

Wasserphantom

BM6 DOSIMETRIE

27. Oktober 2017

Dozent: Prof. Dr. Gunter Christ

Medizinische Strahlenwissenschaften



Antonia Schlageter

1 WOZU DIENT DAS WASSERPHANTOM?

Ein Wasserphantom dient der Überprüfung der in der Strahlentherapie eingesetzten Elektronen-Linearbeschleuniger. Es soll dabei sichergestellt werden, dass die am Therapiegerät für einen bestimmten Punkt im Raum (Körper bzw. Wasserphantom) eingestellte und gemäß Bestrahlungsplanung vorgesehene Strahlungsleistung dort auch in genau dieser Stärke auftritt. Der mit destilliertem Wasser gefüllte Plexiglasbehälter wird dabei stellvertretend für lebendes Gewebe verwendet. Die Durchgängigkeit für ionisierende Strahlung für Wasser ist vergleichbar der von menschlichem Gewebe. Zur Verifizierung und Kontrolle der Messgenauigkeit des Linearbeschleunigers werden Messungen der Tiefendosisverläufe und Querprofile erstellt.

2 WASSERPHANTOM IM UNIKLINIKUM TÜBINGEN

In Deutschland werden Wasserphantome von zwei Herstellern angeboten; IBA Dosimetry in Schwarzenbruck und PTW in Freiburg. Das im Rahmen des Praktikums zum Einsatz kommende Wasserphantom MP3 der Firma PTW, Freiburg, hat die Größe 73cm x 64cm x 52cm, die Wände aus Plexiglas sind 2 cm dick. Für die Positioniergenauigkeit wird von der Firma der Wert von 0,1mm angegeben. Die Apparatur steht auf drei schwarzen Drehrädchen, die in ihrer Höhe verstellbar sind und beliebig ausgerichtet werden können. Weiter steht das in vollem Zustand etwa 220 Liter umfassende Phantom auf einem Hubwagen und kann in der Höhe variiert werden. Von einem separaten Wassertank führt einen Schlauch zum Phantom, wodurch dieses befüllt und entleert wird. Um Algenbildung zu vermeiden, wird destilliertes, entmineralisiertes Wasser benutzt, von der Firma PTW wird sogar das Beimischen eines zusätzlichen Korrosionsschutzes empfohlen.

Im Wasser ist ein fahrbares Dosimeter angebracht, das über ein Handschalter gesteuert und zu Beginn der Messung entsprechend ausgerichtet wird. Es kann entlang von drei Schienen/ Achsen beliebig platziert werden.

3 MESSUNGEN AM WASSERPHANTOM

Ziel des Praktikums war es, den Aufbau des Wasserphantoms vorzuführen und erste Messungen zur Aufzeichnung vom Querprofil und Tiefendosisverlauf des Photonenstrahls durchzuführen.

Einschalten des Linacs:

Hierzu wird zunächst der Linac im Schaltraum eingeschaltet, wie es eine Woche zuvor besprochen worden ist. Als nächstes wird das Wasserphantom aufgebaut.

Vorbereitung und Aufbau des Wasserphantoms

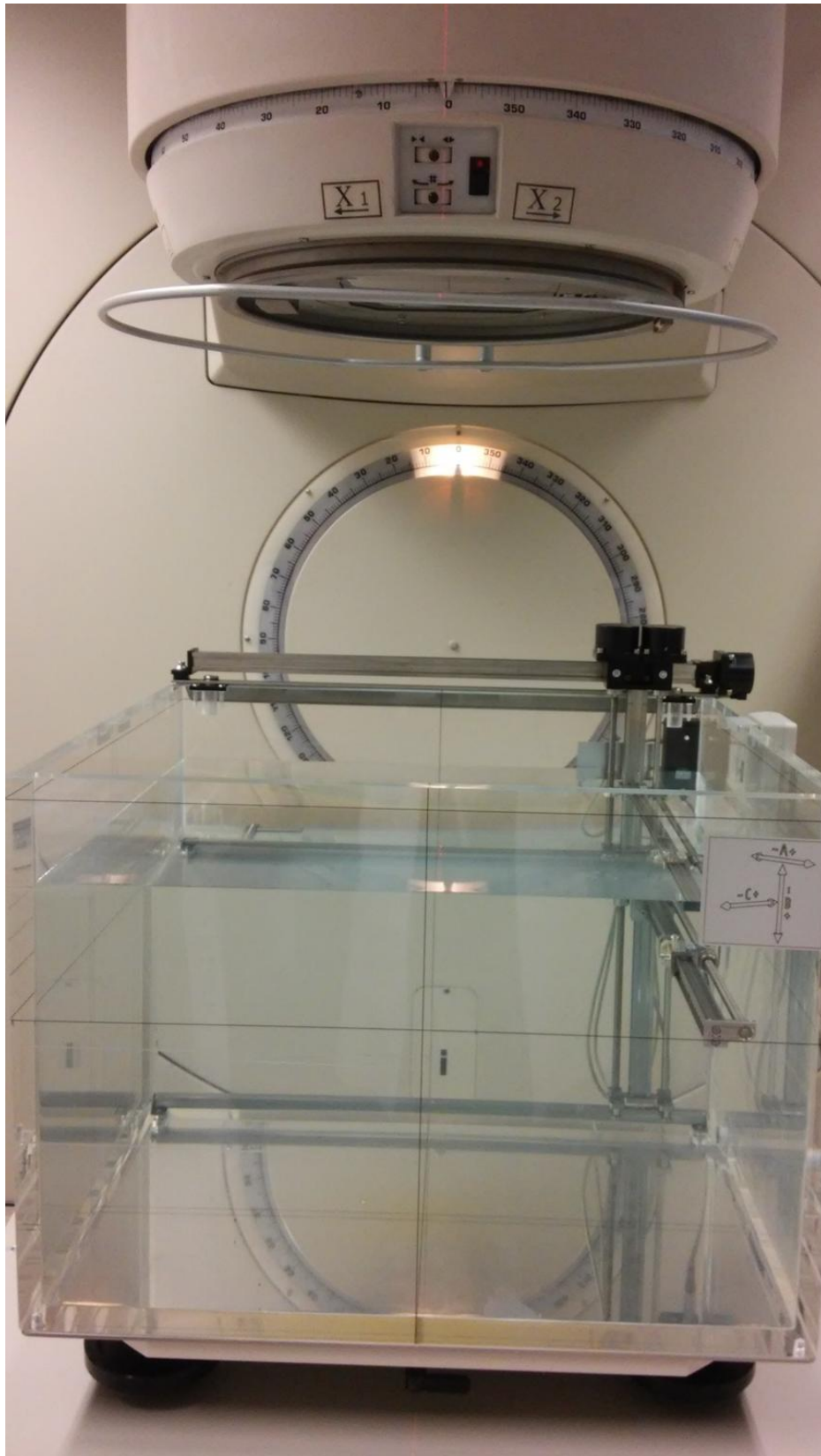


Abbildung 1 Wasserphantom im Zentralstrahl des Linearbeschleunigers

Ausrichtung des Hubwagens:

Zu Beginn wird der unter dem Strahlerkopf stehende Patiententisch zur Seite geschoben (befindet sich der Linearbeschleuniger in Patientenbetrieb wird der Tisch um 90° rotiert), um

dort den Hubwagen mit dem Wasserphantom mittig unter dem Strahlenkopf abzustellen. Es werden die Bremsen des Hubwagens gedrückt.

