

Dosimetrieprotokoll

von Andreas Michael Wagner

13. Januar 2017

Inhalt

A Vortrag	3
B Dosimetriepraktikum	3
1. Sättigungskorrektur	3
1.1 Begriffsdefinition und Zweck der Messung	3
1.2 Versuchsaufbau	4
1.3 Ergebnisse und Interpretation	5
2. Monitorkalibrierung	6
3. Elektronen	6
3.1 Farmer-Kammer für 4 und 15 MeV Elektronen.....	7
3.2 Roos-Kammer für 4, 6, 8,10, 12 und 15 MeV Elektronen	8
3.3 PDD im Zentralstrahl und am Feldrand	13
C Quellen	13

A Vortrag

Der Vortrag über das Medizinproduktegesetz (MPG) wurde von Mario Hofmaier gehalten. Dr. Christ informierte im Anschluss noch über folgende Punkte in Bezug auf das MPG:

- Das Gesetz grenzt sich klar vom Arzneimittelgesetz ab
- Gilt eher für Hersteller als für die Betreiber von Medizinprodukten
- Produkte, die in der EU vertrieben werden, wurden meist nach deutschem MPG-Recht gebaut
- Die Bedienungsanleitungen müssen gemäß MPG in deutscher Sprache verfasst sein und die Medizinprodukte sollten eine CE-Kennzeichnung besitzen. Ein CE-Zeichen bestätigt, dass gemäß europäischen Vorschriften gearbeitet wurde. Vor allem bei Produkten aus Fernost sollte darauf geachtet werden
- Eigenentwicklungen z.B. ein Stativ zum Tragen von Kabeln oder eine Software fallen ebenfalls unter das MPG. Vor dem Einsatz muss man eine Risikoanalyse durchführen bzw. durchführen lassen (TÜV, etc.)
- Für alle Medizinprodukte muss ein dementsprechender Medizinprodukte-Verantwortlicher bestellt werden

B Dosimetriepraktikum

1. Sättigungskorrektion

1.1 Begriffsdefinition und Zweck der Messung

In Ionisationskammern tritt ein Verlust, der durch ionisierende Strahlung im Messvolumen erzeugten Ionen- durch Rekombination auf. Dieser Effekt wird auch als „unvollständige Sättigung“ bezeichnet und führt dazu, dass die gemessene Ladung stets kleiner ist, als die im Messvolumen durch ionisierende Strahlung erzeugte Ladung. Das Ausmaß der Rekombination hängt von der Dosisleistung bzw. der Dosis pro Puls, der Geometrie der Ionisationskammer sowie der Kammerspannung ab. [1]

Der Korrektionsfaktor k_S wird gemäß Formel 1 berechnet. D_P entspricht der Wasser-Energiedosis pro Puls am Messort, U ist die Kammerspannung und die Koeffizienten γ und δ sind aus der Tabelle 6 der DIN 6800-2 je nach verwendetem Kammertyp nachzuschlagen. Am 16.12.2016 haben wir bereits die Dosis pro Puls berechnet. Sie beträgt 0,0897 mGy.

$$k_S = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D_P}{U}$$

Formel 1: Berechnung des Sättigungskorrektionsfaktors

Falls für die verwendete Kammer keine Daten aus der genannten Tabelle ersichtlich sind oder zur eigenständigen, messtechnischen Überprüfung lässt sich der Sättigungskorrektionsfaktor k_S experimentell ermitteln.

1.2 Versuchsaufbau

Zur Ermittlung der Sättigungskorrektur für Photonen wurde das Wasserphantom wie gewöhnlich aufgebaut und die Grenzen der Mechanik festgelegt.

Messmedium: Wasser

Messkammer: Waterproof PTW Farmer® 0,6 cm³ Typ 30013

SSD: 100 cm

Messtiefe: 10 cm Wassertiefe (SDD = 110 cm)

Messgerät: Messung der Ladung mittels PTW Unidos

Linac: 100 MU / Messung

Messdaten:

U in V	M in nC
50	17,19
100	17,30
150	17,34
200	17,36
250	17,37
300	17,38
350	17,39
400	17,41

Tabelle 1: Messanzeige M in nC bei unterschiedlichen Kammeranspannungen U in V bei sonst gleichen Rahmenbedingungen

