



Dosimetrie

Dozent: Dr. Dohm

Protokoll vom 25.10.2019

Aufbau und Messung des Wasserphantoms

Protokollantin: Teresa Büning

1. Der Kontrollraum

Im Kontrollraum stehen zwei Arbeitsplätze mit zwei Rechnern zur Verfügung, dem Messrechner und dem Steuerrechner. Verschiedene Programme zum Messen stehen auf dem Messrechner zur Verfügung. Messdaten im Excel-Format sollen in einem Unterordner des Ordners *Dosimetrie Wintersemester 19* für jeweils jeden Praktikumstag abgespeichert werden. Des Weiteren stehen zwei Elektrometer zur Verfügung. Mit dem Steuerrechner und dem *Function key pad* wird der Beschleuniger direkt gesteuert bzw. bedient. Um zu kontrollieren, dass sich während der Bestrahlung keine Personen im Beschleunigerraum befinden, sind Kameras im Raum installiert, deren Bilder man im Kontrollraum auf zwei Monitoren anschauen kann. Auf dem Whiteboard können Notizen und Erläuterungen dargestellt werden.

2. Strahlenschutzvorkehrungen und Strahlenschutzbereiche

Im Strahlenschutz werden verschiedene Strahlenschutzbereiche definiert. Diese setzen sich zusammen aus dem Überwachungsbereich, dem Kontrollbereich (bei mehr als 6 mSv pro Jahr) und dem Sperrbereich. Sobald ein Linearbeschleuniger mit mehr als 10 MV arbeitet, wird der Beschleunigerraum zum Kontrollbereich deklariert, der Bereich, in dem sich Personal und Patienten hauptsächlich aufhalten gehört zum Überwachungsbereich. Sobald der Linac in Betrieb ist wird der Beschleunigerraum zum Sperrbereich (3 mSv/h). Auf dem Betriebsgelände muss sichergestellt sein, dass die Bevölkerung maximal 1 mSv pro Jahr ausgesetzt ist.

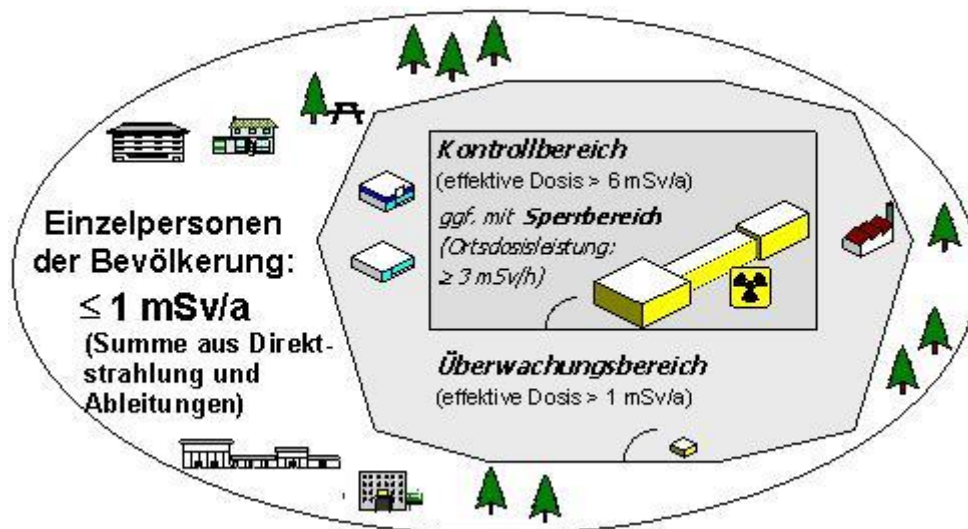


Abbildung 1: Strahlenschutzbereiche [1]

Streustrahlung kann z.B. mit bleihaltigen Türen, Wänden und Decken, sowie einem Labyrinth abgeschirmt werden. So kann der Strahlenschutz außerhalb des Beschleunigerraums gewährleistet werden. Eine Lüftung stellt sicher, dass die Raumluft regelmäßig mehrmals pro Stunde komplett ausgetauscht wird. Dies ist wichtig, da auch

die Raumluft ionisiert werden kann. Solange die grüne Kontrollleuchte leuchtet, ist die Lüftung im Betrieb. Bei Linacs über 6 MV muss von außen eine Warnanzeige vorhanden sein, falls die Lüftung ausfällt.