Einstellung am Linearbeschleuniger:

Es werden nun einige Einstellungen am Computer im Bestrahlungs-Raum vorgenommen. Dazu wie in der Abbildung folgende Symbole klicken.

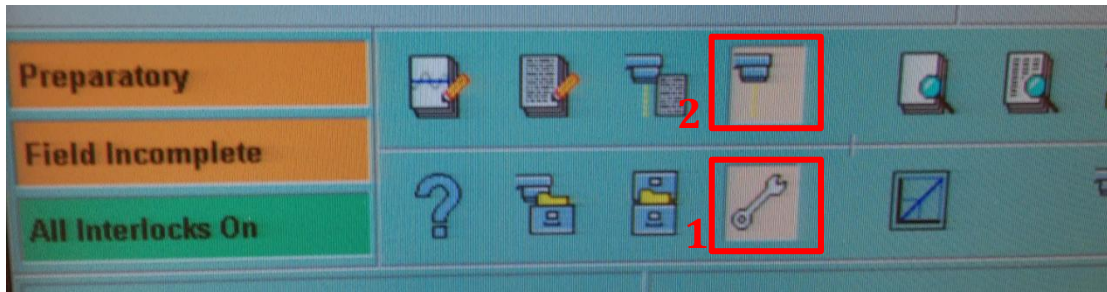


Abbildung 2 Einstellungen des Linearbeschleunigers

Einzustellen ist zudem:

- Strahlenart → **X-Ray** (für Photonen)
- Energie → **6 MeV**
- Wedge: Keilfilter → **Out**

Um das Lichtfeld einzustellen wird der Reiter auf **MLC** umgestellt und nun das Feld gewählt - **Backup Diaphragms (10x10)**

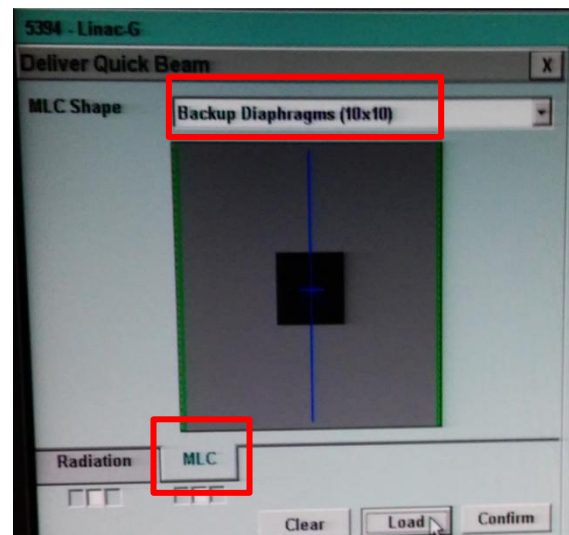


Abbildung 3 Einstellung des Lichtfelds mit der Feldgröße 10x10 cm

Ausrichtung des Lichtfelds:

Zunächst ist wichtig sicherzustellen, dass der Kollimator und die Gantry auf 0° gestellt wird! Dieser Winkel kann über die Handschalter des Linearbeschleunigers eingestellt werden. Die korrekt eingestellte Winkelposition bedeuten nicht zwangsläufig, dass der Strahl tatsächlich vertikal aus dem Strahlerkopf austritt. Deshalb sollte die Position der Gantry zusätzlich über eine Hochpräzisions-Wasserwaage kontrolliert werden.

5394 - Linac-G				Service		27-Oct-17		11:46:43	
148	Gant ctrl	0.00	-0.04	70	Gantry			0.0	
149	D.rot ctrl	0.00	0.04	75	D.Rot.			0.0	

Abbildung 4 Einstellen der Gantry- und Kollimatorwinkel auf 0°

Um nun das erscheinende rechteckige Lichtfeld im Fadenkreuz auszurichten, werden die roten Raum-Laserlinien eingeschaltet. Damit der Kontrast besser zu erkennen ist, kann das Raumlicht ausgeschaltet werden. Der Hubwagen kann nun verschoben werden, oder das Wasserphantom durch lösen der seitlich am Phantom gelegenen Kurbeln um den Mittelpunkt rotiert werden. Anschließend werden die Bremsen des Hubwagens aktiviert. Dieser Vorgang wird noch in ungefülltem Zustand des Phantoms durchgeführt.

Befüllen des Phantoms:

Als nächstes wird über einen Schlauch das Wasserphantom mit dem Wassertank verbunden, um dieses zu befüllen. Anschließend werden das Wasserreservoir und das Wasserphantom mit Spannung versorgt. Um nun das Wasser zu pumpen wird der Knopf „Reservoir“ > Water Tank“ gedrückt. Bevor es zur Blasenbildung infolge eines leeren Tanks kommt, wird die Wasserpumpe ausgeschaltet, wozu **OFF** gedrückt wird.



Abbildung 5 Schaltvorrichtung des Wassertanks

Justieren des Wasserphantoms:

Erneut wird mit Hilfe der hochauflösenden Wasserwage die Oberfläche des Wasserphantoms durch Verstellen der schwarzen Füße (auf dem das Phantom steht) in ebene Form gebracht.

Dazu wird die Wasserwage zunächst auf die Plexiglasoberkante gestellt, unter der sich zwei der drei Füße befinden (Wand mit Kleber rechts oben in der Ecke). Durch Drehen des rechten Rädchens (unter dem Achsen-Richtungs-Aufkleber) wird nun die erste Oberfläche eingestellt.