Trägt man den Kehrwert der Messanzeige M^{-1} als Funktion des Kehrwertes der Kammeranspannung U^{-1} graphisch auf, entsteht ein sogenanntes Jaffé-Diagramm. [1] Durch lineare Regression lässt sich der Sättigungskorrekturfaktor gemäß Formel 2 für eine bestimmte Spannung messtechnisch ermitteln. M_S entspricht dem Achsenabschnitt, also dem Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Ordinate.

$$k_s = \frac{1/M}{1/M_S}$$

1.3 Ergebnisse und Interpretation

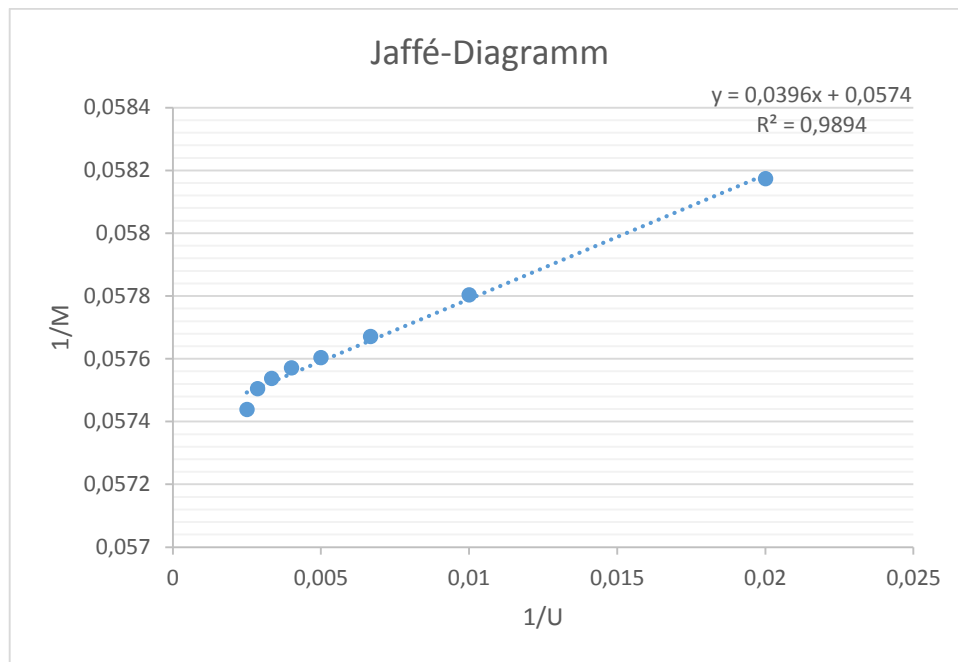


Diagramm 1: Jaffé-Diagramm

M_S entspricht für diesen Versuchsaufbau $0,0574nC$. Nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Sättigungskorrektionsfaktoren auf.

U in V	k_S (experimentell)	k_S (nach DIN 6800-2)	abs. rel. Fehler in ‰
50	1,013	1,0062	6,79
100	1,007	1,0031	3,90
150	1,005	1,0021	2,94
200	1,004	1,0015	2,45
250	1,003	1,0012	1,76
300	1,002	1,0010	0,97
350	1,002	1,0009	1,12
400	1,001	1,0008	0,23

Tabelle 2: Sättigungskorrektionsfaktoren für alle verwendeten Spannungen. Für die Berechnung des k_S (nach DIN 6800-2) wurde, wie in der DIN beschrieben, vorgegangen.

Für alle Kammerspannungen fällt der Korrektionsfaktor >1 aus. Dies gibt auch Sinn, da der Messwert durch Rekombination zu gering ausfällt.

2. Monitorkalibrierung

Bei Abweichungen in den routinemäßigen Kontrollen der Messeinrichtung sollte die $\pm 3 \%$ Schwelle nicht überschritten werden. In der Radioonkologie Tübingen sind $\pm 1,5 \%$ Standard. An besonderen Wetterlagen, z.B. schnell wechselnde Hochdrucklagen sollte die Messeinrichtung bei einer geringen Abweichung nicht sofort nachgestellt werden. Oft schafft die Klimaanlage nicht sofort, sich den Luftfeuchtigkeits- und Temperaturgegebenheiten anzupassen. Am darauffolgenden Tag sollte jedoch wieder alles im Normalbereich sein, muss aber überprüft werden.

