



Protokoll

Dosimetriepraktikum 11.11.2016

erstellt von Eva Maier

erstellt am 15.11.2016

Inhalt

1	Untersuchung des Verhaltens von Photonen- und Elektronenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand	3
1.1	Messaufbau	3
1.2	Durchführung der Messung	5
1.3	Ergebnisse und Auswertung	6
1.3.1	Photonenstrahlung.....	6
1.3.2	Elektronenstrahlung.....	8
2	Messung der Oberflächendosis und des Aufbaueffekts mittels Flachkammer	9
2.1	Aufbau und Durchführung der Messung	9
2.2	Ergebnisse und Auswertung	10
3	Zusätzlich besprochen.....	11
3.1	Halbwertschichtdicke.....	11

1 Untersuchung des Verhaltens von Photonen- und Elektronenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand

Die im Folgenden beschriebenen Messungen haben das Ziel, das Verhalten von Photonen- und Elektronenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Strahlungsquelle und bestrahltem Objekt zu untersuchen.

1.1 Messaufbau

Die Gantry wird um 90° gedreht, so dass eine seitliche Einstrahlung erfolgen kann (s. Abb. 1). Gemessen wird mit einer Kompaktkammer (Flexible Kammer 0,3 cm³, PTW Freiburg). Die Kompaktkammer wird am Tisch, der zur Reduzierung von Streustrahlung außerhalb des Strahlungsfeldes positioniert wird, mit Hilfe eines Plexiglasrohres fixiert (s. Abb. 1). Die Kammerspitze wird so ausgerichtet, dass sie sich im Isozentrum der Strahlung befindet.

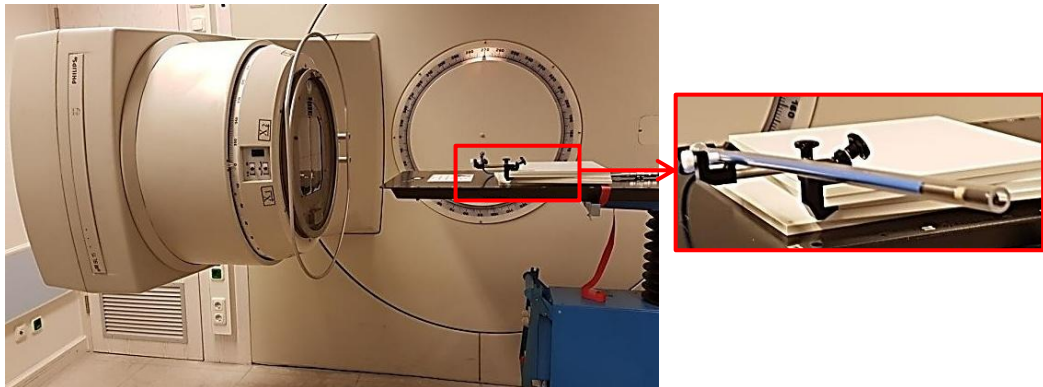


Abb. 1: links: Messaufbau, rechts: Kompaktkammer

Die Dosismessung erfolgt über die Messung der Ladung (Coulomb) mit Hilfe eines Elektrometers (Unidos, PTW Freiburg) (s. Abb. 2).



Abb. 2: Elektrometer

Bedienelemente des Elektrometers:

- Modus (MOD)
 - Auswahl in welchem Modus gemessen werden soll (z.B. Ladung)
- Empfindlichkeit (RGE)
 - die Empfindlichkeit kann abhängig von der verwendeten Kammer zwischen low, middle und high gewählt werden
- Nullabgleich (NUL)
 - führt Nullabgleich durch
- Start (STA)
 - Messung startet, darf zu Beginn nichts anzeigen, sonst wäre Nullabgleich nicht in Ordnung oder möglicherweise ein Schaden an der Kammer vorhanden

