungssystem ist es dringend erforderlich die richtigen Messmethoden für die Messung der Oberflächendosis zu wählen. Würden die Werte der Messungen aus dem Wasserphantom verwendet, wird die Hautdosis um einen Faktor 2,75 überschätzt. Dies kann führt zu unnötigen Optimierungsproblemen mit Auswirkungen auf die Zielvolumenabdeckung oder Schonung von Risikoorganen haben.

2. Output-Faktoren

Die Dosis im Patienten setzt sich aus der Dosis vom Primärstrahl und der Dosis aus Streustrahlungsbeiträgen zusammen. Die Streustrahlung kann in Strahlerkopfstreuung und Phantomstreuung aufgeteilt werden

2.1. Theorie zu Streustrahlung

Die Phantomstreuung hängt vom Volumen und der Art des durchstrahlten Mediums ab. Zusätzlich spielt die Strahlungsqualität eine Rolle. Abbildung 4 zeigt, dass die

Phantomstreuung mit Zunahme der Feldgröße zunimmt. Sowohl die Streubeiträge der Vorwärtsstreuung V, als auch die der Rückstreuung R.

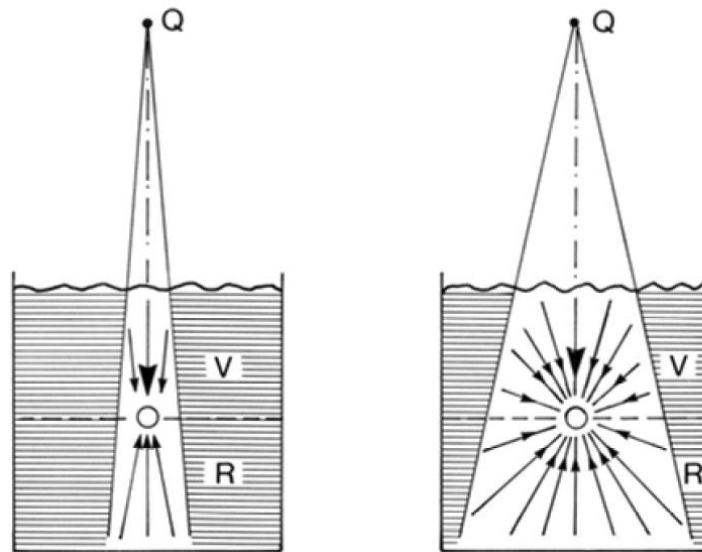


Abbildung 4: Phantomstreuung

Die Strahlerkopfstreuung findet im Primärkollimator und in den Blenden statt. Beide Arten der Streuung können in sogenannten Streufaktoren beschrieben werden. Diese sind durch Messungen oder Rechnung bestimmt werden. Das Produkt der beiden Streufaktoren ergibt den sogenannten Output-Faktor (totaler Streufaktor) $S_{c,p}$.

$$S_{c,p} = S_c * S_p \quad (1)$$

$S_{c,p}$	Output-Faktor
S_c	Strahlerkopfstreufaktor
S_p	Phantomstreufaktor

2.2. Messaufbau und Durchführung

Zur Messung der Strahlerkopfstreufaktoren müssen die Streubeiträge des Phantoms eliminiert werden. Deswegen wird die Messung in Luft durchgeführt, da die Streuung in der Luft keinen Beitrag zur Dosis liefert. Die 0,3cm³ Semiflex Kompaktkammer wurde zur Messung im leeren Wasserphantom befestigt. Die Kammer wird parallel zur Strahlrichtung auf dem Zentralstrahl positioniert (Vgl. Abbildung 5). Der Abstand des Dosimeters zum Fokus beträgt 100cm und pro Messung werden 100 Monitoreinheiten abgestrahlt.



Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung der Strahlerkopfstreu Faktoren

Zur Elimination der Elektronen, mit denen die Photonenstrahlung aus dem Linearbeschleuniger kontaminiert ist, wird auf die Ionisationskammer eine Aufbaukappe gesetzt. Diese Kappe schirmt mit 14mm Plexiglas in alle Raumrichtungen die Kammer vor den Elektronen ab. Allerdings können dadurch auch nur Feldgrößen größer 3x3cm bestrahlt werden, da dann die Aufbaukappe als Phantom fungiert und man keinen reinen Einfluss der Strahlerkopfstreuung in diesen kleinen Feldern untersuchen kann.