Wie bereits in vorherigen Vorlesungen besprochen, ist die Monitorkammer redundant vorhanden. Die beiden Kammern sind (normalerweise) auf $100 \text{ MU} = 1 \text{ Gy}$ kalibriert. Die Einstellung wird über einen nichtlinearen Kalibrierfaktor realisiert, der jedoch nur für eine Energie gültig ist. Vergrößert man den Kalibrierfaktor, wird die Messkammer empfindlicher und schaltet früher ab. Die Dosis wird dadurch verringert. Änderungen an der Monitorkalibrierung sind mit äußerster Vorsicht zu genießen. Änderungen können bei Elekta nur über den Service-Modus durchgeführt werden.

Keilfilter werden immer unterhalb der Monitoreinheit angebracht. Da die Filter stark schwächen, muss man ca. 3,5-mal so viele Monitoreinheiten bestrahlen, um im Zielgebiet die gleiche Dosis zu erhalten. Alternativ kann man die Empfindlichkeit der Monitorkammern ändern, damit wieder $100 \text{ MU} = 1 \text{ Gy}$ entsprechen.

3. Elektronen

Mit Elektronen lassen sich oberflächlich gelegene Tumore behandeln, wie beispielsweise das Basalzellkarzinom, der ein maligner Hauttumor ist.

Im Elektronenmodus wird das Target gegen ein Beryllium-Fenster ausgetauscht. Dieses Fenster dient als Vakuumabschluss zum Beschleunigungsrohr. Statt dem Ausgleichkörper werden Streufohlen eingefahren. Jedoch entsteht unerwünschte Röntgenbremsstrahlung in den Folien, da diese Dosis in tieferen Gewebeschichten produziert. Bei einer herkömmlichen Streufohle entsteht ca. 10% Röntgenbremsstrahlung bei 18 MeV. In Linacs neuerer Bauart kommen zwei dünnere Streufohlen zum Einsatz, die ca. 10 cm Abstand zueinander haben. Der gesamte Bremsstrahlungsanteil liegt bei ca. 3% für 18 MeV. Der Elektronentubus dient zur Feldhomogenisierung und sollte direkt auf die Haut des Patienten aufgebracht werden.

Der Korrektionsfaktor $k_{Q,M}$ gilt für die Messung der Wasser-Energiedosis in Photonenfeldern und berücksichtigt das Ansprechvermögen infolge unterschiedlicher Strahlungsqualitäten. Bei Elektronen wird stattdessen der Korrektionsfaktor $k_{E,M}$ angewandt, der ebenfalls das Ansprechvermögen korrigiert. Bei Photonen kompensieren sich Aufhärtung (entsteht durch Filterung der weichen Strahlungsanteile im Wasser) und Aufweichung (entsteht durch Comptonstreuung im Wasser) in etwa, sodass $k_{Q,M}$ nur von der Photonenenergie abhängt. In Elektronenfeldern verlieren die Elektronen im Wesentlichen durch Stöße ihre Energie. Einen kompensierenden Anteil gibt es hier nicht, sodass die Energie mit zunehmender Tiefe kontinuierlich abnimmt. Deshalb muss der Korrektionsfaktor $k_{E,M}$ für alle benötigten Tiefen einzeln eingesetzt werden. Bei den verwendeten Linacs sind die beschleunigten Elektronen nicht monoenergetisch, sondern haben eine Halbwertsbreite von ca. 1 MeV. Der Korrektionsfaktor bezieht sich auf die mittlere Energie. Besser wäre jedoch über das Spektrum zu integrieren, was jedoch vernachlässigt wird, da die spektrale Verteilung nicht bekannt ist.

3.1 Farmer-Kammer für 4 und 15 MeV Elektronen

Messmedium: Wasser

Feldgröße: 20x20cm Elektronentubus

Messkammer: Waterproof PTW Farmer® 0,6 cm³ Typ 30013

Referenzkammer: PTW Semi-Flex 0,125 cm³

Messgerät: PTW Mephisto

SSD: 95 cm (Tubus) + 2,5 cm (Abstand Endrahmen zum Wasser) = 97,5 cm

Linac: 10.000 MU (die Strahlung wird beim Ende der Messung manuell ausgestellt)

Der Tubus kann in diesem Versuch nicht auf der Wasseroberfläche aufgesetzt werden, da die Mechanik des Phantoms mit dem Tubus kollidieren würde. Der Abstand beträgt ca. 2,5 cm zwischen Endrahmen und Wasseroberfläche.