Kammer ist im Inneren mit dünner Graphitschicht beschichtet, die sie leitfähig macht. Schlägt man mit der Kammer irgendwo dagegen, kann es passieren, dass sich ein dünner Faden der Graphitschicht löst und die Innenelektrode berührt. Dies kann zu einem permanenten Stromfluss führen.
- Anhalten (HLD)
 - Messergebnis wird angezeigt
- Reset (RES)
 - Anzeige wird auf null zurückgesetzt
- Intervallmessung (INT)
 - Messung der Strahlung über ein bestimmtes Zeitintervall
- Setup: Einstellen von Intervallen und Einheiten
 - Einheiten: elektrisch und radiologisch
 - elektrisch:

Anzeige der gemessenen Dosis in Strom (A) oder Ladung (C)
 - radiologisch:

es können verschiedene Korrekturfaktoren (z.B. Kalibriefaktor einer Ionisationskammer) eingegeben werden, die in das Messergebnis mit eingerechnet werden, so dass der Messwert direkt als Dosis in Gy ausgegeben wird.

! Achtung: Bei Zweifeln am Ergebnis kann im Nachhinein nicht mehr sicher nachvollzogen werden, welche Faktoren tatsächlich bei der Berechnung miteinbezogen oder evtl. verändert wurden. Auch kann am Elektrometer versehentlich ein falscher Kammertyp ausgewählt werden, wodurch der hier hinterlegte Kalibrierungsfaktor nicht korrekt ist. Um solche Fehler zu vermeiden sollte daher ausschließlich in elektrischen Einheiten gemessen und notwendige Umrechnungen im Anschluss manuell oder nachvollziehbar elektronisch, z.B. mit Excel, durchgeführt werden.
- Umschalten zwischen Ladung und Strom
- Kammer
 - die unterschiedlichen Kammertypen sind mit allen wichtigen Daten in der Kammerbibliothek hinterlegt
 - vor Beginn der Messung muss die Kammer, die verwendet wird, hier ausgewählt werden, damit die Messung unter den richtigen Einstellungen (z.B. Spannung an der Kammer) erfolgt

1.2 Durchführung der Messung

Die Bestrahlung erfolgt mit dem Linac mit einem 10x10 Feld und 100 Monitoreinheiten. Die Messung der Dosis wird in unterschiedlichen Abständen zur Strahlungsquelle, zunächst mit 6 MV Photonenstrahlung und anschließend mit Elektronenstrahlung bei zwei unterschiedlichen Energien (4 MeV, 15 MeV), durchgeführt.

Die erste Dosismessung mit Photonenstrahlung erfolgt im Abstand von 100 cm (Isozentrum). Anschließend wird der Abstand um jeweils 50 cm vergrößert. Die letzte Messung lässt aufgrund der räumlichen Begebenheiten nur noch eine Vergrößerung des Abstandes um 31 cm zu und erfolgt im Abstand von 331 cm.

Für die Bestrahlung mit Elektronen wird ein Elektronentubus (10er Tubus, Elekta) am Strahlerkopf des Linacs befestigt (s. Abb. 3). Die Messung der Dosis wird nach dem gleichen Vorgehen wie bei der Photonenstrahlung durchgeführt, jedoch nur bis zu einem Abstand von 200 cm.

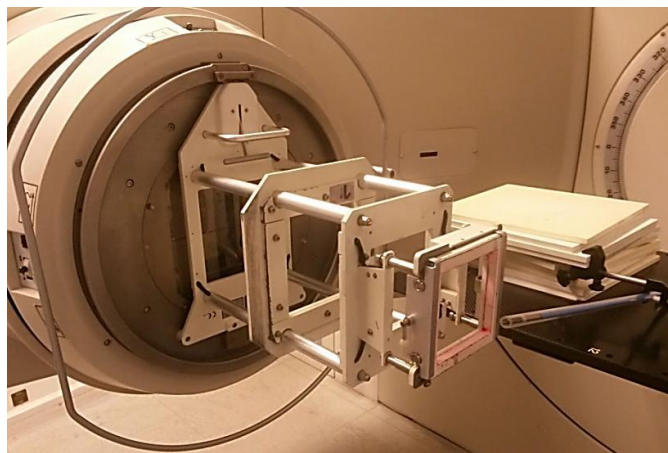


Abb. 3: Linac mit Elektronentubus

Elektronentubus:

Um ein homogenes Strahlenfeld zu erzeugen wird bei der Bestrahlung mit Elektronen ein Tubus zur Bündelung des Elektronenstrahls benötigt. Bei dem hier verwendeten offenen Tubus von Elekta werden die Elektronen von den Luftschichten in die Öffnung des Tubus gestreut, so dass auch die sogenannten Schattenbereiche von den Elektronen erreicht werden und ein homogenes Feld entsteht (s. Abb. 4).