Als nächstes wird die Wage auf die Kante (die zum Ausgang zeigt) gestellt. Wieder wird die Oberfläche durch Drehen am linken, einzelnen Fuß eingestellt. Die vier Oberflächen sollten nun eben sein, was durch Auflegen der Wasserwage überprüft werden kann.



Abbildung 6 Justieren des Wasserphantoms über die drei schwarzen Füße und der Wasserwage

Einstellung der A-B-C Achsen des Wasserphantoms:

Es werden im Folgenden die Referenzpunkte, die Limitpunkte und der Nullpunkt im Wasserphantom eingestellt.

rote Taste:

- wird gedrückt, wenn der Schrittmotor halten soll
- muss zusammen mit der Bewegungsrichtung gedrückt werden, wenn über die (vor)eingestellten Limits hinaus gefahren werden wird

Referenzpunkt:

Referenzpunkte sind durch kleine Kerben an der Bewegungsmechanik in A-, B- und C-Richtung gekennzeichnet. Diese werden vor der ersten Messung angefahren, so dass man sie noch sehen kann, und eiprogrammiert. (REF → F2 (=Set „drücken“))

Mit GO TO REF gelangt man zur Position des eingestellten Referenzpunktes. Stimmen die angefahrenen Referenzpunkte nicht mehr mit den Marken an der Bewegungsmechanik überein, müssen die Referenzpunkte erneut programmiert werden.

Limitpunkte:

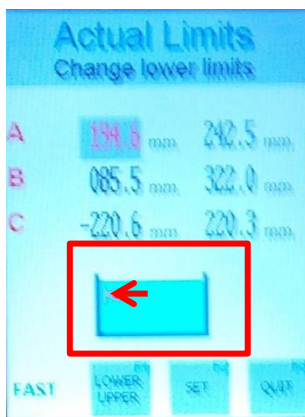


Abbildung 7
Handschaldgerät -
Einstellen des
Referenzpunkts und der
Limitpunkte

Limitpunkte werden gesetzt, um zu verhindern, dass die empfindliche Sonde gegen die Plexiglaswand fährt. Dazu wird für jeden der drei Achsen ein oberer und unterer Limitpunkt festgelegt. Wird später über den Limitpunkt hinaus gefahren, erscheint der Positionswert in roter Schrift. Zusätzlich muss die rote Taste gleichzeitig gedrückt werden, damit in diesem Bereich die Mechanik bewegt werden kann.

Im Bildschirm des Handschaltgeräts erscheint ein Wasserbecken mit einem roten Pfeil nach links oder rechts. Zeigt der Pfeil nach links, wird das untere Limit (kleinere Zahl), zeigt der Pfeil nach rechts, wird das obere Limit festgelegt. Zeigt der Pfeil in die falsche Richtung, kann dieser über F1 gewechselt werden. Sind diese Einstellungen korrekt und der gewünschte Punkt angefahren wird F2 (Set) gedrückt. Über F3 gelangt man zurück ins „Hauptmenü“.

Ionisationskammern:

Es wird nun die Ionisationskammer „Semiflex Typ 31010“ an das Tandem-Messgerät angeschlossen.

Bevor die Ionisationskammer auf der Bewegungsmechanik angebracht werden kann, wird zunächst die entsprechende Halterung des TRUFIX Systems (aus dem schwarzen Kofferchen) gewählt und an der Bewegungsmechanik befestigt. Zudem wird an die Halterung eine Einschubhülse angebracht, um die Kammer möglichst exakt in ihrem effektiven Messpunkt auf der Halterung zu fixieren (im Kofferchen befindet sich ein Zettel, auf dem abgelesen werden kann, welche Aufsätze zu verwenden sind).

Die Zylinderkammer kann nun an der Bewegungsmechanik angebracht werden (weiße Schraube zudrehen), wozu zuvor der Kappenschutz auf deren ihrer Spitze entfernt (an Alu festhalten, nicht an Gummi!) worden ist.

Nach Befestigen der Kammer auf der Halterung muss die Einschubhülse zur korrekten Einstellung des effektiven Messpunktes ebenso wieder entfernt werden. Die Zylinderkammer befindet sich so später mit ihrem effektiven Messpunkt in der Mitte vom Strahlenfeld.

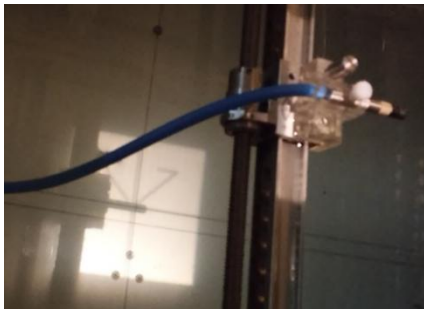


Abbildung 8 Ausrichtung der Zylinderkammer im 10x10cm Lichtfeld

Im nächsten Schritt wird die Bewegungsmechanik so verschoben, dass sich die Zylinderkammer in der Mitte vom Strahlenfeld befindet. (Dazu wird am besten das Raumlicht ausgeschaltet und man orientiert sich am Schattenbild der Kammer)

Nachdem die Zylinderkammer in den Zentralstrahl verschoben worden ist, wird die Ionisierungskammer mittig der Wasseroberfläche verschoben. Dazu schaut man am besten von unten durch das Phantom und bewegt die Kammer solange, bis die Zylinderkammer-Spitze nicht mehr oval verzehrt ist, sondern eine Kugel bildet.

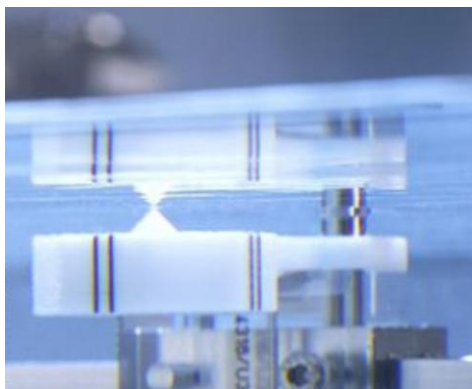


Abbildung 9 Positionierungssystem zum Einstellen des effektiven Messpunkts

Zur Kontrolle der Position wird die Zylinderkammer wieder abgenommen, um das TRUFIX-Detektor-Positionierungssystem draufzusetzen.

Das Positionierungssystem gibt den effektiven Messpunkt für die Kammer vor.

Die Spitze des Positionierungssystems berührt genau die Wasseroberfläche. Somit sind im Grunde „zwei“ Spitzen zu sehen – die echte Spitze unter Wasser und die gespiegelte Spitze (Abbildung 9). Diese beiden Spitzen sollen sich exakt berühren.