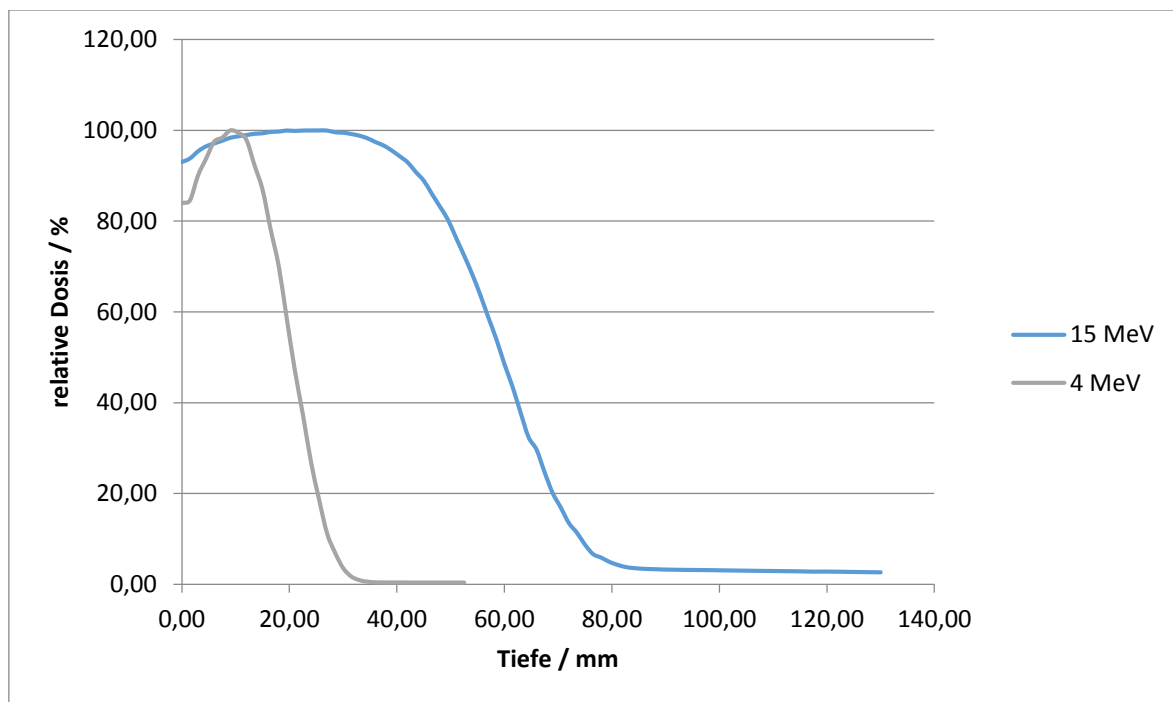


Diagramm 2: Tiefendosisverlauf (Ionendosis) von 4 und 15 MeV Elektronenstrahlung. Der jeweils erste Messwert in 0 mm Tiefe gilt nicht, da die Farmer-Kammer aus dem Wasser ragt.

Elektronen haben eine definierte Reichweite (ausgenommen davon ist die Röntgenbremsstrahlung) und bei zunehmender Energie steigt die Eindringtiefe an und das Dosismaximum geht weiter in die Tiefe. Gut ersichtlich ist der vermehrte Bremsstrahlungsuntergrund für die 15 MeV Elektronenstrahlung.

3.2 Roos-Kammer für 4, 6, 8, 10, 12 und 15 MeV Elektronen

Messmedium: Wasser

Feldgröße: 20x20cm Elektronentubus

Messkammer: PTW Roos® 0,35 cm³ Typ 34001

Referenzkammer: PTW Semi-Flex 0,125 cm³

Messgerät: PTW Mephisto

SSD: 95 cm (Tubus) + 2,5 cm (Abstand Endrahmen zum Wasser) = 97,5 cm

Linac: 10.000 MU (die Strahlung wird beim Ende der Messung manuell ausgestellt)

