
PROTOKOLL DOSIMETRIE

Praktikum 02.12.2016

8. DEZEMBER 2016

MAXIMILIAN KLIMT

INHALT

1	Einführende Bemerkung.....	2
2	Korrektionsfaktor	2
2.1	Luftdruck	2
2.2	Unvollständige Sättigung	3
2.3	Polarität der Kammerspannung	3
2.4	Strahlungsqualität.....	3
3	Elektronenstrahlung	4
3.1	Aufstreueffekt	4
3.2	Tiefendosisverlauf Elektronenstrahlung	5
3.3	Referenztiefe z_{ref}	6
4	Volumeneffekt und Dosisquerprofile	7
5	Feldgröße.....	8
6	Messtechnische Kontrolle.....	8
7	Unterschied: Mittlere Ionisierungsenergie – Ionisierungsenergie	9
8	Literaturverzeichnis	9

1 Einführende Bemerkung

Das vorliegende Protokoll bezieht sich auf die DIN-Norm 6800-2 und beinhaltet Ergänzungen und Erklärungen, welche während des Termins am 02.12.2016 besprochen wurden. Aus diesem Grund ist es für das Verständnis empfehlenswert, die oben genannte DIN-Norm zusätzlich zu betrachten.

2 Korrektionsfaktor

Vorab ist es essentiell, die Begriffe Korrektion und Korrektur von aufgenommen Messwerten zu unterscheiden. Die Korrektur beinhaltet die Beseitigung eines fehlerhaften Messwertes, sprich der Wert an sich ist fehlerbehaftet und muss mit einem richtigen Wert ersetzt werden. Die Korrektion hingegen gleicht den aufgenommenen Messwert mithilfe von sogenannten Korrektionsfaktoren in Bezug auf systematische Abweichungen aus und passt somit den Messwert an die vorliegenden Bedingungen an.

Deshalb ist es wichtig, dass ein Messgerät entweder eine unkorrigierte Anzeige ausgibt und man diese mithilfe der nötigen Korrektionsfaktoren ausgleicht oder falls eine korrigierte Anzeige des Messgerätes vorliegt, alle berücksichtigten Korrektionsfaktoren bekannt sind. Sind die Korrektionsfaktoren nicht bekannt oder ist nicht bekannt, ob diese in der korrigierten Anzeige mehrfach oder vielleicht gar nicht berücksichtigt wurden, kann dies zu Fehlern in der Auswertung der Werte führen.

Die Ergänzungen zu den jeweiligen Korrektionsfaktoren auf die im Folgenden weiter eingegangen wird, werden nicht nur bei alltäglichen Messungen benötigt, sondern auch schon zur Kalibrierung der Messgeräte, da auch bei der Kalibrierung keine sogenannten Bezugsbedingungen (Definition siehe DIN 6800-2, Begriffe: 3.3) für die einzelnen zu korrigierenden Bedingungen (z.B. Luftdruck, Temperatur) herrschen und somit auch hier eine Umrechnung auf die Bezugsbedingungen nötig ist.

2.1 Luftdruck

Der Korrektionsfaktor für den Luftdruck ist einer der wichtigsten Korrektionsfaktoren, da schon eine Änderung des Luftdrucks in Höhe von 1hPa eine 0,1 prozentige Änderung des Korrektionsfaktors und somit des korrigierten Messwertes zur Folge hat.

Bei der Messung des Luftdrucks ist zu berücksichtigen, dass bei einer Verwendung eines Barometers (für absolut messende Barometer trifft dies nicht zu) oder des Abgleichs mit Werten aus dem Internet der angezeigte Wert immer auf die Meereshöhe normiert ist. Dieser Wert muss mithilfe der barometrischen Höhenformel umgerechnet und somit auf die Höhe angepasst werden, in welcher die Messung stattfindet.

Zusätzlich sind viele Barometer temperaturabhängig, weshalb diese auch stets dokumentiert werden muss.

Geeichte Barometer sollten in zweijährigem Rhythmus zur Kalibrierung den Herstellerfirmen vorgeführt werden.

2.2 Unvollständige Sättigung

Durch Rekombination im Kammervolumen bei Ionisationskammern treten Ladungsverluste auf, was als unvollständige Sättigung bezeichnet wird. Dieser Effekt sorgt dafür, dass die gemessene elektrische Ladung stets kleiner ist als die eigentlich erzeugte Ladung im Messvolumen. Durch den Korrektionsfaktor k_s wird der Effekt berücksichtigt. Allerdings sollte das Ausmaß dieses Effektes bei Verwendung einer Ionisationskammerbaureihe immer gleich sein und somit genau wie die Abhängigkeit des verwendeten Korrektionsfaktors von der eigentlichen Dosisleistung in der Praxis vernachlässigbar sein.