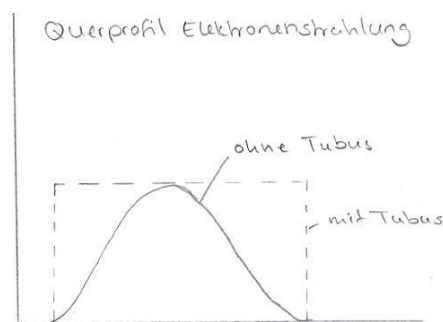


Abb. 4: Skizze: Querprofil von Elektronenstrahlung mit (idealisiertes Profil) und ohne Tubus

1.3 Ergebnisse und Auswertung

1.3.1 Photonenstrahlung

Abstand in cm	Dosis in nC
100	9,779 / 9,781
150	4,291
200	2,388
250	1,496
300	1,082
331	0,897

Da es bei den ersten Messungen zu leichten Schwankungen führen kann, wird die erste Messung einmal wiederholt, um zu prüfen, dass keine größeren Abweichungen vorliegen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die gemessene Dosis mit zunehmendem Abstand sinkt. Dies lässt sich durch das Abstandsquadratgesetz erklären, das sich aus dem Strahlensatz ableitet. Es besagt, dass aufgrund der Divergenz der Strahlung, bei punktförmigen Strahlenquellen, die Dosis mit zunehmendem Abstand umgekehrt proportional zum Abstand im Quadrat abnimmt.

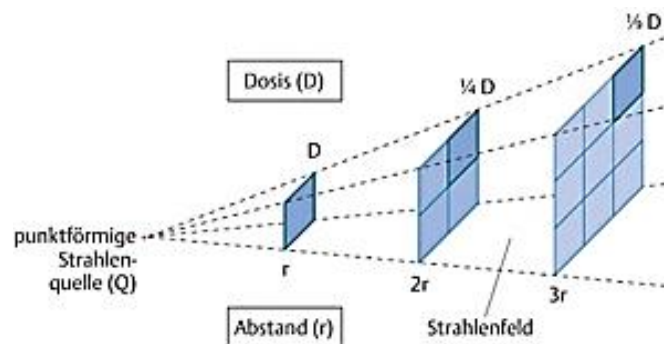


Abb. 5: Schematische Darstellung des Abstandsquadratgesetz

$$D \propto \frac{1}{r^2} \qquad \frac{D_1}{D_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Basierend auf dieser Annahme werden die nach dem Abstandsquadratgesetz zu erwartenden Dosiswerte der durchgeführten Versuche, bezogen auf den ersten Messwert ($D_1 = 9,78 \text{ nC}$ bei $r_1 = 100 \text{ cm}$), berechnet und mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen.

$$D_2 = D_1 * \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Daraus ergibt sich:

Abstand in cm	Dosis in nC (gemessen)	Dosis in nC (berechnet)	Differenz in %
100	9,779 / 9,781		
150	4,291	4,347	1,288
200	2,388	2,445	2,331
250	1,496	1,565	4,409
300	1,082	1,087	0,460
331	0,897	0,893	0,448

Um auch grafisch beurteilen zu können wie stark die gemessenen und die berechneten Werte voneinander abweichen, werden sie mit $\frac{1}{D}$ über dem Abstand aufgetragen, so dass man eine Gerade erhält.