Um sicherzugehen, dass sich während der Bestrahlung keine Personen im Beschleunigerraum befinden, gibt es mehrere Möglichkeiten. Ist keine Personenschutzanlage vorhanden, muss die letzte Person, die den Raum verlässt kontrollieren, dass alle den Raum verlassen haben. Eine Personenschutzanlage sichert technisch, dass der Raum verlassen wurde. Dafür können Transponder, Radardetektoren oder moderne Videosysteme verwendet werden. Bei der Transpondertechnik wird registriert wie viele Personen den Raum betreten und wie viele diesen wieder verlassen. Zu Fehlern kann es kommen, wenn mehrere Personen direkt hintereinander den Raum betreten oder verlassen, da diese manchmal nicht gezählt werden.

Mittlerweile werden eher Radardetektoren, die scannen, ob Menschen im Raum sind oder moderne Videosysteme, die stereotaktisch absuchen, verwendet.

3. Handlungen im Notfall

Der Schutz von Menschen hat oberste Priorität. Wurde man trotz vorhandener Schutzmaßnahmen in den Sperrbereich eingeschlossen, ist einer der roten Not-Aus-Schalter an den Wänden zu drücken. Damit wird der Beschleuniger direkt ausgeschaltet. Der Not-Aus-Schalter an der Tür ist für den Notfall gedacht, dass eine Person in der Tür eingeklemmt ist und schaltet nicht den Beschleuniger aus. Allerdings kann dieser nicht bestrahlen, solange die Tür geöffnet ist. Die Tür hat einen „zu“- und einen „auf“-Knopf, wobei der „zu“-Knopf von innen nicht funktionieren darf, um die Gefahr des Einschließens zu verhindern.

4. Entstehung von Elektronen und Photonen im Beschleuniger

Ein wichtiger Bestandteil des Beschleunigers zur Erzeugung von Elektronen ist der Glaskolben mit der Glühwendel. Durch Glühemission entstehen die Elektronen, die dann im Beschleunigungsrohr beschleunigt werden. Außerdem gibt es ein Hochfrequenzsystem zur Erzeugung von Hochfrequenzen, sowie Magnete zur Umlenkung und ein Wolframtarget, zur Erzeugung von Photonenstrahlung. Blenden aus Wolfram können den Strahl formen. Die sogenannte Gantry mit dem Strahlerkopf lässt sich um den Tisch bzw. den Patienten drehen. Dabei kann diese sich einerseits von 0° bis 180°, andererseits von 0° bis -180° drehen. Ein volles Rotieren um 360° ist aufgrund der Elektronik nicht möglich. Die Elektronik des Linacs befindet sich im Technikraum. Um Personen zu schützen, die sich im Technikraum befinden, kann der Beschleuniger nicht gestartet werden, solange diese Tür geöffnet ist. Zwei Kameras im Raum senden Bilder des Bestrahlungsraums direkt in den Kontrollraum. Außerdem ist ein kugelförmiger Raumdetektor verbaut, der die Raumdosis detektiert. Der Beschleuniger kann nicht nur

über die Rechner im Kontrollraum, sondern auch im Beschleunigerraum selbst bedient werden. Das Starten des Beschleunigers ist dagegen nur aus dem Kontrollraum möglich.