(Bei Messungen innerhalb zwei Stunden sinkt der Wasserspiegel durch Verdunstung um 2/10. Wird das Wasser nicht wieder nachgefüllt, sollen sich die Spitzen des Positionierungssystems bei der Einstellung dann nicht berühren, der Wasserspiegel wird also um 1/10 zu hoch eingestellt. Wird die Ionisationskammer nach diesen zwei Stunden eingesetzt, sollte sie sich dann etwa 2/3 unter der Wasseroberfläche befinden)

Ist diese Position bestimmt, wird nun der **Nullpunkt** gesetzt. Im Handschaltgerät dazu **Zero** drücken. Die drei Achsenpositionen werden nun auf Null gesetzt.

Es kann nun auch geprüft werden, ob sich die Mechanik parallel zur Wasseroberfläche befindet und die vorigen Einstellungen korrekt gewählt worden sind. Das Spiegelbild muss für jeden Punkt im Wasserphantom korrekt sein. Ist dies nicht der Fall, kann mit den drei Rädchen nachjustiert werden (oft wird das hintere, einzelne Rädchen zum Ausgleich um eine $\frac{1}{4}$ Umdrehung nach rechts gedreht – das zeigt die Erfahrung).



Abbildung 10 FOA wird auf 100 cm festgelegt

Als letztes wird der FO-Abstand (Fokus-Oberfläche-Abstand, im Falle eines Patienten Fokus-Haut-Abstand) auf 100 cm festgelegt (Fokus des Isozentrums (=Schnittpunkt des Zentralstrahles mit der Rotationsachse des Bestrahlungsgerätes und der Drehachse des Bestrahlungstisches)). Dazu wird die Skala über den Handschalter des Linacs eingeschaltet und ein weißes Blatt auf die Wasseroberfläche gelegt. Der Hubwagentisch wird nun nach unten oder oben gefahren.



Abbildung 11 Referenzsonde am Rand des Strahlenfeldes

Referenzsonde

Es wird nun an eine Halterung am Wasserphantom eine zusätzliche Mess- und Referenzsonde angebracht. Die Referenzkammer wird lediglich am Rande des 10x10 cm² Strahlenfeldes positioniert (Abbildung 11). Sie wird nahe der Zylinderkammer positioniert, so, dass sie diese nicht allzu sehr durch ihre Streustrahlung beeinflusst. Die Referenzsonde befindet sich komplett in einer Plexiglashülle.

Zuletzt wird der TANDEM Dual-Channel Elektrometer eingestellt (Abbildung 12).

Für die Ionisationskammer und die Referenzkammer werden jeweils 400 V ausgewählt.



Abbildung 12 PTW TANDEM Dual-Channel Elektrometer

Die Vorbereitungen für die Messungen mit dem Wasserphantom sind nun abgeschlossen.

In der Regel kann man für Messungen mit dem Wasserphantom an einem anderen Tag die Einstellungen der Referenzpunkte und der Limits übernehmen, den Nullpunkt wählt man jedoch immer neu.

Im Schaltraum:

HT-Wert eintragen:

Im nächsten Schritt wird der HT-Wert aus dem Linac-Rechner (links) abgelesen und in die Excel-Tabelle eingetragen (rechts).

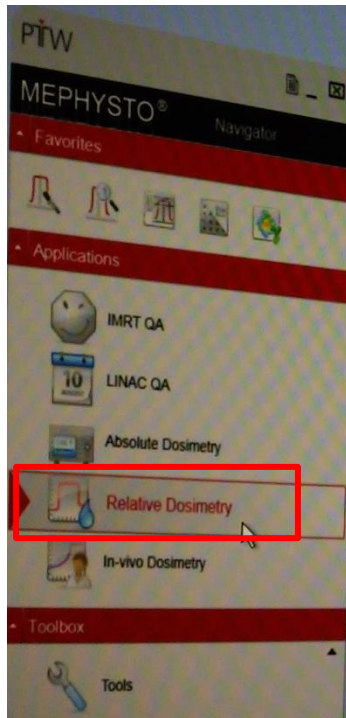


Abbildung 13 MEPHYSTO-Software-Oberfläche

MEPHYSTO-Software starten:

Es wird nun die MEPHYSTO-Software gestartet und [Relative Dosimetry](#), zur Messung der relativen Dosisverteilung gewählt.



Abbildung 14 Relative Dosimetry

Messung des Querprofils in zwei verschiedenen Tiefen

Zur Messung des Querprofils in zwei verschiedenen Tiefen wird [Check of Beam Center](#) gedrückt.

Einstellungen:

MEPHYSTO

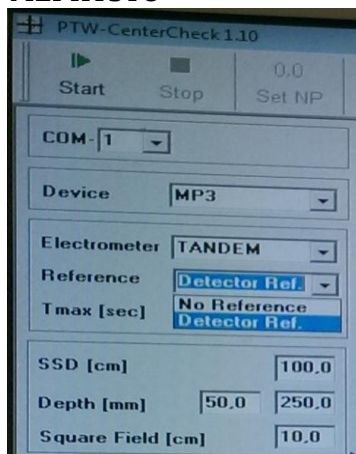
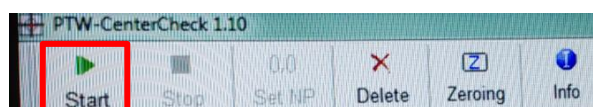


Abbildung 15 Einstellungen in MEPHYSTO

Folgenden Messwerte (Abbildung 15) werden für das erste Tiefendosisprofil eingestellt:

Sind die Einstellungen vorgenommen, kann auf den [Startknopf](#) gedrückt werden.