2.3. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Messungen mit verschiedenen Feldgrößen. Für die Strahlerkopfstreu Faktoren werden die Ergebnisse auf den Wert beim 10x10cm Feld normiert.

Feldgrößen	Messwert in nC	Strahlerkopfstreu Faktoren
1	9,889	0,673
2	13,450	0,915
3	13,890	0,945
4	14,100	0,959
5	14,200	0,966
6	14,330	0,975
8	14,540	0,989
10	14,700	1,000
12	14,810	1,007
15	14,940	1,016
20	15,150	1,031
25	15,240	1,037
30	15,310	1,041
40	15,340	1,044

Tabelle 2: Ergebnisse Strahlerkopfstreufaktoren

Im Praktikum vom 23.11.2018 wurden bereits die Output-Faktoren für den Linearbeschleuniger im Wasserphantom bestimmt. Mithilfe der jetzt gemessenen Werte für die Strahlerkopfstreufaktoren und der Gleichung 1 können die Phantomstreufaktoren berechnet werden. Die drei Faktoren wurden für die verwendeten Feldgrößen in einem Diagramm aufgetragen.

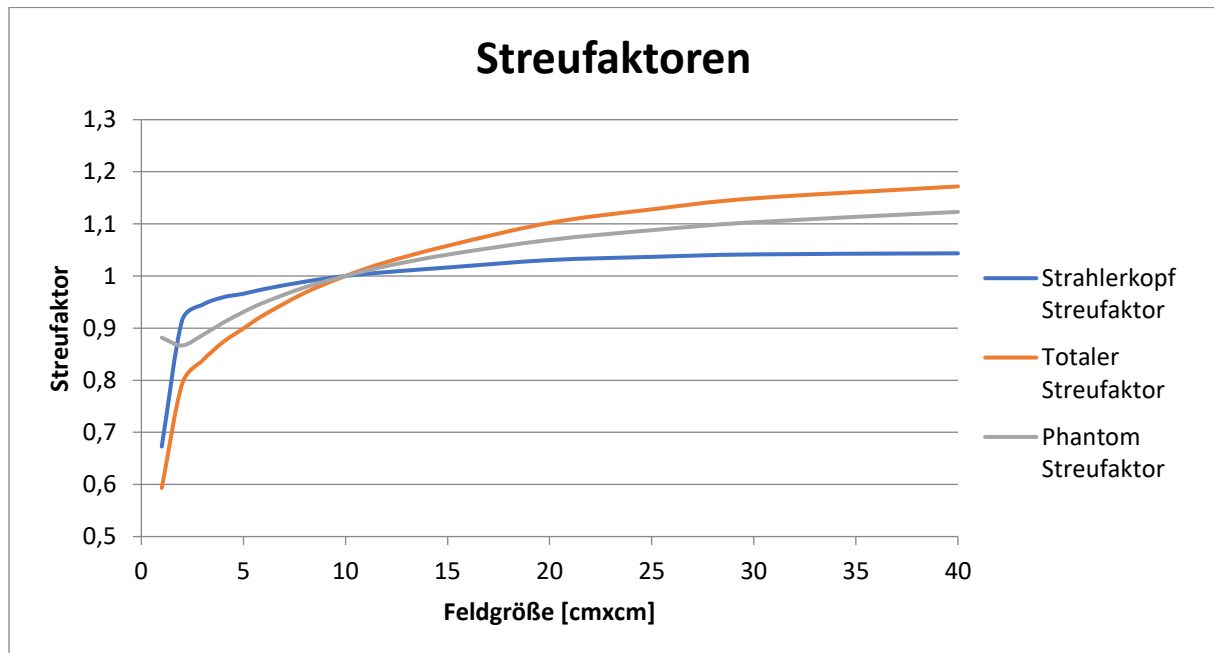


Abbildung 6: Streufaktoren

Abbildung 6 zeigt die drei Kurven der jeweiligen Streufaktoren. Bei sehr kleinen Feldern sinkt der Strahlerkopfstreufaktor dramatisch ab, da die Blenden teilweise den Fokus verdecken und so die Dosis abfällt, was unabhängig von der Streuung im Strahlerkopf geschieht. Daher sollte auf sehr kleine Felder kleiner 2x2cm verzichtet werden. Außerdem kann beobachtet werden, dass der Phantomstreufaktor einen größeren Einfluss auf den Output-Faktor hat, als der Strahlerkopfstreufaktor, welcher bei großen Feldern annähernd konstant ist.