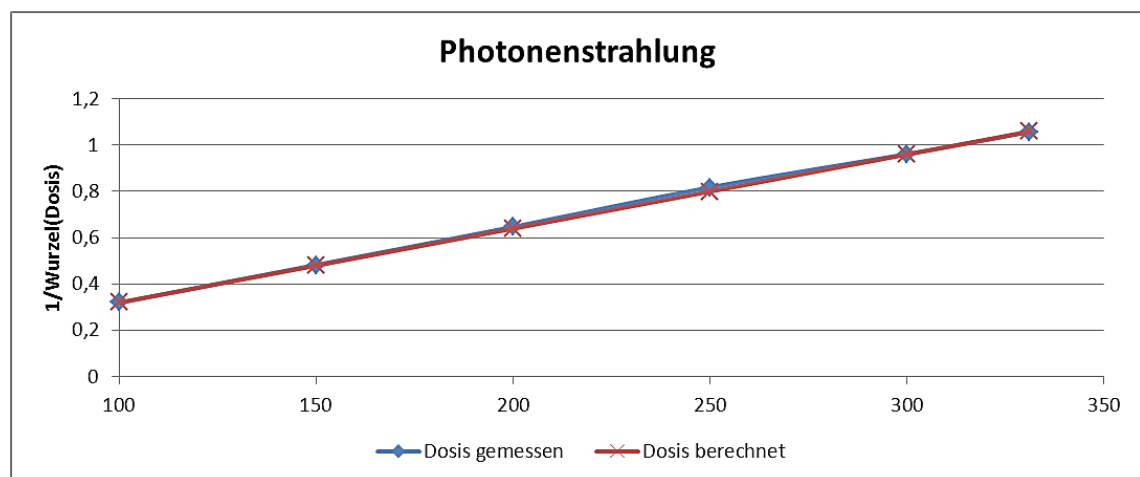


Abb. 6: Dosisverlauf von Photonenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand

Zwischen den gemessenen und berechneten Werten gibt es nur geringe Abweichungen. Abweichungen können z.B. durch Streustrahlung verursacht werden. Besonders aus dem Strahlerkopf kommt viel Streustrahlung, so dass der erste Messwert (nah am Strahlerkopf) eigentlich nicht der optimale Referenzwert für die Berechnung ist.

Anhand der Ergebnisse zeigt sich, dass das Abstandsquadratgesetz in erster Näherung für die Berechnung der Dosis oder Dosisleistung für Photonenstrahlung angewendet werden kann. Strenggenommen gilt es allerdings nur für eine punktförmige Quelle und Vakuum, aber die Schwächung der Photonenstrahlung in Luft ist ausreichend gering.

Achtung: Für die Berechnung der erforderlichen Monitoreinheiten einer gewünschten Dosis ist das Verhältnis zum Abstand im Quadrat andersrum. Das heißt die Monitoreinheit muss mit dem Abstand größer werden, um die gleiche Dosis zu erreichen. $\frac{ME_1}{ME_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

1.3.2 Elektronenstrahlung

	4 MeV Elektronenstrahlung	15 MeV Elektronenstrahlung
Abstand in cm	Dosis in nC	Dosis in nC
100	6,766 / 6,777	9,438
150	1,605	3,483
200	0,5245	1,898

Auch bei der Elektronenstrahlung lässt sich eine Abnahme der Dosis mit dem Abstand beobachten. Um zu prüfen ob auch hier das Abstandsquadratgesetz gilt, werden die gleichen Berechnungen wie bei der Photonenstrahlung durchgeführt.

	4 MeV			15 MeV		
Abstand	Dosis in nC (gemessen)	Dosis in nC (berechnet)	Differenz in %	Dosis in nC (gemessen)	Dosis in nC (berechnet)	Differenz in %
100	6,766/6,777			9,438		
150	1,605	3,009	46,660	3,483	4,195	16,973
200	0,5245	1,693	69,019	1,898	2,360	19,576