Linac-Rechner

Parallel werden am PC für den Linac-Rechner folgende Einstellungen (Abbildung 16) vorgenommen:

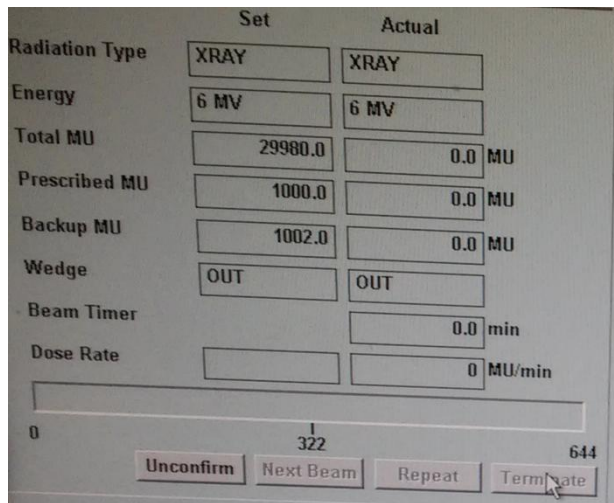
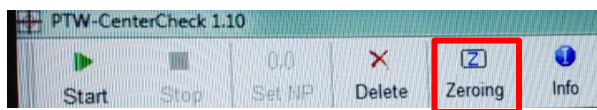


Abbildung 16 Einstellungen am Linac-Rechner

→ **Interlock 8** wählen (damit die Strahlung nicht automatisch mit Erreichen einer gewissen Dosis ausgeschaltet wird)



Bevor nun gestrahlt werden kann, wird auf **load** → **confirm** → gedrückt. Im Anschluss wird am MEPHYSTO-PC ein Nullabgleich durchgeführt. Dazu **Zeroing** klicken. Nun kann durch Drücken des **grünen MV-Knopfs** gestrahlt werden.

→ bei der MEPHYSTO-Software **Start** drücken

Aufzeichnung der Kurve:

Auswahl der Messzeit:

Alle 0,3 Sekunden wird ein Messwert aufgenommen, die Position wird anschließend verändert und erneut ein Messwert aufgezeichnet, etc.; später wird die Messzeit auf 1 Sekunde erhöht (bessere Messergebnisse ergeben sich bei längeren Messzeiten)



Abbildung 17
Abweichung des
eingestellten Nullpunkts
vom gemessenen
Nullpunkt

Die Werte aus A (Zero point at 50mm und Zero point at 150mm) sollten möglichst übereinstimmen. In unserer Messung weicht der gemessene Nullpunkt (Werte aus Abbildung 18) minimal vom eingestellten Nullpunkt ab. Durch Drücken von → **Set NP** wird der Nullpunkt neu gesetzt. Die Messung wird zum Testen wiederholt. Den grünen Strahlknopf des Linacs betätigen

→ Die oberen vier Werte (50mm und 150mm) sollen sich verbessern

Vergleich der beiden Kurvenverläufe in unterschiedlicher Tiefe

Der Kurvenverlauf des Querprofils ähnelt einer abgerundeten Rechteckfunktion. In der Mitte der Funktion ist die Kurve etwas abgesunken. Im Idealfall ist die Kurve achsensymmetrisch.

Die Kurve für die tiefergelegene Messung ist breiter, aufgrund des Streuvorgangs und der Strahldivergenz bei größerer Dicke des Materials, und flacher wegen der Schwächung Photonen.

Water Tank Scan:

MEPHYSTO-Software → Relative Dosimetry → Water Tank Scan



den **Linac-Reiter** wählen, die gewählten Einstellungen sind der Abbildung 18 zu entnehmen:

- links oben im Feld auswählen, wie das Wasserphantom aufgebaut worden ist – ABC Richtungen
festlegen mit Blick auf den Linac
- die weiteren gewählten Einstellungen können dem Bild entnommen werden.

SSD (Source Surface Distance)

SID (Source Isocenter Distance)

Abbildung 18 MEPHYSTO-Software-Einstellungen:
Water Tank Scan

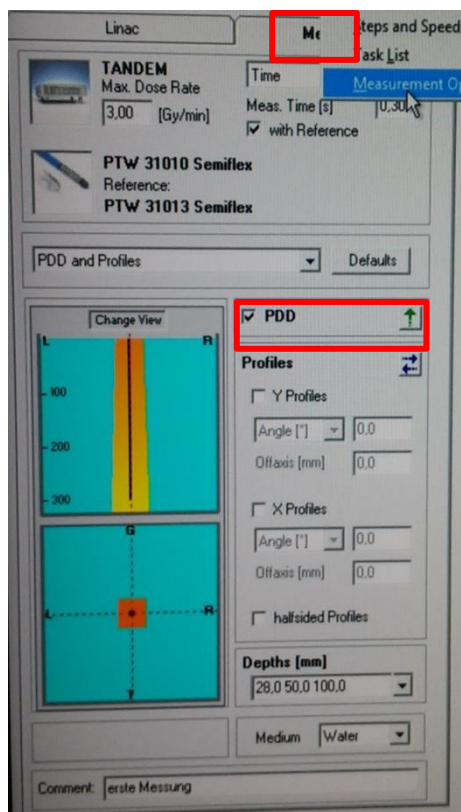


Abbildung 19 MEPHYSTO-Software-Einstellungen: Water Tank Scan

den **Measurement-Reiter** wählen, die gewählten Einstellungen sind der Abbildung 19 zu entnehmen:

- PDD (percent deep dose):

→ der Pfeil muss immer nach oben zeigen!

Tiefendosisverlauf wird von unten nach oben aufgezeichnet, da anderenfalls Verzerrungen aufgrund der Oberflächenspannung (Wasser wird eingezogen) auftreten können.

Über **Tools** → **Step and Speeds...** kann die Schrittweite der Messung eingestellt werden. Im Praktikum haben wir und für 0-50mm in 10mm Schritten, 50-150mm in 20mm Schritten und 150-999mm in 50mm Schritten entschieden.

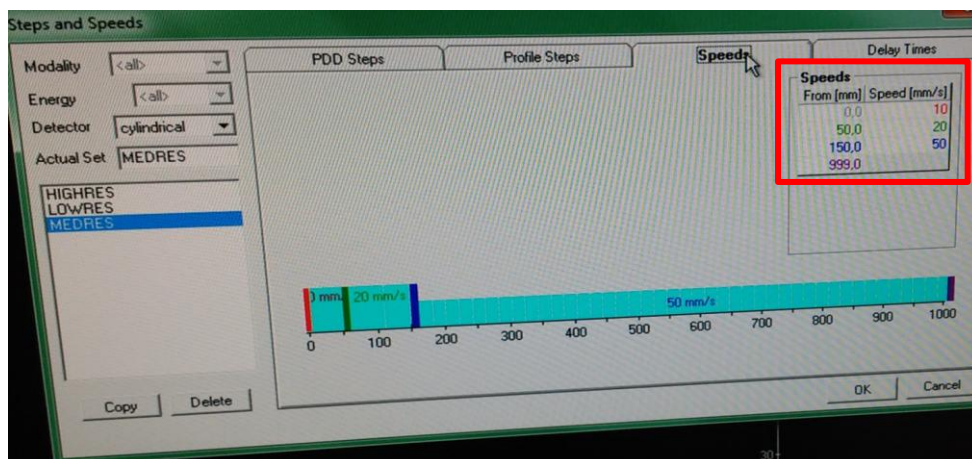


Abbildung 20 Bestimmung der Schrittweite der Messung

Speeds: Angabe über die Messgeschwindigkeit

Delay Time: Verzögerungszeit einstellen, um Wasserschwingungen auszugleichen

→ Start (MEPHYSTO-Software) → Strahlungsknopf drücken (Linac)