3. Abhängigkeit der Kalibrierfaktoren vom Dosismonitorwert

Die DIN6847-5 verlangt eine jährliche Prüfung der Dosis für verschiedene Werte der Dosismonitorvorwahl. Bei einer Vorwahl von ca. 0,1Gy und 4,0Gy ist die Anzeige eines Dosimeters zu bestimmen. Anschließend ist der Quotient der Anzeige durch die Vorwahl zu bestimmen und mit den Werten der Kalibrierung abzugleichen.

3.1. Theorie zum Einschwingverhalten des Linearbeschleunigers

Wird dem Beschleuniger per Fernsteuerung der Befehl zum Starten der Strahlung gegeben, beginnen in der Elektronik viele Prozesse, welche erst beim Start der Strahlung aufeinander

abgestimmt werden. Dies führt dazu, dass nicht augenblicklich nach dem Drücken des Start-Knopfes eine konstante und hohe Dosisleistung abgestrahlt werden kann. Es kommt zum sogenannten „Einschwingen“ des Linearbeschleunigers bis sich die verschiedenen Komponenten aufeinander abgestimmt haben.

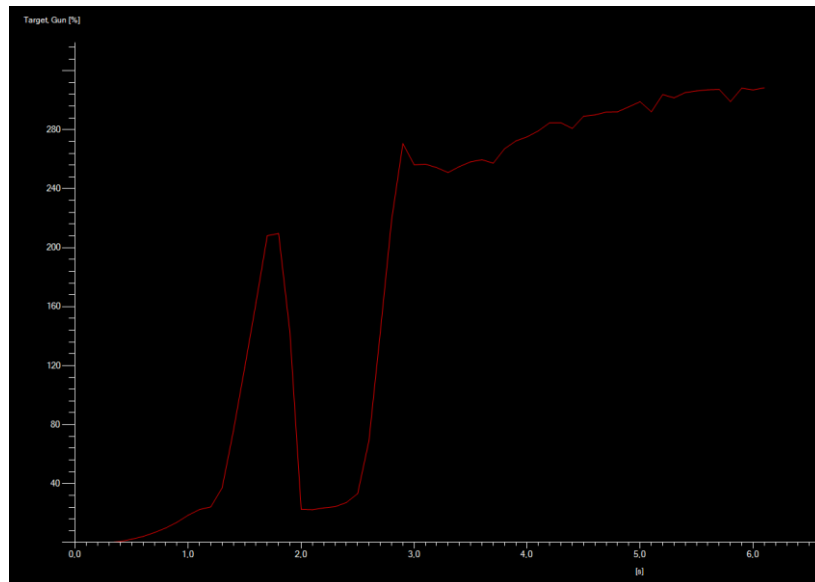


Abbildung 7: Einschwingverhalten des Linearbeschleunigers

Abbildung 7 zeigt, dass sich während des Einschwingens die Dosisleistung sprunghaft ändert. Das Einschwingen des Linearbeschleunigers dauert ca. 4-5 Sekunden. Während der Zeit wird allerdings schon Dosis appliziert, was zu erheblichen Schwierigkeiten führen kann.

3.2. Messaufbau und Durchführung

Für die Messung der Dosis mit verschiedenen Werten für die Monitorvorwahl wird erneut mit RW3-Platten gearbeitet. Auf mindestens 5cm RW3-Platten wird eine Platte mit einer Kompaktkammer gelegt. Diese wird im Zentralstrahl positioniert. Anschließend wird darauf ein Block mit 9,5cm RW3-Platten gelegt und ein Fokus-Oberflächen-Abstand von 100cm eingestellt. So erreicht man eine Messtiefe von 10cm, was den Referenzbedingungen entspricht. Gemessen werden 6MV Photonen mit der Semiflex 0,3cm³ Kompaktkammer bei einem 10x10cm Feld.