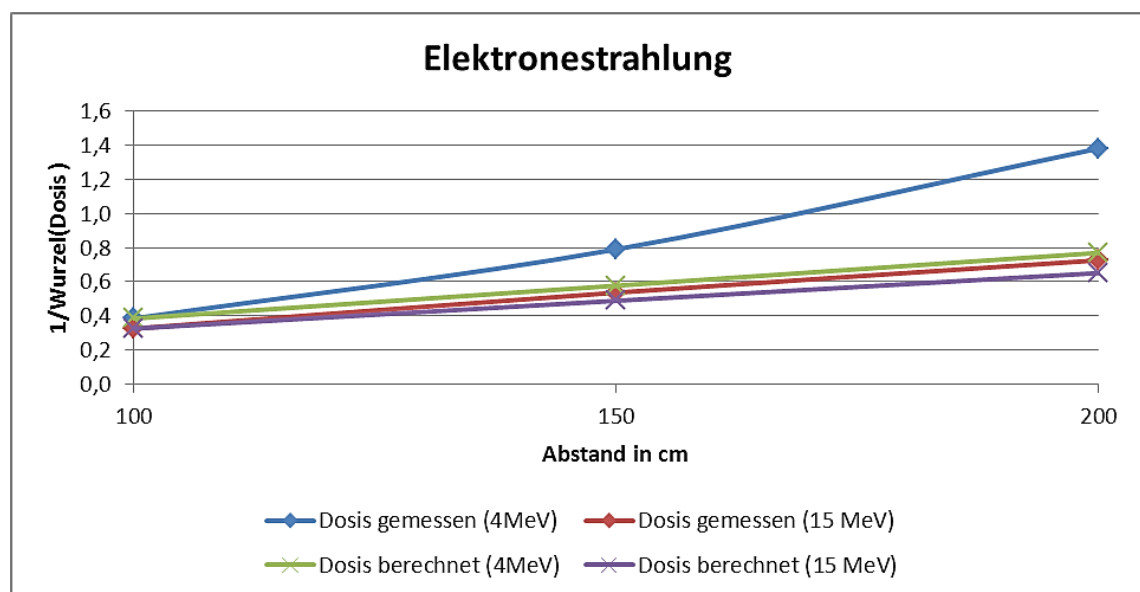


Abb. 7: Dosisverlauf von Elektronenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand

Der Vergleich der gemessenen und berechneten Werte zeigt deutliche Unterschiede. Die Elektronenstrahlung wird tatsächlich mit zunehmendem Abstand deutlich stärker geschwächt, als es das Abstandsquadratgesetz vermuten lässt. Dies zeigt sich in den, mit zunehmendem Abstand, auseinanderlaufenden Geraden der gemessenen und berechneten Werte. Daraus folgt, dass das Abstandsquadratgesetz auf Elektronen-

strahlung nicht anwendbar ist. Grund hierfür ist die starke Streuung der Elektronenstrahlung in der Luft, die nicht vernachlässigbar ist.

Im Vakuum würde das Abstandsquadratgesetz auch für Elektronenstrahlung gelten.

2 Messung der Oberflächendosis und des Aufbaueffekts mittels Flachkammer

In der folgenden Messung wurde zunächst die Oberflächendosis von Photonenstrahlung mit Hilfe einer Flachkammer (Advanced Markuskammer, PTW Freiburg) gemessen und anschließend durch Auflage dünner Platten aus wasseräquivalentem Material der Aufbaueffekt im Wasser nachgestellt und der Dosisverlauf mit zunehmender Plattendicke gemessen.

2.1 Aufbau und Durchführung der Messung

Die Kammer wird in einer speziellen Haltevorrichtung (Phantomplatte) fixiert (s. Abb. 8) und im Isozentrum der Photonenstrahlung positioniert. Die Bestrahlung erfolgt mit 6 MV Photonenstrahlung und einer Feldgröße von 10x10 von oben (Gantry: 0°).



Abb. 8: links: Advanced Markuskammer, rechts: Kammer in Phantomplatte

Die erste Messung erfolgt in 100 cm Abstand (Isozentrum) ohne Abdeckung der Kammer. Bei der zweiten Messung wird eine 1 mm dicke Platte aus wasseräquivalentem Material (RW3, Polystyrol mit 2 % TiO_2) über der Kammer positioniert, bei den darauffolgenden Messungen eine Platte von jeweils 2 mm. Der Abstand zwischen Kammer und Strahlquelle wird jeweils entsprechend der Plattendicke vergrößert, so dass der Fokus-Oberflächen Abstand (FOA) konstant bleibt. Die Dosismessung wird solange durchgeführt, bis das Dosismaximum erreicht ist. Die Dosismessung erfolgt durch die Messung der Ladung (pC) mit dem Elektrometer (Unidos, PTW Freiburg).