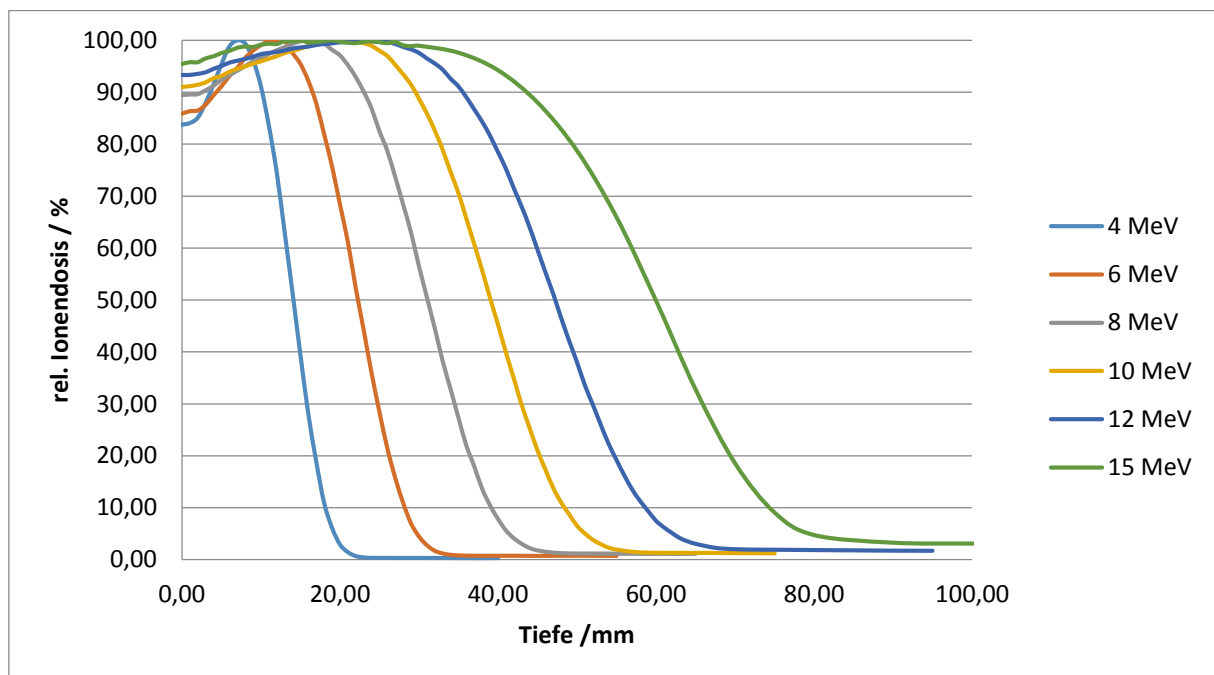


Diagramm 3: Tiefendosisverlauf (Ionendosis) von 4 bis 15 MeV Elektronenstrahlung. Der jeweils erste Messwert in 0 mm Tiefe gilt nicht, da die Roos-Kammer aus dem Wasser ragt.

Die Roos-Kammer ist für Elektronenstrahlung geeignet. Analog zu der Messung mit der Farmer-Kammer sind die gleichen Effekte zu beobachten. Mit zunehmender Energie verschiebt sich das Dosismaximum zu größerer Tiefe und die Reichweite der Elektronen nimmt zu.

Wie bereits am Beginn dieses Abschnitts erläutert, muss bei Elektronen zwischen der Ionendosis und Wasser-Energiedosis unterschieden werden.