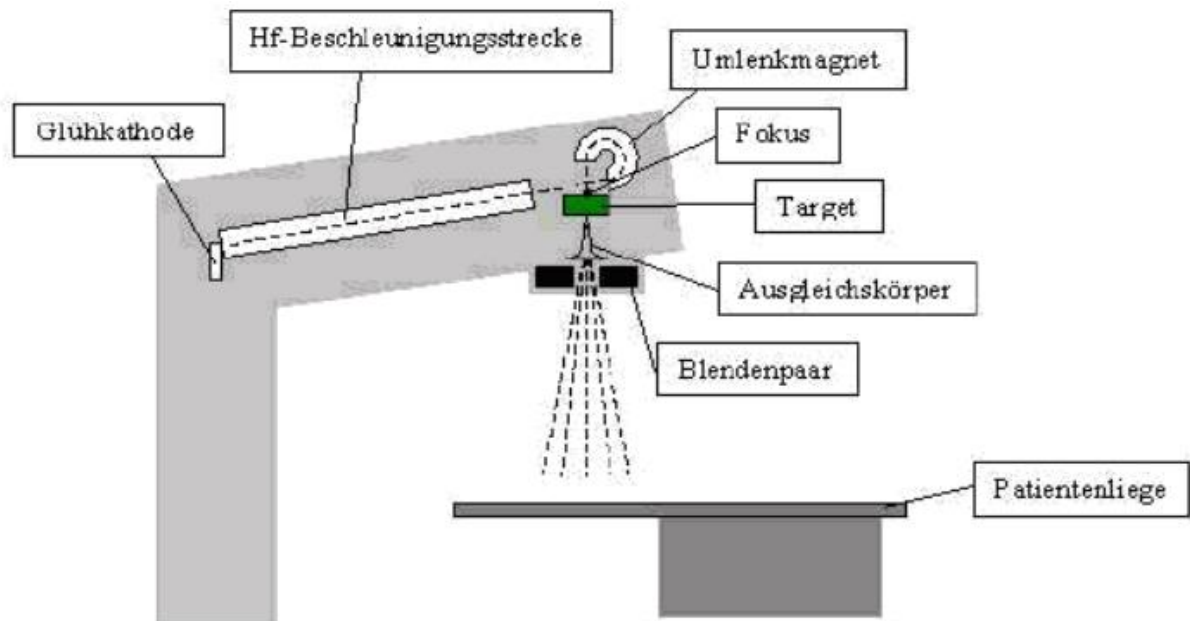


Abbildung 2: Aufbau eines Linearbeschleunigers zur Erzeugung von Elektronen- und Photonenstrahlung [2]

5. Aufbau und Ausrichtung des Wasserphantoms

Das Wasserphantom besteht aus einem Plexiglasquader, in dem eine Mechanik für den Detektor verbaut ist, auf einem fahrbaren Wagen. Das Phantom kann mit destilliertem Wasser aus einem Wassertank befüllt werden. Auf dem Plexiglas ist ein Fadenkreuz angebracht, um die Mitte des Quaders zu markieren. Der Wagen sollte so platziert sein, dass die Elektronik in Richtung der Wandanschlüsse ausgerichtet ist.

Mit dem Handschalter des Linacs können die Wandlaser eingeschaltet und das Fadenkreuz des Plexiglasquaders an diesen ausgerichtet werden. Nach dem Ausrichten sollten die Laser wieder ausgeschaltet und die Bremsen an den Rollen des Wagens festgestellt werden. Das Ausschalten der Laser ist wichtig, da das Risiko für Augenschädigungen durch das direkte Schauen in den Laserstrahl so minimiert wird. Um das Phantom daraufhin noch feiner justieren zu können, stehen 3 Einstellschrauben zur Verfügung. Dafür benutzt man zuerst die beiden Schrauben auf der einen und danach die einzelne Schraube auf der anderen Seite.