Wichtig:

Der Kammertyp muss vor Messbeginn am Elektrometer auf Adv. Markus Kammer eingestellt werden, damit die Kammer mit der richtigen Spannung (300V) betrieben wird.

Die Platten dürfen nicht direkt auf die Kammer aufgelegt werden! Links und rechts der Kammer werden zwei zusätzliche Platten positioniert, um einen Sicherheitsabstand zwischen Kammeroberfläche und den zur Abdeckung aufgelegten Platten zu erhalten.

2.2 Ergebnisse und Auswertung

Abdeckung in mm	Dosis in pC
0	278,5
1	546
3	811
5	937,5
7	1007
9	1047
11	1066
13	1073
15	1074

Aufgrund des Messaufbaus und der Messdurchführung ist die hier durchgeführte Messung äquivalent zu den Messungen des Tiefendosisverlaufs mit dem Wasserphantom in den vorangehenden Praktika. Der bereits im Wasserphantom beobachtete Aufbaueffekt von Photonenstrahlung in Wasser wird nun durch das wasseräquivalente Material nachgestellt. Während bei den Messungen mit dem Wasserphantom insbesondere der Tiefendosisverlauf von Interesse war, lässt sich im Gegensatz dazu mit der Flachkammer vor allem die Oberflächendosis der Photonenstrahlung exakt bestimmen, bevor die im Wasser auftretenden Wechselwirkungen zum Aufbaueffekt beitragen. Zum Vergleich sind im folgenden Diagramm die aufgenommenen Messwerte mit der Flachkammer und die im Wasserphantom gemessenen Dosiswerte (6MV Photonenstrahlung, Feldgröße 10x10cm) bis zu einer Wassertiefe von 15 mm aufgetragen.