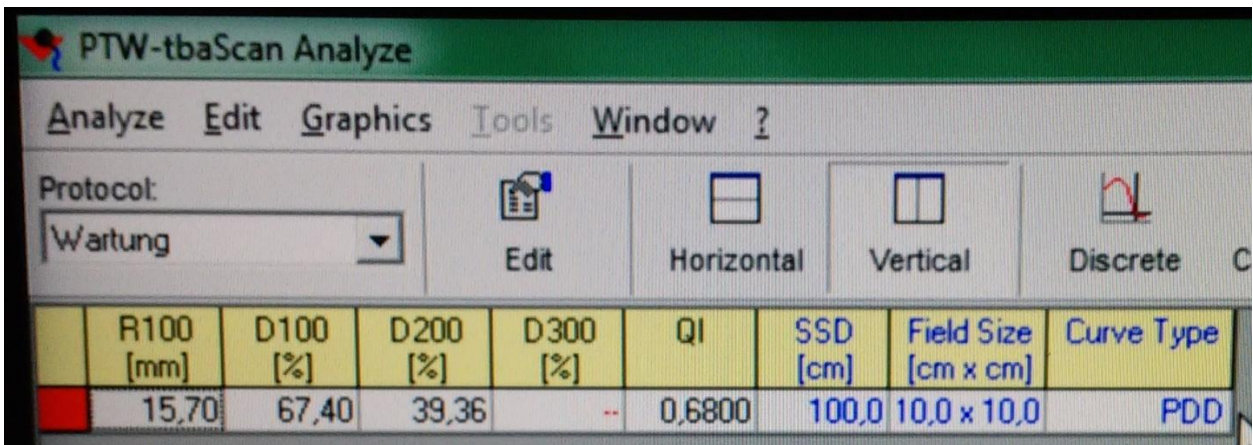
Bei den ersten Messungen des Tiefendosisverlaufs werden unschöne Kurvenverläufe aufgezeichnet. Dies ist auf starke Schwankungen der Dosisleistung des Linacs zurückzuführen. Um die Kurve zu glätten wird eine zweite Kammer beim Wasserphantom aufgebaut um eine Parallelmessung zu machen. Schwankungen werden durch den Vergleich (Quotient aus beiden Messwerten) beider Messwerte rausgekürzt.

Anschließen einer zweiten Messsonde:

Die Halterung mit der Messkammer wird am Plexiglas befestigt. Sie wird nahe der Zylinderkammer positioniert, so, dass sie diese nicht allzu sehr durch ihre Streustrahlung beeinflusst.

→ eine neue Messung des Tiefendosisverlaufs ergibt nun einen schönen glatten Kurvenverlauf

Analyse des Kurvenverlaufs der Tiefendosiskurve:



	R100 [mm]	D100 [%]	D200 [%]	D300 [%]	QI	SSD [cm]	Field Size [cm x cm]	Curve Type
	15,70	67,40	39,36	--	0,6800	100,0	10,0 x 10,0	PDD

Abbildung 11 Analyse des Kurvenverlaufs der Tiefendosiskurve

R100 = Reichweite, bei der er das Maximum erreicht hat (interpolierter Wert)

D100 = prozentualer Anteil der Dosis in 100 cm Tiefe

Anmerkungen und Tipps:

Ausrichtung des Hubwagens

- Zur Ausrichtung des Wasserphantoms wird der Hubwagen mittig unter den Strahlenkopf gefahren. Da sich unter dem Patiententisch in der Regel die Tischmechanik befindet, lastet nun eine große Masse (300-400kg) auf einer Bodenplatte um die Tischvorrichtung, die diese Mechanik bedeckt. Es ist darauf zu achten, dass diese Platte nachgeben/absinken kann und somit die Versuchsanordnung beeinträchtigen kann. Um dies zu verhindern kann das Phantom über zwei Eisenstangen positioniert werden. Zudem sollte man sich vor Messaufbau vergewissern, dass der Boden/ die Platte für eine solche Masse ausgelegt ist
- die Räder des Hubwagens sollen nach außen zeigen, damit die Bremsen besser betätigt werden können

Befüllen des Phantoms

- Abknicken des Schlauchs vermeiden. Der Durchfluss darf nicht gestört sein, damit ein kontinuierlicher Zu- und Ablauf des Wassers gewährt werden kann
- Zum Befestigen des Schlauchs am Wasserphantom muss zunächst der äußere „Ring“ zurückgezogen werden und mit Kraft gedrückt werden, um den Anschluss draufzustecken
- es ist darauf zu achten, dass der Tank rechtzeitig ausgeschalten wird - bevor es zur Blasenbildung kommt und das Wasser überschwappt

Ausrichtung des Lichtfelds:

- Zur exakten Ausrichtung des Hubtisches ins Fadenkreuz der Laser kann eine weiße Karte nützlich sein
- Ausrichtung des Fadenkreuzes der Laser noch bevor das Phantom mit Wasser befüllt worden ist
- Kabel dürfen nie über/um den Not-Aus –Schalter gelegt/gewickelt werden

Kammerdefekt:

- Wasserdichtigkeit: dringt Wasser in die Kammer, ist diese kaput
- Schläge der Kammer vermeiden: es können sich Fäden von der Graphitschicht lösen, die Strom-Kurzschlüsse verursachen können und so das Messergebnis verfälschen

Wassertemperatur des Phantoms:

- die Wassertemperatur des Phantoms sollte möglichst Raumtemperatur haben und keinen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein
- Wasser verdunstet: dabei nimmt das Wasservolumen ab, die Wasserhöhe kann in 2h bis zu 0,3 cm sinken. Zudem kann die Wassertemperatur bis zu 3° im Vergleich zur Umgebungstemperatur abnehmen
- bevor die Messung gestartet wird, sollte die Ionisationskammer ca. 2 Minuten im Wasser gewesen sein, damit sich diese der neuen Temperatur anpasst (Messfehler bis zu 1% bei Missachtung)