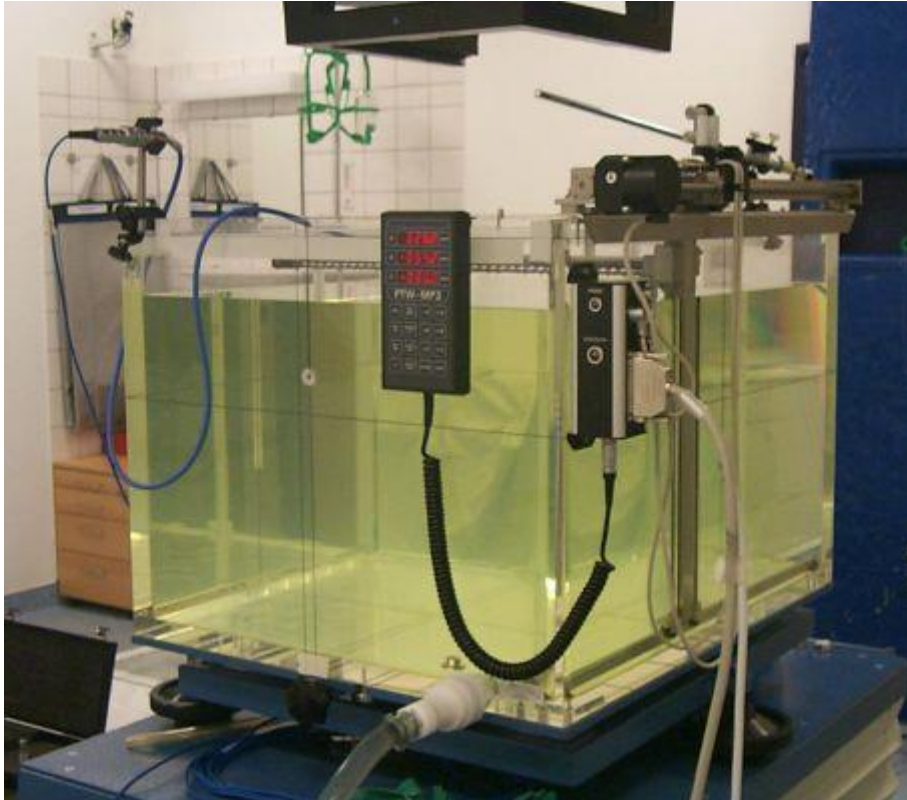


Abbildung 3: Beispielbild des Wasserphantoms mit Mechanik [3]

6. Anschließen des Phantoms

Ist das Phantom fertig justiert, muss es angeschlossen werden. Um das Wasser aus dem Wassertank in den Quader pumpen zu können, werden beide Behälter mit einem Wasserschlauch verbunden und die Pumpe angeschaltet. Sobald das Phantom gefüllt ist, wird der Wasserschlauch abgezogen, da es ansonsten zu Undichtigkeiten kommen kann. Dass der Wassertank leer ist merkt man daran, dass Luftblasen in das Phantom gepumpt werden. Spätestens dann sollte die Pumpe ausgeschaltet werden. Die blauen Kabel sind die Kabel für die Detektoren. Sie sind sehr empfindlich und sollten möglichst gerade verlegt werden. Zwei Steuerkabel für die Steuermechanik werden sowohl an das Phantom, als auch an die Steuerelektronik angeschlossen. Diese ist direkt mit dem Steuercomputer des Kontrollraums verbunden. Außerdem werden zwei Halterungen an der Öffnung des Plexiglasquaders befestigt, wobei in der einen die Messkammer, in der anderen die Referenzkammer arretiert wird. Die beiden Messkammern haben beide eine schwarze Graphitkappe mit einem Aluminiumdraht, aber unterschiedliche Volumina. Die Kammer mit dem größeren Volumen von $0,3 \text{ cm}^3$ wird als Referenzkammer verwendet, die kleinere mit $0,125 \text{ cm}^3$ als eigentliche Messkammer. Für beide Kammern gibt es verschiedene Grundhalterungen des Herstellers, aus denen man auswählen kann. Diese werden mit der Kappe auf die Messkammer gesteckt, festgeschraubt und die Kappe wieder abgezogen, sodass die Halterung an der Kammer bleibt. Dann können die Messkammern in den Halterungen des Phantoms befestigt werden.