2.3 Polarität der Kammerspannung

Wie auch bei der unvollständigen Sättigung sollte bei der Polaritätskorrektur von Ionisationskammern innerhalb einer Baureihe die Polarität dieselben Ausmaße haben, sprich auch hier gibt es in der Regel keine Exemplarstreuung. Allerdings tritt dieser Effekt sowohl bei Photonen- als auch Elektronenstrahlung auf und ist somit spektrums- bzw. tiefenabhängig.

2.4 Strahlungsqualität

Die Qualität der Strahlung bezeichnet die Art der Strahlung (Photonen, Elektronen, o.Ä.) und die jeweilige spektrale Energieverteilung der Strahlungsart. Berücksichtigt wird dies bei Photonenstrahlung durch den Korrektionsfaktor $k_{Q,M}$, wobei die Bezeichnung Q für den Strahlungsqualitätsindex steht. Dieser sollte nur bei hochenergetischer Photonenstrahlung angewendet werden, nicht bei monoenergetischer Gammastrahlung (für Elektronenstrahlung vgl. R_{50}). Änderungen des Korrektionsfaktors sind energieabhängig und abhängig von der Änderung des Qualitätsindex, wobei hier kleine Änderungen nur geringfügige Änderungen des Korrektionsfaktors zur Folge haben.

3 Elektronenstrahlung

3.1 Aufstreueffekt

Vergleicht man die Dosisverteilung von Photonenstrahlung und Elektronenstrahlung eines gleichgroßen Feldes, erkennt man, dass diese sehr unterschiedlich aussehen. Bei Photonen werden bei Wechselwirkung mit Materie nur Comptonquanten gestreut und die hochenergetischen Photonen breiten sich größtenteils geradeaus weiter aus. Anders bei Elektronen, diese werden selbst auch gestreut und breiten sich somit nicht nur geradeaus weiter aus, sondern werden in alle Richtungen gestreut. Diese Veränderung der Bewegungsrichtung der Elektronen bzw. Aufstreuung des Elektronenbündels wird durch den sogenannten Aufstreueffekt beschrieben. Wobei die Stärke der Streuung abhängig von der Ordnungszahl und Dichte des Absorbers steigt und mit zunehmender Elektronenenergie abnimmt.

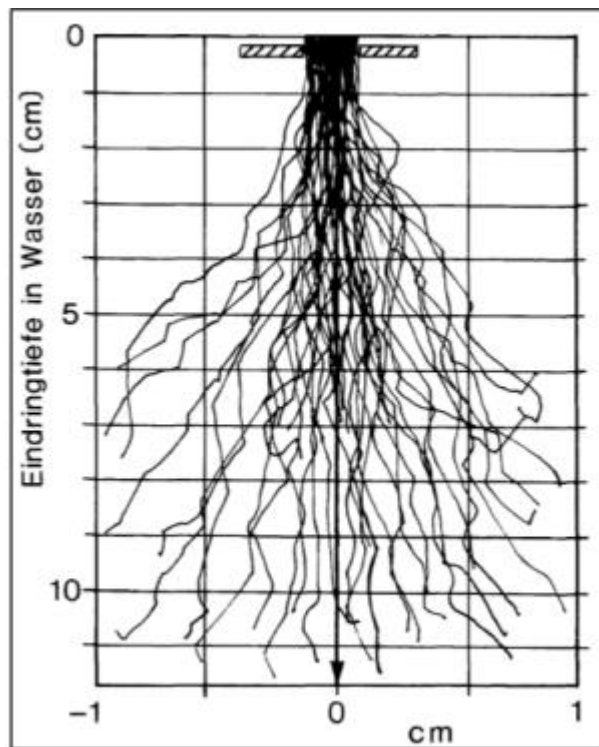


Abbildung 3.1: Aufstreueffekt Elektronenstrahlung
(Quelle: Krieger: Grundlagen der Strahlenphysik und des Strahlenschutzes)