4 IONISATIONSKAMMER

Luft und andere Gase werden bei der Exposition in einem Strahlenfeld ionisiert, wobei Elektronen und positiv geladene Atomrümpfe entstehen. In Ionisationskammern werden diese Ionisationsladungen durch ein angelegtes elektrisches Feld voneinander getrennt und gesammelt. Luftgefüllte Ionisationskammern sind die wichtigsten Detektoren für die Strahlungsmessung und die klinische Dosimetrie. Deren Empfindlichkeit ist durch das Messvolumen der Kammer, das Gasgemisch (fast ausschließlich Luft) und des Druck des Füllgases (für die Ionisation zur Verfügung stehende Gasmasse) bestimmt. Ist die zu messende Dosisleistung beispielsweise gering, werden großvolumige Kammern mit Gasen höherer Ordnungszahl (Xenon oder Argon) verwendet (das sind dann jedoch keine luftgefüllten Ionisationskammern). Sind die Dosisleistungen höher, kann das Messvolumen verkleinert werden. Ionisationskammern sammeln ausschließlich die primär erzeugten Ladungen, wohingegen Proportionalzählrohre durch eine Erhöhung der angelegten Spannung und somit der elektrischen Feldstärke die Ladung beschleunigen, die dann weitere Ladungen im Füllgas erzeugen.

Zumeist wird Luft als Füllgas der Ionisationskammern verwendet. Neben der freien Verfügbarkeit hat es zudem den Vorteil, dass es dosimetrisch weitgehend äquivalent zu menschlichem Weichteilgewebe oder Wasser ist.

Wegen der freien Wählbarkeit von Kammerform und Kammervolumina, Füllgasen, Gasdrucken und Kammerspannungen sind luftgefüllte Ionisationskammern für nahezu beliebige Messaufgaben geeignet.

Funktionsweise:

Ionisationskammern bestehen aus einer mit Gas gefüllten Kammer und zwei parallel angeordneten metallischen Platten (das gilt für Parallelplattenkammern, auch Flachkammern genannt, während die Zylinderkammern eine Mittelelektrode besitzen und die grafitierte Innenseite des Zylinders die zweite Elektrode ist). Die Metallelektroden sind an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Durch die Wechselwirkung der einfallenden ionisierenden Strahlung mit dem Gas entstehen durch Ionisation primäre Elektron-Ionenpaare, positive und negative Ladungen. Infolge des angelegten elektrischen Feldes werden die Ladungen jeweils von der entgegengesetzt gepolten Messplatte gesammelt und in einem Strom- oder Ladungsmessgerät (A,C) nachgewiesen.

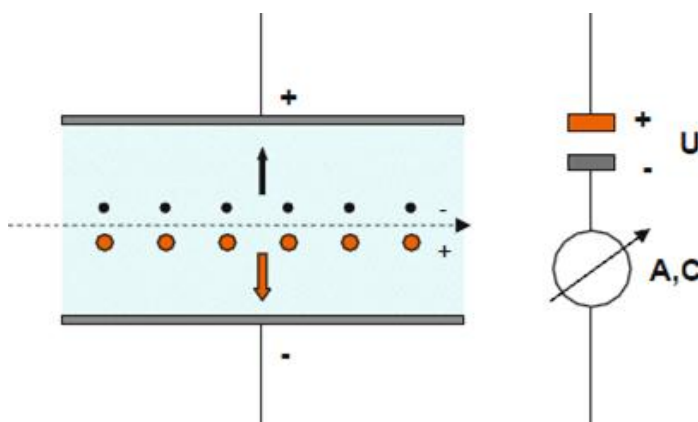


Abbildung 22 Prinzipieller Aufbau einer Ionisationskammer (Krieger, 2011, p. 27)

Im Praktikum wird die wasserdichte Flexible Kammer „Semiflex Typ 31010“ von PTW, besteht aus Graphit und einer Schutzhülle aus Acryl und Alu-Elektroden, verwendet. Sie umfasst ein Kammervolumen von 0,125 cm³, das ausreichend für eine präzise Dosismessung ist. Zudem kann

Je kleiner die Detektoren, desto exakter kann die Dosis in einem Punkt bestimmt werden. Sind die Detektoren unendlich klein, ist jedoch auch die im elektrischen Feld gesammelte Ladung unendlich klein, sodass keine Messung durchgeführt werden kann.

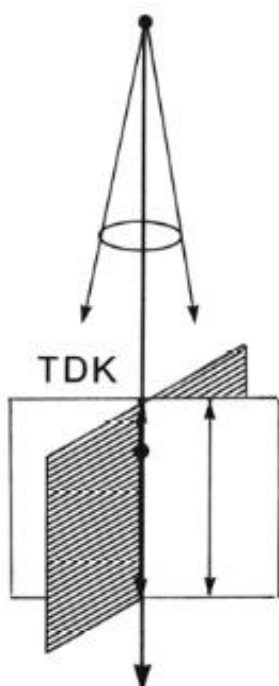
in der DIN 6800-2 definiert. In unserem Fall ist dieser Wert der halbe Kammerinnenradius r .

5 QUERPROFIL

**Abbildung 24 Darstellung
perkutaner Photonen-
Dosisverteilung durch
Dosisquerprofile (Krieger,
2011, p. 329)**

Abbildung 25 Kenngrößen von Querprofilen (Krieger, 2011, p. 415)

6 TIEFENDOSIS

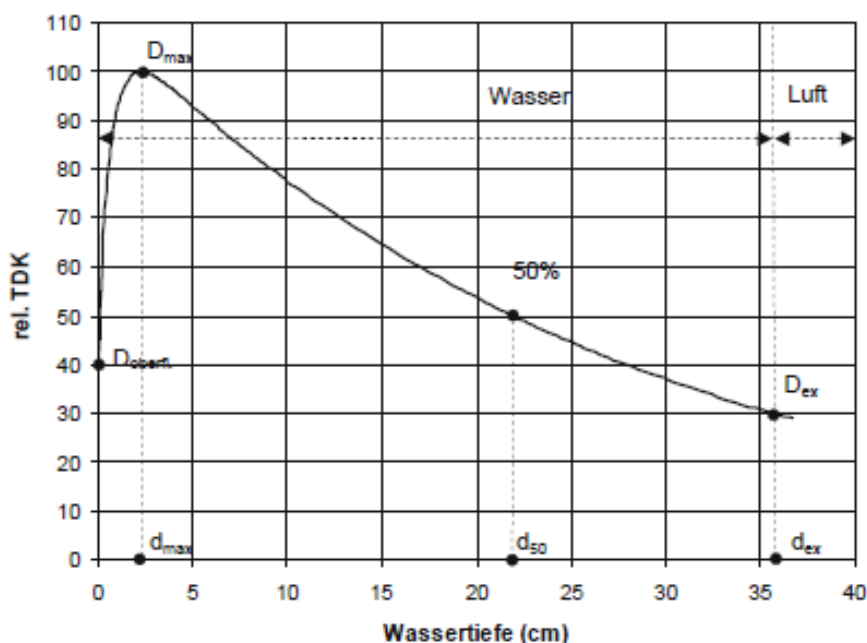


Tiefendosisverteilungen sind absolute oder auf einen Referenzpunkt normierte relative Energiedosisverteilungen.