7. Ausrichten der Mechanik

Um die Mechanik des Phantoms auszurichten, wird eine Einstellhilfe mit der Mechanik verschraubt. Diese besitzt auf der Oberseite ein Fadenkreuz und eine Spitze. Ziel ist es nun, dass die drei Fahrachsen parallel zur Wasseroberfläche liegen. Dafür werden zuerst die sogenannten Limitpunkte getestet. Das sind die Punkte, an denen die Steuerelektronik die Mechanik blockiert, sodass diese nicht an den Seiten anschlägt und kaputt geht. Dafür fährt man mit der Steuerelektronik auf allen drei Achsen die Einstellhilfe so weit, wie es möglich ist. Stoppt die Mechanik ab, war der Test erfolgreich. Als Nächstes wird die Parallelität der Mechanik zur Wasseroberfläche getestet. Bei der Ausrichtung des Phantoms sollten wieder zuerst die beiden Schrauben auf der einen Seite und erst danach die einzelne Schraube verstellt werden. Mit der Spitze auf der Einstellhilfe fährt man an einer Seite nun von unten an die Wasseroberfläche, sodass diese gerade so die Oberfläche berührt. Dies ist dann der Fall, wenn sich, von unten betrachtet, die Spiegelung der Spitze und die Spitze gerade berühren. Dann wird das Koordinatensystem auf 0 gestellt. Die Einstellhilfe wird daraufhin auf die gegenüberliegende Seite gefahren und der Abstand zur Wasseroberfläche abgelesen. Die Abweichung kann mit Hilfe der Schrauben am Phantom ausgeglichen werden. Dann kann die Einstellhilfe wieder zurück zum Nullpunkt gefahren werden und auch dort die Abweichung abgelesen und das Phantom nachjustiert werden. Dies wird solange, auch mit der anderen Achse, wiederholt, bis eine Abweichung von etwa 0,2 mm erreicht wird. Daraufhin werden wieder die Raumlaser angeschaltet und die Einstellhilfe zwischen die schwarzen Linien des Fadenkreuzes gefahren. Die Laser kann man gut mit einer weißen Karte darstellen, die man an die Einstellhilfe hält. Nun befindet sich die Mechanik genau in der Mitte des Phantoms, die Einstellhilfe kann entfernt und durch die Messsonde ersetzt werden.

Als Nächstes muss der Beschleuniger so justiert werden, dass er genau von 0° in das Wasser strahlt. Dafür wird eine Rahmenwasserwaage mit einer Genauigkeit von 0,3 mm/m an den Strahlerkopf gehalten und dieser so ausgerichtet, dass die Luftblase der Wasserwaage möglichst zentral im Fenster liegt. Die Gantry kann bewegt werden, indem man den Sicherheitsschalter an der Seite der Fernbedienung des Linacs drückt und mit dem Drehrad die Kippung der Gantry einstellt. Um den Fokus-Haut-Abstand (SSD) einzustellen, wird ein Stück Papier nass gemacht, und auf die Wasseroberfläche gelegt. Ein Fadenkreuz wird im Bestrahlungsfenster eingeblendet und die projizierte Skala auf dem Papier auf 100 cm eingestellt. Daraufhin kann der Raumlaser wieder eingeschaltet und die Höhe des Phantoms so verändert werden, dass der horizontale Laser genau auf der Oberfläche des Wassers liegt. Somit liegt die Wasseroberfläche genau im Isozentrum. Zum Schluss wird die Referenzkammer in der Luft noch so weit in das projizierte Feld geschoben, dass sie knapp am Rand des Feldes liegt. Damit sind der Aufbau und das Ausrichten des Wasserphantoms beendet und die Messung kann beginnen.

8. Durchführung der Messungen

Im Programm *Mephysto* wird unter *relative dosimetry* die *water tank scans* ausgewählt, um mit dem Wasserphantom arbeiten zu können. Unter dem Reiter *Linac* können verschiedene Parameter eingegeben werden, wie z.B. die Energie, die Strahlungsart (Photonen/Elektronen) und die Feldgröße. In diesem Fall wurde eine Feldgröße von 10 x 10 cm, eine Energie von 6 MV, eine SSD von 100 cm und eine Messzeit von 0,3 s gewählt. Unter *PPD and Profils* kann entschieden werden, was man messen möchte, beispielsweise die Tiefendosiskurve, wie in diesem Fall.

