



Protokoll

Dosimetriepraktikum 16.12.2016

erstellt von Eva Maier

erstellt am 18.12.2016

Inhalt

1	Ermittlung der Korrekturfaktoren zur Berechnung der Wasserenergiedosis	3
1.1	Korrekturfaktor k_p zur Berücksichtigung des Einflusses der Luftdichte	3
1.2	Bestimmung des Strahlungsqualitätsindex Q und Berechnung von $k_{Q,R}$	5
1.3	Bestimmung des Korrekturfaktors k_r	6
1.4	Korrekturfaktor k_p zur Berücksichtigung der Polarität der Kammerspannung	6
1.5	Korrekturfaktor k_s zur Berücksichtigung der unvollständigen Sättigung	7
1.6	Dosis und Dosis pro Puls	9
2	Konstanzprüfung	10

1 Ermittlung der Korrekturfaktoren zur Berechnung der Wasser-Energiedosis

Die im Folgenden beschriebenen Messungen haben das Ziel, die benötigten Korrekturfaktoren zur Berechnung der Wasser-Energiedosis gemäß DIN 6800-2 von 6 MV Photonenstrahlung, gemessen mit einer Farmer Kammer (0,6 cm³, PTW Freiburg), zu ermitteln und die Dosis pro Puls zu berechnen.

Die mittels Sondenmethode gemessene Wasser-Energiedosis lässt sich gemäß DIN 6800-2 wie folgt berechnen:

$$D = (M - M_0) \cdot N \cdot k_\rho \cdot k_h \cdot k_S \cdot k_P \cdot k_r \cdot k_T \cdot k_{Q,M}$$

M	unkorrigierte Anzeige des Dosimeters
M_0	die Nullanzeige des Dosimeters ohne Bestrahlung
N	Kalibrierfaktor für die Wasser-Energiedosis bei ⁶⁰ Co-Gammastrahlung
k_ρ	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Luftdichte
k_h	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchte
k_S	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der unvollständigen Sättigung
k_P	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Polarität der Kammeranspannung
k_r	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Positionierung von Ionisationskammern bei der Kalibrierung und bei der Messung
k_T	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur, außer auf die Luftdichte
$k_{Q,M}$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Strahlungsqualität unter Messbedingungen

Die Korrekturfaktoren k_h und k_T haben gemäß DIN 6800-2 unter den vorherrschenden Messbedingungen keinen merklichen Einfluss auf die Dosis und werden daher gleich 1 gesetzt. Die Ermittlung aller anderen Korrekturfaktoren wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

1.1 Korrekturfaktor k_ρ zur Berücksichtigung des Einflusses der Luftdichte

Um den Korrekturfaktor für die Luftdichte zu ermitteln wird die Farmer Kammer in eine radioaktive Kontrollvorrichtung mit einem ⁹⁰Sr-Präparat gegeben (s. Abb. 1).



Abb. 1: Links: Farmer Kammer; Rechts: Farmer Kammer in radioaktiver Kontrollvorrichtung

^{90}Sr ist ein β^- -Strahler mit einer Halbwertszeit von 28,8 Jahren. Der Kalibrierfaktor der Kammer ist auf dem Datenblatt des Herstellers mit $N = 5,407 \cdot 10^7 \text{ Gy/C}$ angegeben. Des Weiteren wird der Zeitpunkt der Kalibrierung (07.05.2015) und der Kontrollwert einer Aktivitätsmessung ($k_{p,0} = 3,403 \cdot 10^{-2} \text{ Gy/Min}$) des ^{90}Sr zu diesem Zeitpunkt, in der Kontrollvorrichtung mit der Farmer Kammer, genannt. Dieser Wert wurde vom Hersteller auf Temperatur und Luftdruck bei Referenzbedingungen ($T = 20^\circ\text{C}, p = 101,325 \text{ kPa}$) umgerechnet. Da sich bei heutigen Messungen im Vergleich zum Zeitpunkt der Kalibrierung die Aktivität des ^{90}Sr geändert hat und Luftdruck und Temperatur von den Referenzbedingungen abweichen, lässt sich mit Hilfe des Kontrollwertes der Korrekturfaktor für den Einfluss der Luftdichte ermitteln. Hierzu muss der Kontrollwert der Aktivität zum Zeitpunkt der Kalibrierung mit Hilfe der Halbwertszeit auf das heutige Datum umgerechnet werden. Die dann noch vorliegende Abweichung des umgerechneten Wertes $k_{p,\text{heute}}$ zum tatsächlichen Messwert $k_{M,0}$ liegt nur noch an den Unterschieden von Temperatur und Luftdruck. Für den Korrekturfaktor k_p gilt somit:

$$k_p = \frac{k_{p,\text{heute}}}{k_{M,0}}$$

Umrechnung des Kontrollwerts auf heutiges Datum (16.12.2016):

$$k_{p,\text{heute}} = k_{p,0} * e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} * \Delta t}$$

Mit

$$k_{p,0} = 3,403 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Gy}}{\text{Min}}; \quad t_{1/2} = 28,8 \text{ Jahre} \quad \text{und} \quad \Delta t = 589 \text{ Tage}$$

ergibt sich:

$$k_{p,\text{heute}} = 3,273 \cdot 10^{-2} \text{ Gy/Min}$$

Messung von $k_{M,\rho}$:

Für die Messung der tatsächlichen Aktivität zum heutigen Zeitpunkt $k_{M,0}$ wird die Farmer Kammer mit 400 V Kammerspannung betrieben. Die Aktivität des ^{90}Sr wird von der Kammer mittels einer Intervallmessung von 60 sec. gemessen und am Elektrometer (Unidos, PTW Freiburg) in Ladung (C) angezeigt.

Intervallzeit	Dosis	$k_{M,0}$ (Dosis*N)
60 sec	578 pC	$3,125 * 10^{-2} \text{Gy/Min}$

Daraus folgt für k_ρ :

$$k_\rho = \frac{3,273 * 10^{-2} \text{Gy/Min}}{3,125 * 10^{-2} \text{Gy/Min}} = 1,047$$

Eine weitere Möglichkeit k_ρ zu bestimmen, ist die Berechnung nach der in DIN 6800-2 angegebenen Formel:

$$k_\rho = \frac{p_0 * T}{T_0 * p}$$

Mit:

$$p_0 = 101,325 \text{ kPa}; T_0 = 293,15 \text{ K} = 20^\circ\text{C}; p = 978 \text{ hPa} \text{ und } T = 295,85 \text{ K} = 22,7^\circ\text{C}$$

ergibt sich:

$$k_\rho = 1,046$$

1.2 Bestimmung des Strahlungsqualitätsindex Q und Berechnung von $k_{Q,R}$

Zur Bestimmung des Strahlungsqualitätsindex Q werden die Messungen mit der Farmer Kammer nun im Wasserphantom durchgeführt. Die Messung erfolgt je einmal in 10 cm und in 20 cm Tiefe ($SSD = 100$, $10 \times 10 \text{ Feld}$, $MU = 100$).

Der Strahlungsqualitätsindex Q lässt sich dann, wie in DIN 6800-2 beschrieben, berechnen:

$$Q = 1,2661 * \frac{M_{20}}{M_{10}} - 0,059$$

Aus den Messungen folgt:

Dosis in 10 cm	Dosis in 20 cm	Q
17,47 nC	10,17 nC	0,678

Mit Hilfe von Q lässt sich nun gemäß DIN 6800-2 der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Strahlungsqualität $k_{Q,R}$ berechnen:

$$k_{Q,R} = \frac{1 + e^{A(0,57-Q_0)}}{1 + e^{A(Q-Q_0)}}$$

Mit

$$A = 9,6727; Q_0 = 1,1045$$

ergibt sich:

$$k_{Q,R} = 0,9897$$

1.3 Bestimmung des Korrekturfaktors k_r

Der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Positionierung von Ionisationskammern bei der Kalibrierung und bei der Messung wird durch Anwendung folgender Formel bestimmt, die der DIN 6800-2 zu entnehmen ist:

$$k_r = \frac{1}{1 + \delta_{Co} * \Delta z_{Co}}$$

Mit

$$\delta_{Co} = -0,006 \text{ mm}^{-1} \text{ und } \Delta z_{Co} = 0,5 * r = 0,5 * 3,05 \text{ mm} = 1,525 \text{ mm}$$

ergibt sich:

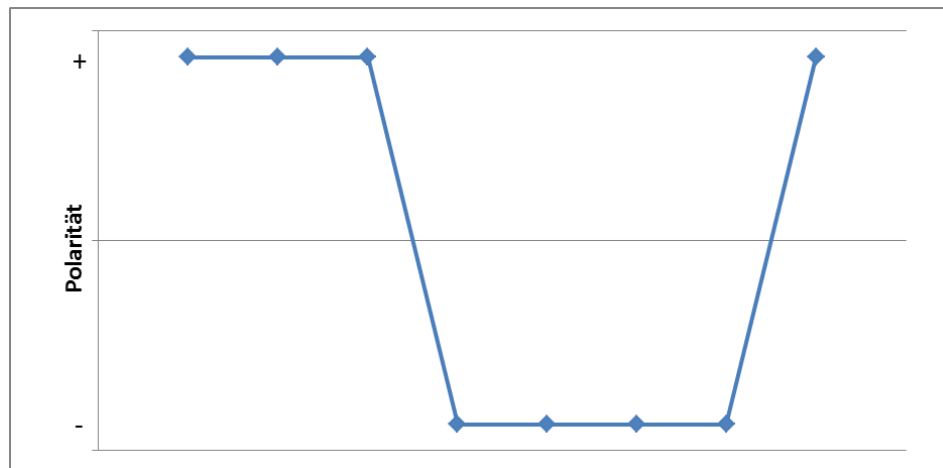
$$k_r = 1,0092$$

1.4 Korrekturfaktor k_p zur Berücksichtigung der Polarität der Kammerspannung

Es besteht eine Abhängigkeit der Anzeige der Kammer von der Polarität der Kammerspannung. Diese ist dadurch bedingt, dass die Anzahl der Elektronen, die in die Messelektrode ein- und austreten, verschieden ist. Durch die Ladungsdifferenz dieser Elektroden wird die Anzeige schließlich erhöht oder erniedrigt. Beim Umpolen der Kammerspannung wird dieser Effekt sichtbar und kann durch den Korrekturfaktor k_p korrigiert werden.

Um k_p zu bestimmen wird die Dosis mit der Farmer Kammer bei wechselnder Polarität im Wasserphantom ($SSD = 100$; $10 \times 10 \text{ Feld}$; $MU = 100$; $Tiefe 10 \text{ cm}$) gemessen. Hierzu wird abwechselnd bei positiver und negativer Polarität der Kammerspannung (400 V) gemessen, jeweils so lange, bis sich die Messwerte eingependelt haben. Erst dann wird die Polarität geändert. Der Polaritätseffekt bei Messbedingungen ergibt sich dann aus dem Mittelwert der gemessenen Dosisbeträge bei positiver und negativer Polarität.

Polarität	Dosis in nC			
+	17,5	17,52	17,52	
-	-17,55	-17,56	-17,55	-17,56
+	17,52			
Mittelwert	17,535			



Zur Bestimmung von k_p muss der gemessene Polaritätseffekt, mit dem bei der Kalibrierung mit ^{60}Co -Strahlung auftretende Polaritätseffekt, ins Verhältnis gesetzt werden.

$$k_p = \frac{\text{Polaritätseffekt}_{\text{Messung}}}{\text{Polaritätseffekt}_{\text{Kalibrierung}}}$$

Da dieser Wert nicht bekannt ist, darf er, laut DIN 6800-2, ersatzweise durch Messungen bei der kleinsten verfügbaren Grenzenergie der Photonenstrahlung bestimmt werden. Diese entspricht einer Energie von 6MV, womit sich die gleichen Werte, wie die, die unter Messbedingungen ebenfalls mit 6MV Photonenstrahlung ermittelt wurden, ergeben. Daraus folgt, dass sich für den Korrekturfaktor k_p der Wert 1 ergibt.