Bis etwa 400kV befindet sich das Maximum der Energiedosis an der Oberfläche des Wasserphantoms und wandert mit zunehmender Energie infolge des Aufbaueffekts in die Tiefe. Zudem wird abhängig von der gewählten Energie die Absorption und Streuung der Photonenstrahlen in der Materie, und so der Verlauf der Tiefendosisverteilung beeinflusst. Diese hängt weiter auch von der Dichte und Ordnungszahl des durchstrahlten Mediums ab.

Der Fokus-Oberflächen-Abstand bestimmt über das Abstandsgesetz zusammen mit der Schwächung und Streuung der Photonen im durchstrahlten Medium die Abnahme der Dosisleistung in der Tiefe des Phantoms.

Abbildung 26 Darstellung perkutaner Photonen-Dosisverteilung durch Dosisquerschnitte (Krieger, 2011, p. 329)



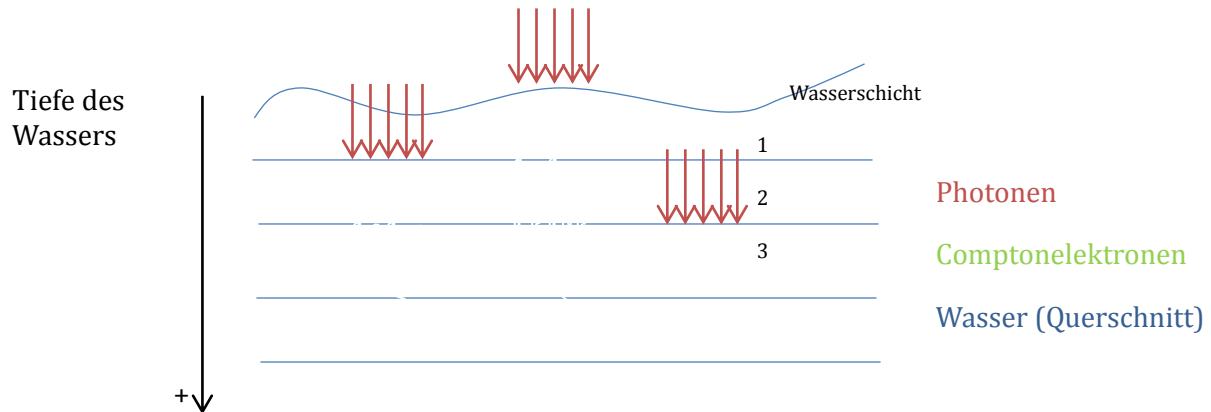
Die nebenstehende Abbildung 24 zeigt den typischen Verlauf der Tiefendosisverteilungskurve.

→ Verlauf und Form der Tiefendosisverteilungskurve sind von der Art und Energie der Strahlung, dem Quellabstand, der Gewebetiefe und Größe des Strahlenfeldes, dem Absorbermaterial und der Form des Photonspektrums abhängig.

Abbildung 27 Kenngrößen von perkutanen Tiefendosisverteilungskurven ultraharter Photonenstrahlung im Wasserphantom (Krieger, 2011, p. 376)

7 AUFBAUEFFEKT

Dass die Tiefendosiskurve zu Beginn ansteigt, ist dem sogenannten Aufbaueffekt geschuldet. Dieser entsteht durch den Aufbau der Sekundärelektronen.



Die ins Wasser treffenden Photonen wechselwirken nicht alle mit den Wassermolekülen der Wasseroberfläche. Manche Photonen tun das, manche wechselwirken mit etwas unter der Wasseroberfläche gelegenen Wassermolekülen und manche mit noch tiefer gelegenen Molekülen. Hierbei tritt Comptonstreuung auf wodurch sekundäre Elektronen werden erzeugt. Diese werden überwiegend in Vorwärtsrichtung gestreut (Je höher die Energie das Photon, desto eher wird das Elektron in Vorwärtsrichtung gestreut). Die Messkammer kann in den oberen Wasserschichten die Energie der entstandenen Comptonelektronen messen, die von Photonen, welche mit Wassermolekülen der oberen Wasserschicht in Wechselwirkung getreten sind, erzeugt worden sind (Schicht 1: Energie von 5 Sekundärteilchen, erzeugt durch Photonen). Befindet sich die Messkammer in der zweiten Wasserschicht, kann sie die Energie der in dieser Wassertiefe entstandenen Elektronen zusätzlich zu den in höher gelegenen Wasserschichten erzeugten Elektronen messen (Schicht 2: Energie von 10 Sekundärteilchen (erzeugt durch die Photonen), Schicht 3: Energie von 15 Sekundärteilchen (erzeugt durch die Photonen)). Die Dosis summiert sich somit bei steigender Tiefe, bis ein Dosismaximum erreicht wird. Hier ist Absorption und Sekundärteilchenerzeugung im Gleichgewicht. Ab dem Maximum sinkt die Dosis aufgrund vermehrter Absorption der Photonen (exponentielles Schwächungsgesetz und Abstandsgesetz). Bei Energien bis 100 kV Erzeugungsspannung lässt sich kein Aufbaueffekt erkennen, da der Energieübertrag auf Sekundärelektronen durch Compton-/Photoeffekt sehr gering ist. Zudem werden die gering energetischen Sekundärelektronen bevorzugt seitlich und nicht in Vorwärtsrichtung emittiert und ihre Reichweite ist sehr gering.

8 QUELLEN

Strahlungsmessung und Dosimetrie, Hanno Krieger, 2011, Vieweg+Teubner Verlag, Springer, Wiesbaden

http://www.ptw.de/fileadmin/data/download/catalogviewer/Radiation_Medicine_Cat_en_58721100_09/blaetterkatalog/index.html#page_38

http://www.ptw.de/fileadmin/data/download/catalogviewer/DETECTORS_Cat_en_16522900_10/blaetterkatalog/blaetterkatalog/pdf/save/bk_14.pdf