3.2 Tiefendosisverlauf Elektronenstrahlung

Betrachtet man Abbildung 3.1 und die Tatsache, dass die Energieabgabe von Elektronen pro Wegstrecke ungefähr konstant ist, wird klar, dass durch die Aufstreuung der Elektronen in tieferen Schichten mehr Energie deponiert wird, als in der Nähe der Oberfläche. Diese Energiedeponierung hat ihren Ursprung durch die längeren Wegstrecken, die durch gestreute Elektronen zurückgelegt werden und somit zur Folge, dass das Tiefendosismaximum der Elektronen nicht in der Nähe der Oberfläche, sondern in tieferliegenden Schichten liegt (vgl. Abbildung 3.2 – Abschnitt 1). Wenn die Elektronen eine gewisse Tiefe erreicht haben, also ihre sogenannte praktische Reichweite ausgeschöpft haben, ist der Großteil ihrer Energie an das umliegende Material abgegeben, was den Abfall der Kurve zur Folge hat (Abschnitt 2). Die dahinterliegende Dosis der Kurve wird durch die von Elektronen erzeugte Bremsstrahlung beigetragen (Abschnitt 3).

Zusätzlich zum Aufstreueffekt, kommt bei kleinen Feldern noch der sogenannte Ausstreueffekt hinzu. Dieser hat zur Folge, dass der Aufstreueffekt überkompensiert wird und somit das Tiefendosismaximum zur Oberfläche hin verschoben ist durch Elektronen die aus dem Feld ausstreuen. Bei größeren Feldern wird dieser Effekt durch den Einstreueffekt von Elektronen aufgehoben und somit ist hier nur der Aufstreueffekt von Bedeutung.

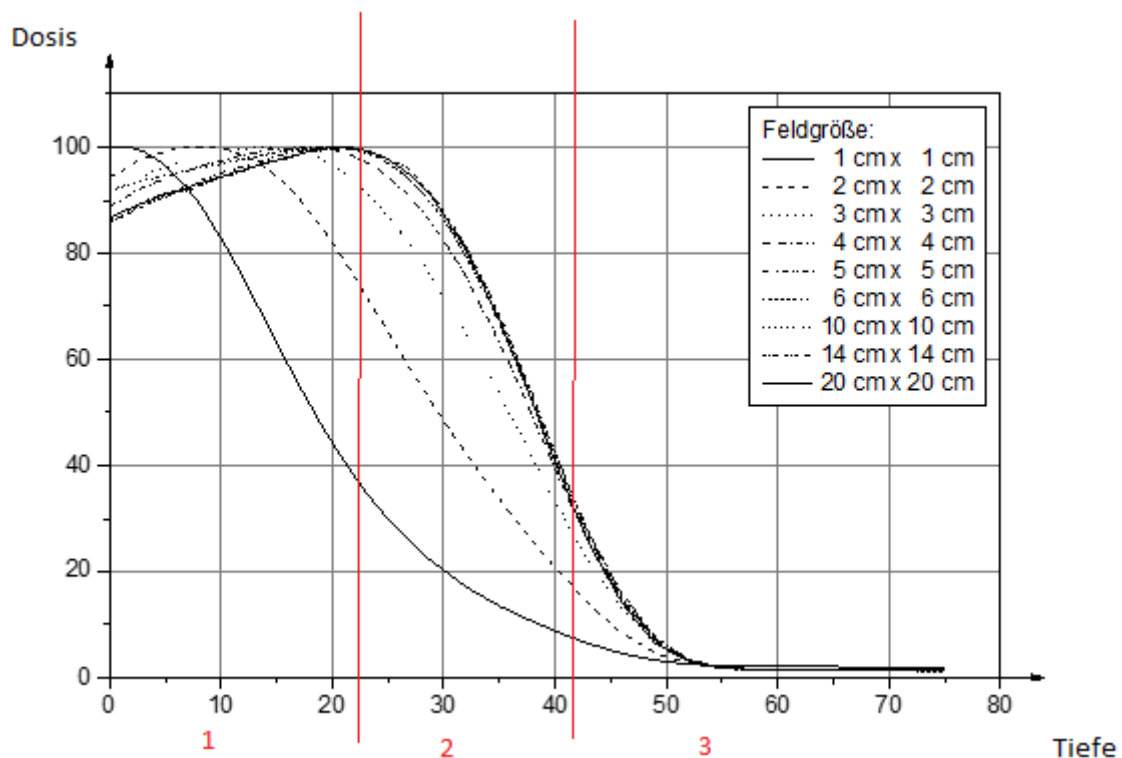


Abbildung 3.2: Tiefendosisverlauf von Elektronen. Abschnitte 1, 2 und 3 auf 20x20cm Feld bezogen. Klare Verschiebung des Tiefendosismaximums bei kleineren Feldern zur Oberfläche hin erkennbar. (Quelle: DIN 6800-2)