Auch auf der Bedienoberfläche des Linacs können verschiedene Parameter konfiguriert werden. Mit dem Schraubenschlüsselsymbol in der unteren Leiste wird mit *deliver quick beam* der Strahl konfiguriert. Mit *display service pages* in der oberen Leiste können die Parameter des Linacs verändert werden. Ist man mit den Einstellungen fertig, kann man mit dem Button *Load* die gewählten Parameter laden. Mit *MCL shapes: leaves and diaphragms* wurden in diesem Fall *XRAY, 6 MV* und kein Keilfilter gewählt und die Konfiguration mit *LOAD* und *confirm* bestätigt. Mit dem Schlüsselschalter-Symbol kann man die *Interlock Group* verändern. Mit dem grünen Knopf auf der Bedieneinheit des Linacs wird die Bestrahlung gestartet. Im Falle dieses Praktikums wurden zwei Profile in zwei Tiefen gemessen.

Alle Forschungsbestrahlungen werden im Bestrahlungsbuch protokolliert. Dafür werden Name, Messung, Dauer der Messung und der HT-Wert in eine Tabelle eingetragen. Der HT-Wert ist dabei ein Zähler, der zählt, wie viele Stunden Hochspannung anlag. Aus der Differenz aus Start- und Endwert wird die abgestrahlte Strahlung ermittelt.

Zuerst wurde mit dem sogenannte Querprofil die Justage des Phantoms kontrolliert. Das Querprofil zeigte die Dosisverteilung senkrecht im Zentralstrahl an. Für die erste Messung fuhr die Kammer in die Tiefe des Phantoms und fuhr dann langsam nach oben. Es entstand ein Graph, in dem man den sogenannten Aufbaueffekt erkennen konnte. Der Aufbaueffekt beruht auf dem Fakt, dass Photonen in unterschiedlichen Tiefen des Wassers wechselwirken. Die Sekundärelektronen haben allerdings alle die gleichen Eindringtiefen, weshalb es im Dosisverteilungsgraph einen Peak gibt und je tiefer man kommt die Kurve exponentiell fällt. Die Messungen sollten immer von unten nach oben durchgeführt werden, da die Sonde, wenn sie von oben nach unten fährt, von der Oberflächenspannung des Wassers abreißt und es dadurch zu Wellen im Graph kommt. Mit dem Messrechner konnte man über *analyze* die prozentualen Dosiswerte in bestimmten Tiefen des Phantoms und andere wichtige Größen bestimmen.

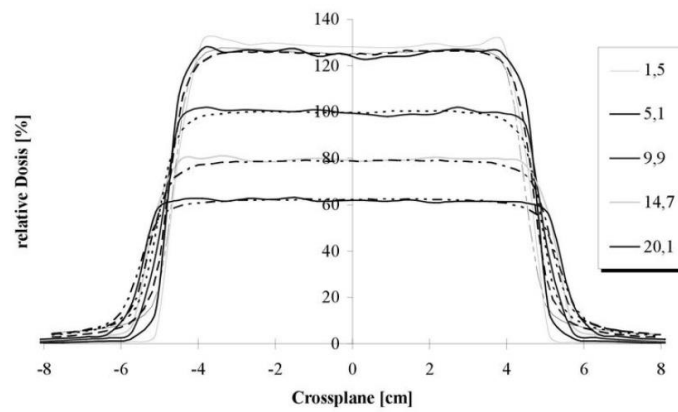


Abbildung 4: beispielhafte Darstellung von Querprofilen [4]

Die zweite Messung wurde mit der Referenzkammer durchgeführt und der Graph über *File* und *Add* zum Graph der ersten Messung dazu geladen. Somit konnten beide Graphen verglichen und als sehr ähnlich bewertet werden.

Schlussendlich konnte die Messung beendet und das Wasserphantom wieder abgebaut werden.