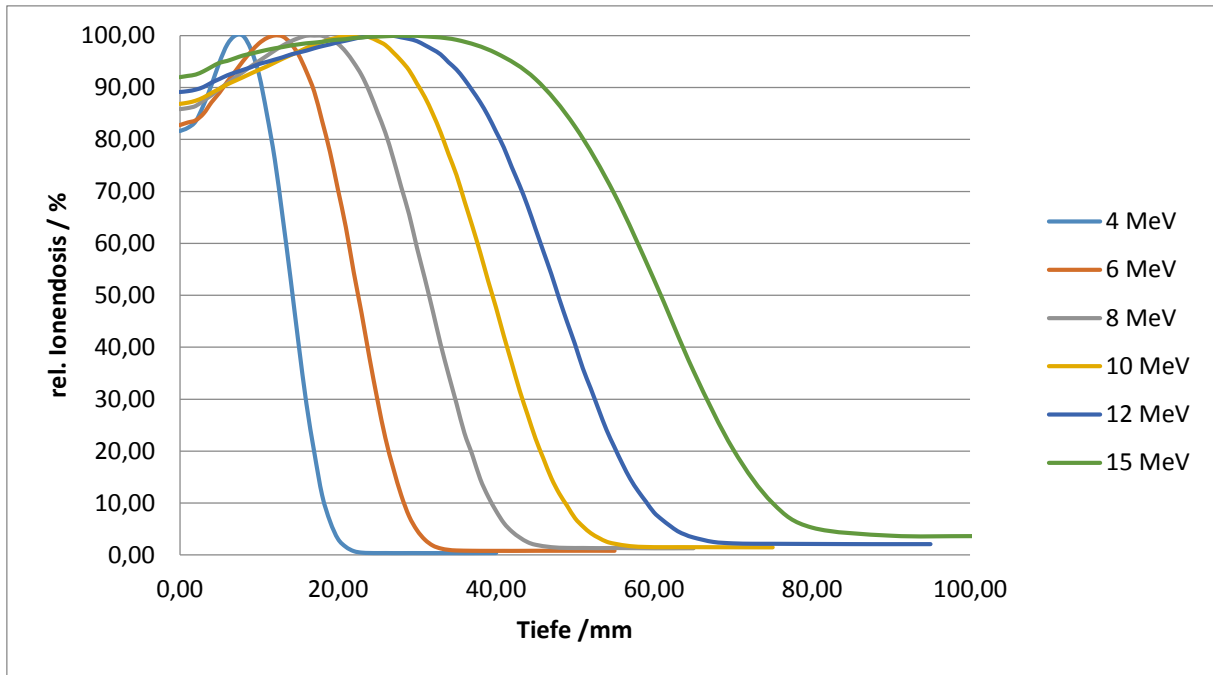


Diagramm 4: Tiefendosisverlauf (Wasser-Energiedosis) von 4 bis 15 MeV Elektronenstrahlung. Der jeweils erste Messwert in 0 mm Tiefe gilt nicht, da die Roos-Kammer aus dem Wasser ragt. Die Messwerte wurden von der Software PTW Mephisto errechnet.

Nachfolgend erfolgt die Berechnung des Tiefenverlaufs händisch, wie in DIN 6800-2 beschrieben. Der Umrechnungsfaktor $k_{E,M}$ berechnet sich aus dem Produkt von $k_{NR,E}$ und $k_{E,R}$, also:

$$k_{E,M} = k_{NR,E} * k_{E,R}$$

$k_{NR,E}$ ist ein Faktor, falls die Messung unter Nicht-Referenzbedingungen durchgeführt worden ist. Ist die Messung unter Referenzbedingungen durchgeführt worden, wird $k_{NR,E} = 1$. In unserem Fall wurde in verschiedenen Tiefen gemessen, und damit nicht unter Referenzbedingungen. Es gilt:

$$k_{NR,E}(z, R_{50}) = \frac{s_{w,a}^{\Delta}(z, R_{50, \text{Wasserenergie}})}{s_{w,a}^{\Delta}(z_{\text{ref}}, R_{50, \text{Wasserenergie}})}$$

Für die Berechnung von $s_{w,a}^{\Delta}$ in der Referenztiefe z_{ref} gilt:

$$s_{w,a}^{\Delta}(z_{\text{ref}}, R_{50}) = 1,253 - 0,1487 \cdot (R_{50, \text{Wasserenergie}})^{0,214}$$

In allen anderen Tiefen z wird das Massen-Stoßbremsvermögensverhältnis nach der folgenden Beziehung berechnet:

$$s_{w,a}^{\Delta}(z, R_{50}) = \frac{1,0752 - 0,50867x + 0,08867x^2 - 0,08402y}{1 - 0,42806x + 0,06463x^2 + 0,003085x^3 - 0,1246y}$$

$$x = \ln(R_{50, \text{Wasserenergie}} / 1 \text{ cm})$$

$$y = z / R_{50, \text{Wasserenergie}} \text{ wobei } z \text{ die aktuelle Tiefe darstellt}$$

Es wird für jede Tiefe z ein neuer $k_{N,E}$ -Wert berechnet. Die Umrechnung der Halbwerttiefe ist in Tabelle 3 aufgezeigt.

$k_{E,R}$ ist der Korrektionsfaktor zur Berücksichtigung der Änderung der Strahlungsqualität. In guter Näherung hängt der Faktor nur noch vom Typ der Ionisationskammer und durch die Halbwerttiefe R_{50} der Wasser-Energiedosis ab, welcher ein Maß für die Strahlungsqualität darstellt. [1]

Die verwendete Roos-Kammer ist eine Flachkammer. Für diesen Kammertyp gilt:

$$k_{E,R} = A + B e^{-\frac{R_{50}}{C}}$$

$$\text{falls } 1,8 \text{ cm} \leq R_{50} \leq 8,8 \text{ cm}$$

Die Faktoren A, B und C sind in Tabelle 10 (Seite 32) der Norm 6300-2 dargestellt. Für die Roos-Kammer beträgt A = 0,8858, B = 0,1206 und C=3,511.