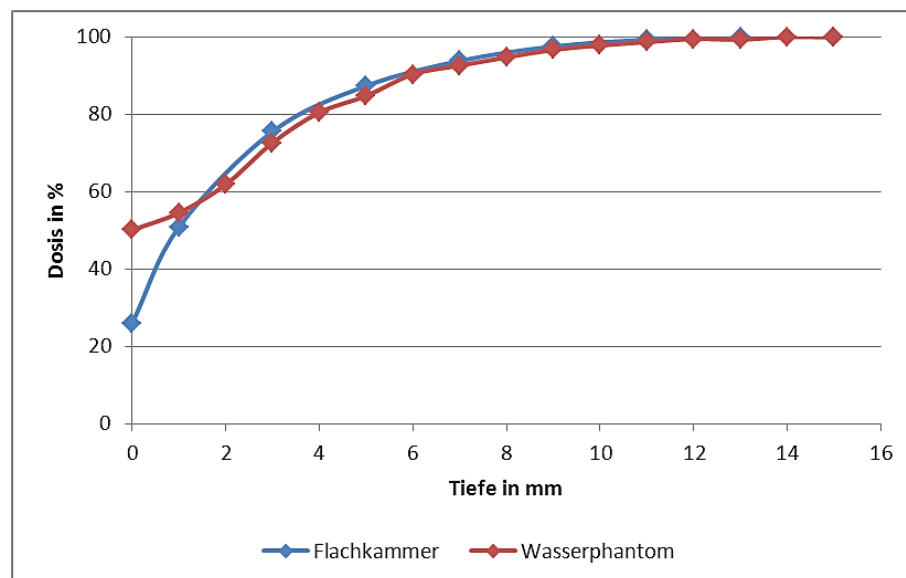


Abb. 9: Verlauf des Aufbaueffekts im Wasser

Das Diagramm zeigt einen deutlichen Unterschied in der gemessenen Oberflächendosis, die bei der Messung im Wasserphantom etwa doppelt so groß ist als bei der Dosismessung mittels Flachkammer. Bei der im Wasserphantom gemessenen Oberflächendosis müssen folglich bereits an der Wasseroberfläche Wechselwirkungen aufgetreten sein, die zum Aufbaueffekt beitragen. Mit der Flachkammer wird hingegen die Oberflächendosis an der Luft gemessen, so dass der Aufbaueffekt im Wasser hier noch keinen Einfluss auf die Dosis hat. Im weiteren Verlauf gleichen sich die Kurven sehr gut aneinander an. Sobald die Kompaktkammer vollständig in Wasser eingetaucht ist, ist die Messung in ziemlich guter Übereinstimmung mit der Flachkammernessung.

3 Zusätzlich besprochen

3.1 Halbwertschichtdicke

Die Halbwertschichtdicke ist die Dicke eines Absorbers, hinter der die Dosisleistung der Strahlung im Mittel auf die Hälfte abnimmt. Die Halbwertschichtdicke hängt vom linearen Schwächungskoeffizienten μ ab:

$$x_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

Um den Schwächungskoeffizienten richtig bestimmen zu können, wird eine sogenannte „gute Geometrie“ vorausgesetzt. Das heißt es wird von einer möglichst punktförmigen Quelle ausgegangen (ggf. durch Einsatz von Blenden), die sich in großem Abstand zu einem Absorber befindet. Durch eine darauffolgende Blende wird verhindert, dass die im Absorber entstehende Streustrahlung auf den Detektor trifft, so dass nur der Photonenstrahl in primärer Richtung (d.h. ohne Wechselwirkungen) detektiert wird.

Bei „guter Geometrie“ gilt daher:

$$\frac{D}{D_0} = e^{-\mu x}$$

Aus diesem Zusammenhang lässt sich schließlich auch die Halbwertschichtdicke bestimmen.

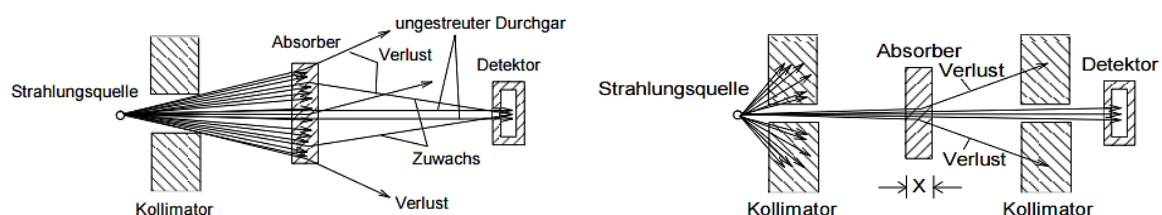


Abb. 10: Links: „schlechte Geometrie“, rechts: „gute Geometrie“

Bei „schlechter Geometrie“ wird auch die entstandene Streustrahlung des primären Photonenstrahls detektiert, wodurch sich die hinter einem Absorbermaterial gemessene Dosis

nun durch einen Aufbaufaktor a erhöht ($D/D_0 = a \cdot e^{-\mu x}$). Folglich lässt sich der Schwächungskoeffizient nicht richtig bestimmen.

Bei heterogener Photonenstrahlung kommt es beim Durchlaufen eines Absorbers zur Aufhärtung des Spektrums, da zunächst vor allem die niederenergetischen Photonen aufgrund von Photoabsorption herausgefiltert werden. Das heißt nach Durchlaufen der ersten Halbwertschichtdicke ändert sich die spektrale Zusammensetzung (das Spektrum ändert sich natürlich kontinuierlich) in Richtung höherer mittlerer Energien, so dass die zweite Halbwertschichtdicke nun größer sein muss als die erste, um die energiereicheren Photonen im gleichen Maß zu schwächen. Letztlich entscheidend ist der lineare bzw. Massenschwächungskoeffizient, der in diesem Energiebereich mit zunehmender Photonenenergie abnimmt. Die Halbwertschichtdicke ist eine wichtige Kenngröße im Röntgen.

Bei monoenergetischer Strahlung sind die erste, zweite und alle weiteren Halbwertschichtdicken konstant.