3.3 Referenztiefe z_{ref}

Dosismessungen mit Ionisationskammern bei Elektronenstrahlung erfolgen unter Referenzbedingungen in der sogenannten Referenztiefe. Diese hängt laut Punkt 8.3 der DIN 6800-2 von der Halbwerttiefe R_{50} und somit von der Energie der Elektronen ab (siehe Formel 8.3-3 in DIN 6800-2). Für niedrige Elektronenenergien befindet sich die Referenztiefe ungefähr auf der Tiefe des Dosismaximums, für hohe Elektronenenergien tiefer als das Dosismaximum.

Der Vorteil der Referenztiefe ist, dass der Großteil aller verwendeten Linearbeschleuniger dort ähnliche Eigenschaften zeigen und somit $k_{E,M}$ an diesem Punkt unter allen Linearbeschleunigern sehr ähnlich ist, sprich am wenigsten Messunsicherheiten bekannt sind und somit die Dosimetrie dort am exaktesten bestimmbar ist. Deshalb wird in der Referenztiefe bevorzugt die Kalibrierung des Monitors durchgeführt.

Bei Messungen mit demselben Detektor ist es egal, in welcher Tiefe die Dosimetrie bzw. Kalibrierung durchgeführt wird, da immer dieselben Dosiswerte an beliebigen Tiefen gemessen werden sollten, aufgrund der Verwendung derselben Korrekturfaktoren.

Absolutdosen, welche in der Referenztiefe gemessen werden, können über den relativen Dosisverlauf in Dosen unterschiedlicher Tiefen umgerechnet werden. In der Praxis wird dies zum Beispiel zur Bestimmung des Tiefendosismaximums, welches für den Arzt die größte Bedeutung hat, angewendet.

Wird der relative Tiefendosisverlauf mit einem energieabhängigen Detektor aufgenommen, dann muss die Absolutdosis in z_{ref} gemessen werden. Hieraus ergeben sich für andere Tiefen auch andere, genauere Werte für die Dosis, da $k_{E,M}$ eine geringere Unsicherheit hat als $k_{NR,E}$. Mit einem energieunabhängigen Detektor benötigt man kein $k_{NR,E}$ und dann entfällt die größere Unsicherheit.

In der Praxis wird häufig direkt das Dosismaximum gemessen, anstatt in der Referenztiefe, um sich die Umrechnung zu sparen (Wird auch in Tübingen so durchgeführt).

4 Volumeneffekt und Dosisquerprofile

Der Volumeneffekt spielt eine große Rolle bei der Messung von Dosisquerprofilen. Dieser Effekt ist für die Abweichung des Dosisquerprofils von seinem wahren Wert verantwortlich. Zurückzuführen ist der Volumeneffekt auf die Tatsache, dass eine Ionisationskammer kein unendlich kleiner Detektor sein kann, sondern eine gewisse räumliche Ausdehnung besitzt und somit das Querprofil verfälscht. Der Grund für die Verfälschung ist, dass ein Dosismittelwert über das Messvolumen gebildet wird, was nicht der Realität entspricht, da es Punkte mit viel und wenig Dosis in der Ionisationskammer selbst gibt. Daher ist zu empfehlen das Querprofil mit einem möglichst kleinen Messvolumen zu messen, um die Integration über das Volumen möglichst klein und somit den Fehler des Volumeneffektes gering zu halten.

Das wahre Dosisquerprofil würde bei einer unendlich kleinen Feldbreite einer Deltafunktion entsprechen, in der Praxis jedoch ergibt sich das Querprofil eher zu einer Gaußkurve, da die gemessene Dosis mit der Ansprechfunktion des Detektors gefaltet wird. Mithilfe der Fouriertransformation kann man die Entfaltung durchführen und damit das wahre Dosisprofil ermitteln.

Zukünftig sollte dies ein geringfügigeres Problem darstellen, da die Software der Messgerätschaften so angepasst werden, dass selbst größere Detektoren ein wahres Dosisquerprofil durch rechnerische Volumenkorrekturen der Software erzeugen.