9. Aufbaueffekt

Der Aufbaueffekt tritt auf, sobald ionisierende Strahlung auf einen Absorber trifft, d.h. sobald Grenzflächen (z.B. Luft/Gewebe) involviert sind. Der Aufbaueffekt besagt, dass, sobald Photonenstrahlung in einen Absorber eindringt, die Energiedosis zuerst ansteigt. Dies kommt daher, dass durch die Compton-Streuung Sekundärelektronen emittiert werden, die nur eine geringe Reichweite haben. Bei größeren Energien werden die Sekundärelektronen immer stärker in Richtung des Nutzstrahlenbündels gestreut. Folglich tragen diese Elektronen zu einer hohen Dosis in geringen Absorbertiefen bei und ein Dosismaximum direkt unter der Oberfläche entsteht. Da die Elektronen eine geringe Reichweite haben und sie damit in der Tiefe immer weniger zur Dosis beitragen, sinkt die Tiefendosiskurve nach dem Maximum exponentiell ab, den Dosisbeitrag leisten die Photonen, da sie eine weitere Reichweite besitzen. In der Bestrahlungsplanung spielt der Aufbaueffekt eine große Rolle, da die Strahlung immer erst auf Luft und dann auf den Patienten trifft, sodass die Grenzfläche Luft/Gewebe entsteht.

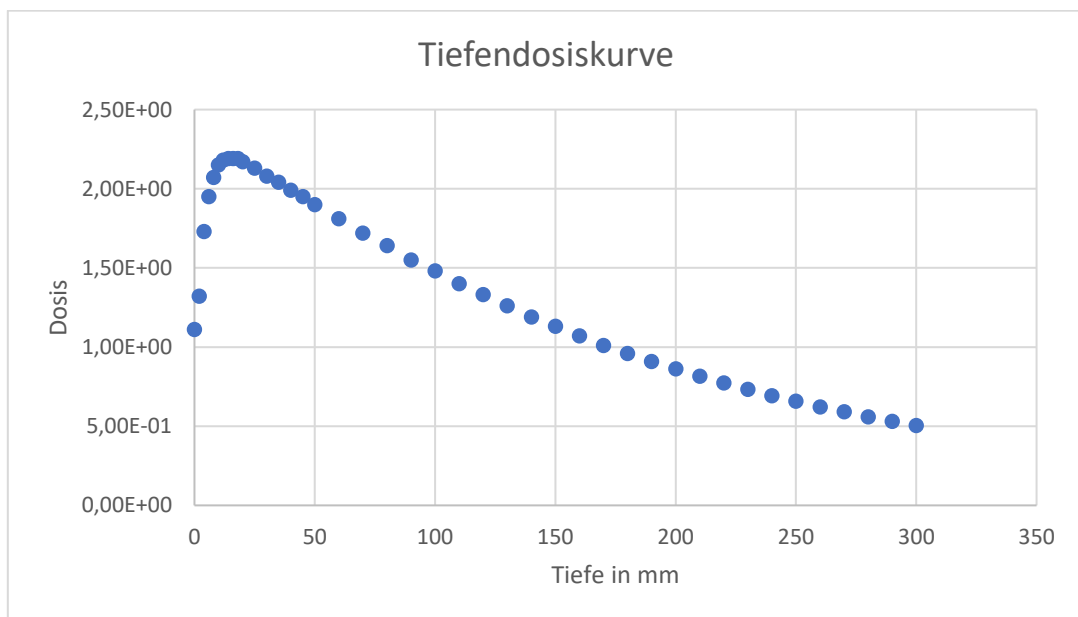


Abbildung 5: Tiefendosiskurve der gemessenen Werte

Quellen

- [1] [Online]. Available: https://www.fz-juelich.de/gs/DE/UeberUns/Organisation/S-G/Genehmigungen/Glossar/Functions/glossar.html?cms_lv2=1766026&cms_lv3=1322438.
[Zugriff am 31. 10. 2019]
- [2] [Online]. Available: <http://wwwa1.kph.uni-mainz.de/Vorlesungen/WS11/FP-Seminar/A1.pdf>
[Zugriff am 14. 11. 2019]
- [3] [Online]. Available: <https://www.bahnsen.de/stendal/rojks/raeume/index.htm> [Zugriff am 31. 10. 2019]
- [4] [Online]. Available: <https://docplayer.org/9275861-Monte-carlo-methoden-in-der-strahlentherapie-und-deren-verifikation-durch-3d-mr-gel-dosimetrie.html> [Zugriff am 05. 11. 2019]
- [5] E. Richter und T. Feyerabend, „Grundlagen der Strahlentherapie“ Heidelberg, Springer Verlag, 2002, pp. 37-43