1.5 Korrekturfaktor k_s zur Berücksichtigung der unvollständigen Sättigung

Der Korrekturfaktor k_s lässt sich gemäß DIN 6800-2 experimentell mit Hilfe eines Jaffé-Diagramms ermitteln. Hierzu müssen Dosismessungen unter Variation der Kammerspannung und ansonsten gleichbleibenden Messbedingungen durchgeführt werden. Anschließend werden die Anzeigewerte M der Ionisationskammer bezüglich Polaritätseffekt und Einfluss der Luftdichte korrigiert und ihr Kehrwert $\frac{1}{M}$ über dem Kehrwert der Spannung $\frac{1}{U}$ graphisch aufgetragen. Durch Extrapolation der aufgetragenen Gerade kann der Kehrwert des Anzeigewerts $\frac{1}{M_s}$ für die vollständige Sättigung am Schnittpunkt zwischen Gerade und Ordinate abgelesen werden.

Für die Berechnung von k_s gilt dann:

$$k_s = \frac{1}{1} \frac{M}{M_s}$$

Für $\frac{1}{M}$ wird der Anzeigewert verwendet, der bei der Kammerspannung ermittelt wird, die üblicherweise für die Dosismessung mit dieser Kammer verwendet wird. Bei der hier verwendeten Farmer Kammer also 400 V.

Aufgrund einer fehlerhaften Programmierung des Elektrometers (Unidos, PTW Freiburg) konnten die Messungen mit unterschiedlichen Kammerspannungen jedoch nicht durchgeführt werden, sodass k_s auf diese Weise nicht bestimmt werden konnte.

Eine weitere Möglichkeit, k_s zu bestimmen, ist mit Hilfe der Dosis pro Puls. Hierbei gilt folgende Formel, die der DIN 6800-2 zu entnehmen ist:

$$k_s = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D_p}{U}$$

Für die hier verwendete Farmer Kammer sind $\gamma = 0 \text{ V}$ und $\delta = 3,44 \text{ V/mGy}$ (die Werte sind kammerpezifisch und können aus einer Tabelle in der DIN 6800-2 entnommen werden).

Um k_s auf diesem Weg zu bestimmen, muss jedoch die Dosis zunächst ohne Berücksichtigung von k_s ($k_s = 1$) berechnet werden, um die Dosis pro Puls anschließend bestimmen zu können. Des Weiteren muss die Pulsfrequenz ermittelt werden.

Die Pulsfrequenz lässt sich mit Hilfe eines Oszilloskops bestimmen, das an den Strom des Magnetron angeschlossen ist (s. Abb. 2).

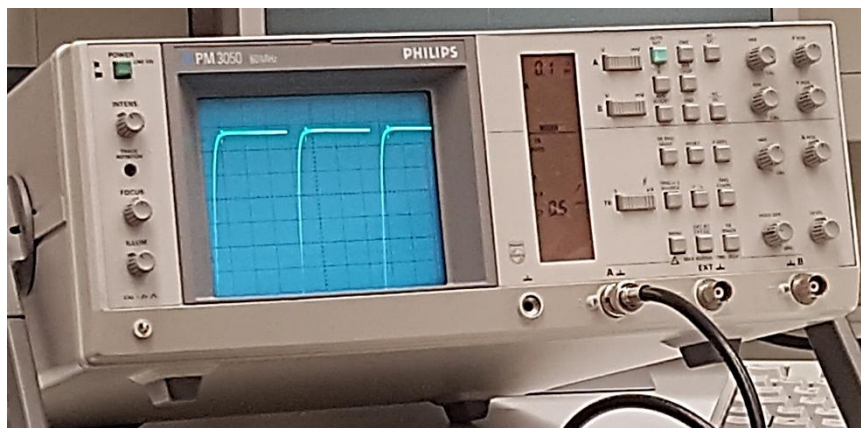


Abb. 2: Oszilloskop mit Anzeige des Pulses vom Magnetron

Aus der Anzeige des Oszilloskops lässt sich für eine Dosisrate von 400 ($\approx 400 \text{ MU/Min}$) ablesen, dass der Pulsabstand $\approx 1,8 \text{ ms}$ entspricht (1 Kästchen = $0,5 \text{ ms}$). Die Pulsfrequenz beträgt somit $\frac{1}{1,8 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 555,55 \text{ Hz}$.