R_{50} gilt für die Wasser-Energiedosis. Für die Ionendosis wurde die Halbwerttiefe ermittelt, in dem der Wendepunkt der abfallenden Flanke bestimmt wird.

Energie in MeV	$R_{50, \text{Ion}}$ in cm	$R_{50, \text{Wasserenergie}}$ in cm	$k_{E,R}$
4	1,394	1,40	0,967
6	2,237	2,26	0,949
8	3,145	3,18	0,935
10	3,961	4,01	0,924
12	4,807	4,88	0,916
15	6,096	6,20	0,906

Tabelle 3: Für unterschiedliche Elektronenenergien werden hier die Halbwerttiefen R_{50} für die Ionendosis und die berechneten Halbwerttiefen R_{50} für die Wasser-Energiedosis aufgezeigt.

Die Halbwerttiefe R_{50} für die Wasser-Energiedosis wird gemäß folgender Formel berechnet (ebenfalls aus der DIN 6800-2 entnommen):

$$R_{50} = 0,00171 \text{ cm}^{-1} * R_{50, \text{Ion}}^2 + 1,00805 R_{50, \text{Ion}} - 0,00689 \text{ cm}$$

Der berechnete Korrektionsfaktor $k_{E,M}$ wurde mit der Ionendosis multipliziert und neu normiert, sodass das Dosismaximum wieder bei 100% liegt. In Diagramm 5 sind die Ionendosis und die Wasserenergiedosis aufgetragen. Die eigens berechnete Wasser-Energiedosis liegt sehr gut auf der Linie der Wasser-Energiedosis, die von der PTW-Software ermittelt wurde.