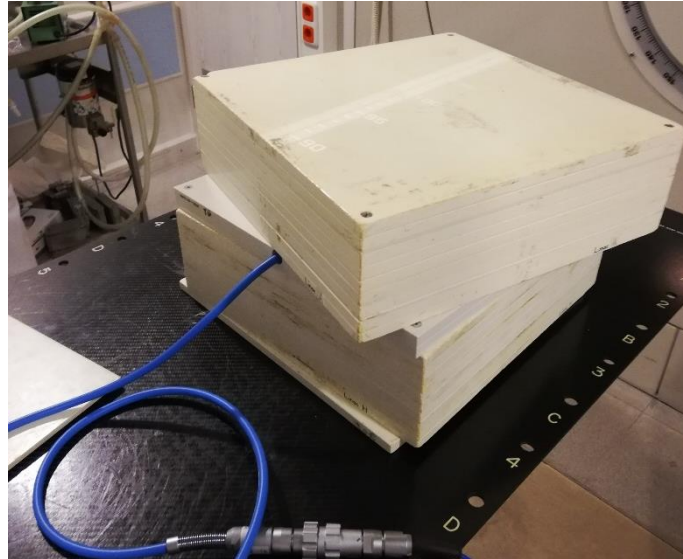


Abbildung 8: Messaufbau zur Messung mit variierenden Werten der Dosismonitorvorwahl

3.3. Ergebnis und Diskussion

Tabelle 3 zeigt die Messwerte des Dosimeters in nC für die vorgewählte Anzahl an Monitoreinheiten.

Monitoreinheiten	Messwert in nC	Messwert in nC pro Monitoreinheit
1	0,1775	0,178
2	0,3520	0,176
3	0,5295	0,177
4	0,7025	0,176
6	1,0450	0,174
8	1,3860	0,173
10	1,7310	0,173
20	3,4470	0,172
50	8,5950	0,172
70	12,0300	0,172
100	17,17	0,172

Tabelle 3: Ergebnisse der Variation der Dosismonitorvorwahl

Die erhaltenen Messwerte wurden durch die Dosismonitorvorwahl geteilt, um einen vergleichbaren Messwert pro Monitoreinheit zu erhalten. Dieser Quotient wurde gegenüber der Dosismonitorvorwahl in Abbildung 9 aufgetragen.