1.6 Dosis und Dosis pro Puls

Die mit der Farmer Kammer gemessene Dosis bei einer Intervallmessung von 60 Sekunden (MU=400) beträgt 52,89 nC. Mit Hilfe der ermittelten Korrekturfaktoren lässt sich nun die Wasser-Energiedosisleistung in Gy/Min berechnen:

$$D = (M - M_0) \cdot N \cdot k_\rho \cdot k_h \cdot k_s \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_T \cdot k_{Q,R}$$

Mit

$$M - M_0 = 52,89 \cdot 10^{-9} \text{ C/Min}$$

$$N = 5,407 \cdot 10^7 \frac{\text{Gy}}{\text{C}}$$

$$k_\rho = 1,047$$

$$k_h = 1$$

$$k_s = 1$$

$$k_p = 1$$

$$k_r = 1,0092$$

$$k_T = 1$$

$$k_{Q,R} = 0,9897$$

ergibt sich:

$$D = 2,991 \text{ Gy/Min}$$

Daraus ergibt sich für die Dosis pro Puls:

$$D_{PP} = \frac{D}{f} = \frac{2,991 \text{ Gy} \cdot 1}{555,55 \frac{1}{s}} \cdot 60 \text{ sec} = 8,97 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} = 0,0897 \text{ mGy}$$

Nach Ermittlung der Dosis pro Puls kann schließlich auch k_s berechnet werden:

$$k_s = 1 + \frac{0 \text{ V} + 3,44 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 0,0897 \text{ mGy} = 1,00077$$

Wird k_s nun in die zuvor ermittelte Dosis miteinberechnet ergibt sich:

$$D = 2,991 \text{ Gy Min} \cdot 1,00077 = 2,993 \text{ Gy/Min}$$

Bei Bestrahlung mit 100 MU ($M \approx 17,5 \text{ nC}$) ergibt sich eine Dosis von:

$$D = 0,989 \text{ Gy Min} \approx 1 \text{ Gy/Min}$$

2 Konstanzprüfung: Dosis pro Monitoreinheit

Das Ziel der Konstanzprüfung ist zu überprüfen, ob die abgegebene Dosis pro Monitoreinheit konstant bleibt. Hierzu werden Dosismessungen bei unterschiedlichen Monitoreinheiten durchgeführt und anschließend die abgestrahlte Dosis pro Monitoreinheit berechnet, wobei die Werte ab 5 Monitoreinheiten stabil sein sollten. Die Messung wird mit der Farmer Kammer (0,6 cm³, PTW Freiburg) durchgeführt. Die durch das Elektrometer (Unidos, PTW Freiburg) gemessene Dosis in C kann durch Multiplikation mit dem Kalibrierfaktor und den zuvor ermittelten Korrekturfaktoren in Gy berechnet werden.

MU	Dosis in C	Dosis in Gy	Dosis in Gy/MU
1	$179,5 \cdot 10^{-12}$	0,0102	0,01016
2	$356,5 \cdot 10^{-12}$	0,0202	0,01009
3	$530,5 \cdot 10^{-12}$	0,0300	0,01001
5	$882,5 \cdot 10^{-12}$	0,0499	0,00999
10	$1,756 \cdot 10^{-9}$	0,0994	0,00994
50	$8,752 \cdot 10^{-9}$	0,4953	0,00991
100	$17,50 \cdot 10^{-9}$	0,9903	0,00990

Durch Auftragen der Dosis/MU über der Monitoreinheit zeigt sich, dass die Werte ab 5 MU bereits stabiler werden und ab 10 MU konstant sind.