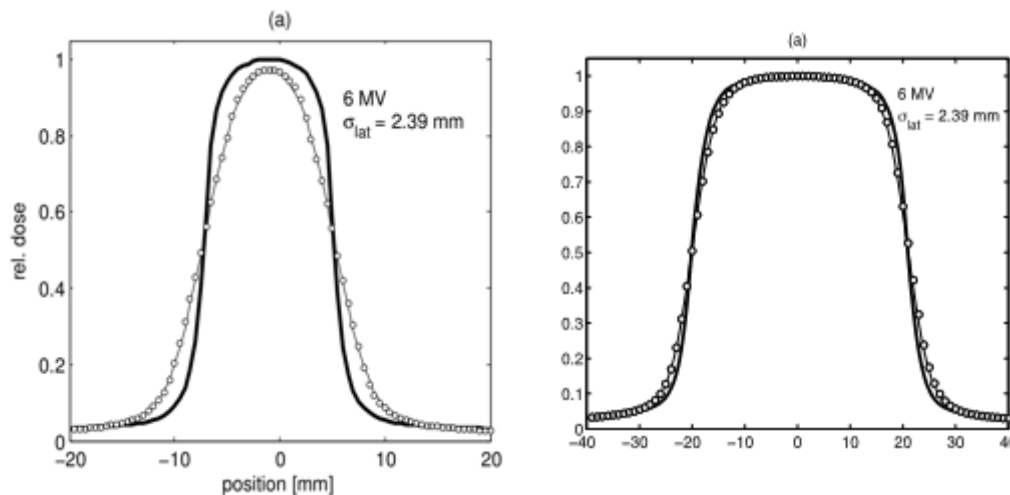


Abbildung 4.1: Eine beispielhafte, ungefähre Darstellung: Links eine Deltafunktion, rechts die daraus entfaltete Gaußfunktion. (Quelle: DIN 6800-2)

5 Feldgröße

Angaben zur Feldgröße sind in der Regel auf das Isozentrum bezogen, sprich bei einer Eingabe eines Feldes von z.B. 15x15cm sollte dieses Feld am Isozentrum genau 15x15cm haben. Kalibriert wird dies mithilfe von Messungen im Wasserphantom. Diese Messungen und die damit einhergehende Blendenkalibrierung sollte mindestens einmal jährlich erfolgen, zum Beispiel nach der Wartung des Linearbeschleunigers. Dabei sollten Abweichungen der Feldgrößen, welche zu vermeiden sind, festgestellt und behoben werden. Da es etliche Feldgrößenkombinationen gibt, ist es nicht möglich, diese Wartungsmessung für jede Feldgröße gleichermaßen präzise vorzunehmen. Deshalb wird die Blendenkalibrierung eher für kleinere Felder durchgeführt, da eine häufige Verwendung in der Praxis eine höhere Genauigkeit bei der Kalibrierung erfordert.

6 Messtechnische Kontrolle

Die Messtechnische Kontrolle sollte als oberste Priorität durchgeführt werden, bedeutet vor der ersten Inbetriebnahme einer Strahlentherapieeinrichtung muss diese erfolgen und dann zweijährlich durchgeführt werden. Dabei werden die hausinternen Messinstrumente mit denen der zuständigen Stelle verglichen und auf ihre Messgenauigkeit geprüft. Abweichungen vom Sollwert werden dann in drei Kategorien eingeteilt.

Abweichung	Kategorie	Konsequenz
$\pm 3\%$	A	Erlaubt
$\pm 3 \text{ bis } 5\%$	B	Gemeinsame Ursachenforschung, ggf. Erlaubnis
$> \pm 5\%$	C	Stilllegung des Dosimeters bzw. der Strahlentherapieeinrichtung, Meldung der Behörde, bis zur Fehlerbehebung keine Erlaubnis erteilt

Des Weiteren besteht die Möglichkeit mit Thermolumineszenz-Dosimetern diese Messungen durchzuführen und diese dann der zuständigen Stelle zuzusenden, falls die zuständige Stelle nicht vor Ort die Messungen durchführen kann.

7 Unterschied: Mittlere Ionisierungsenergie – Ionisierungsenergie

Mittlere Ionisierungsenergie	Ionisierungsenergie
Energie, welche im Mittel nötig ist, um ein Elektronen-Paar herauszulösen Entspricht der Luftenergiedosis	Bindungsenergie eines K-Elektrons z.B. Wasserstoff 13,7 eV

8 Literaturverzeichnis

1. DIN 6800-2
2. Hanno Krieger: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes, Springer Verlag