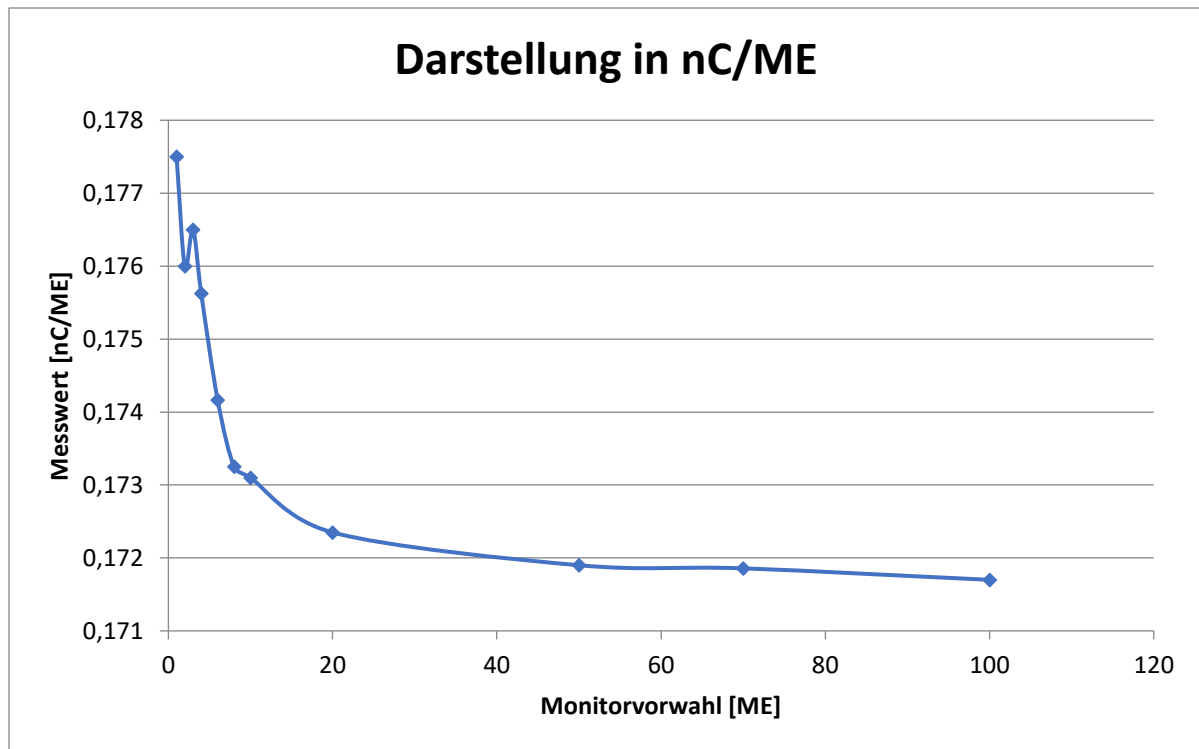


Abbildung 9: Einfluss der Dosismonitorvorwahl auf den Messwert pro Monitoreinheit

Die Abbildung 9 zeigt, dass die abgestrahlte Dosis pro Monitoreinheit mit sinkender Monitorvorwahl zunimmt. Mit einer Vorwahl von ca. 4 Monitoreinheiten oder mehr kann von einer in etwa konstanten Dosis pro Monitoreinheit ausgegangen werden. Bei geringeren Werten für die Dosismonitorvorwahl hat der Effekt des Einschwingens des Linearbeschleunigers einen größeren Einfluss auf die Gesamtdosis.

Gerade bei IMRT-Plänen werden allerdings viele Segmente mit einer geringen Anzahl an Monitoreinheiten abgestrahlt. Die Messungen zeigen allerdings, dass die dadurch entstehende Dosis nur ungenau berechnet werden kann und die Effekte des Einschwingens gerade bei diesen Feldern erhöhten Einfluss auf die Dosis besitzen. Deswegen sollte bei jedem Beschleuniger für die IMRT-Planung eine Mindestanzahl von Monitoreinheiten pro Segment festgelegt werden, um den Einfluss des Einschwingens zu minimieren.

4. Das Octavius-Phantom

Zum Ende des Praktikums wurde das Octavius 1500 Phantom der Firma PTW vorgestellt.

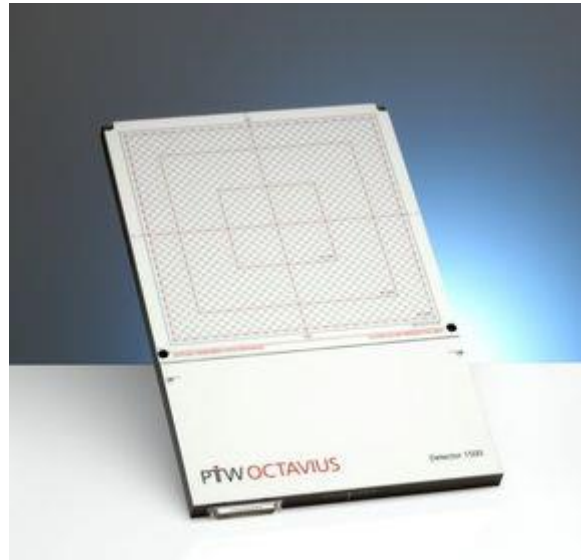


Abbildung 10: Octavius 1500

Diese Platte besitzt 1500 kleine Ionisationskammern, welche einzeln ausgelesen werden können. Mithilfe des zugehörigen Programms können die Querprofile des Strahlungsfeldes schnell und einfach ausgewertet und eventuell nachgestellt werden. Dadurch spart man sich das aufwendige Aufbauen und Ausrichten des Wasserphantoms, welches man sonst für die Messung von Querprofilen benötigt.

5. Quellen

- DIN 6800-2
- DIN 6847-5
- „Strahlungsmessung und Dosimetrie“ 2. Auflage, Hanno Krieger, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013
- „Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes“ 5. Auflage, Hanno Krieger, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017
- „Strahlungsquellen für Technik und Medizin“ 3. Auflage, Hanno Krieger, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018
- Online-Katalog der PTW, <https://www.ptw.de/3090.html?&cld=2786>, Zugriff am 28.12.2018