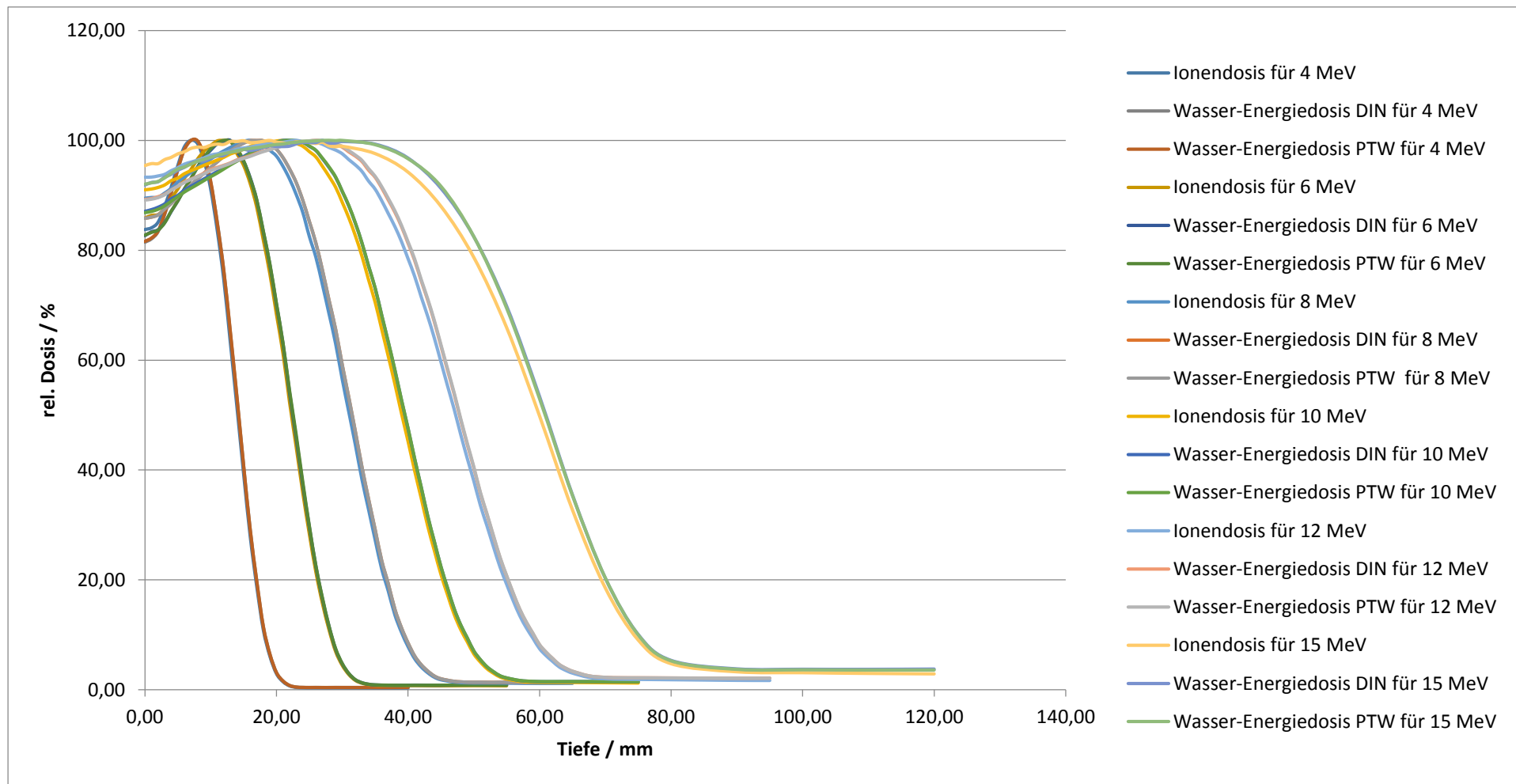
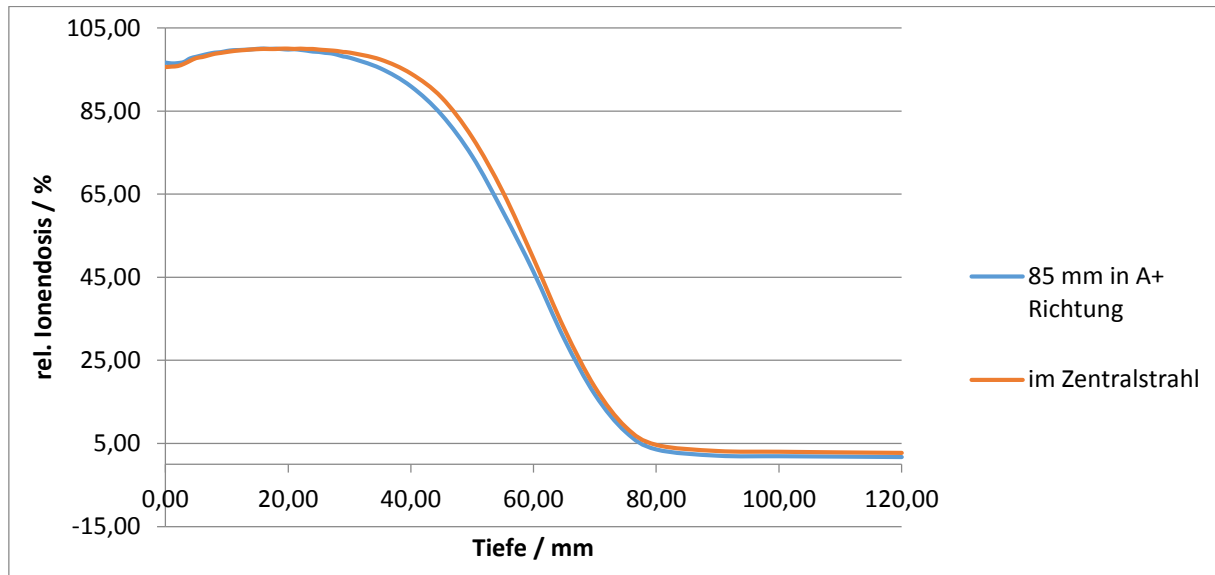


Diagramm 5: Auftragung von Ionendosis und Wasser-Energiedosis in Abhängigkeit der verwendeten Energien

3.3 PDD im Zentralstrahl und am Feldrand

Im letzten Schritt des Versuchs wurde ein Tiefendosisverlauf am Feldrand gemessen. Dazu wurde der identische Messaufbau wie in Abschnitt 3.2 verwendet.



Außerhalb des Zentralstrahls verschiebt sich das Dosismaximum leicht in eine geringere Tiefe und der Bremsstrahlungsuntergrund ist erniedrigt. Da die Elektronen für die Feldränder stark aufgestreut werden müssen, ist die kinetische Energie der Elektronen leicht verringert. Ebenfalls ist weniger Bremsstrahlungsuntergrund an den Feldrändern zu verzeichnen, da die Bremsstrahlung vorwärtsgerichtet ist.

C Quellen

[1] DIN 6800-2, Entwurf vom Oktober 2016, Std Version 2.2