

Dosimetrie hochenergetischer Photonenstrahlung mit Ionisationskammern

Bedingt durch einen Ausbau der metrologischen Basis des METAS ergeben sich einige Ergänzungen bzw. Anpassungen der o.g. im Oktober 2000 publizierten Empfehlung Nr.8 der SGSMP. Diese Neuerungen sind gemeinsam mit den sich daraus ergebenden Änderungen in manchen Tabellen der Empfehlung im Folgenden zusammengestellt.

(Nachdruck aus dem SGSMP-Bulletin Dezember 2001)

Eichung von Referenz-Dosimetersystemen bei hochenergetischer Photonenstrahlung: Neuerungen seit 1.1. 2001

In der ersten Eichperiode seit 1997, als METAS und IRA die Eichfähigkeit basierend auf den EAM Weisungen¹ aufgenommen haben, wurden alle Referenzdosimetersysteme der Therapiezentren geeicht; sie werden nun sukzessive, entsprechend der vierjährigen Frist, nachgeeicht. In dieser Periode haben sich etwa 10% der für hochenergetische Photonenstrahlung verwendeten Referenzdosimetersysteme bei der Prüfung auf Grund verschiedener Mängel als nicht eichfähig erwiesen, was die Wichtigkeit der Eichfähigkeit unterstreicht.

Neben der Eichfähigkeit hat das METAS in dieser Periode auch weitere Anstrengungen unternommen, seine metrologische Basis für hochenergetische Photonenstrahlung auszubauen. Die entsprechenden Änderungen wurden auf Anfang 2001 eingeführt. Über diese Änderungen und die dadurch verursachten Auswirkungen auf alle Eichungen, die im Jahr 2001 vorgenommen wurden, ist bereits an mehreren Sitzungen der SGSMP Arbeitsgruppe „Medizinische Physik“ orientiert worden. Ab 1.1.2001 wurde zusätzlich jedem neuen Eichzertifikat ein Begleitschreiben mit den entsprechenden Erläuterungen beigelegt. Dennoch möchten wir im Folgenden nochmals zusammenfassend und detailliert darüber informieren.

Neues Verfahren für die Bestimmung der METAS Strahlenqualitäten

Die Strahlenqualitäten des METAS Beschleunigers wurden bis Ende 2000 ermittelt durch Messung des Verhältnisses M10/M20, mit anschließender Umrechnung auf TPR mit Hilfe der in der DIN 6800-2 Norm aufgeführten Formel 18. Diese Umrechnung wird auch in der neuen SGSMP Empfehlungen Nr. 8, „Dosimetrie hochenergetischer Photonenstrahlung mit Ionisationskammern“, erwähnt.

¹ „EAM Weisungen über den Aufbau, die messtechnischen Eigenschaften und die Eichung von ortsunabhängigen Referenz-Dosimetersystemen für die Strahlentherapie“ vom 22.5.97, gestützt auf die „Strahlenschutzverordnung“ (StSV) vom 22.6.94

Alle Beschleuniger Strahlenqualitäten wurden nun neu mit direkter Messung des TPR überprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass die Umrechnung aus M10/M20 zu geringfügigen Abweichungen gegenüber der direkten Messung führen kann. Die Ausgleichsfilter wurden nicht verändert.

Neue Strahlenqualitäten

Auf vielseitigen Wunsch unserer Kunden wurde vor einiger Zeit eine weitere Strahlenqualität mit 18 MV nomineller Erzeugungsspannung eingeführt. Der TPR-Wert für diese Strahlenqualität beträgt 0.768. Zusätzlich zu den bis Ende 2000 vorhandenen Strahlenqualitäten wird nun noch eine Neue mit 21 MV nomineller Erzeugungsspannung und einem TPR-Wert von 0.798 angeboten. Diese beiden neuen TPR-Werte werden mit entsprechend angepassten Ausgleichsfiltern erreicht. Auf Wunsch des Kunden ist eine Eichung auch bei diesen Strahlenqualitäten möglich.

Anpassung der Tabellen 1 und 2 der SGSMP Empfehlungen Nr. 8

Die geringfügige Korrektur der TPR-Werte des METAS Beschleunigers und die beiden neuen Strahlenqualitäten bedingen Anpassungen der Tabellen 1 (Liste der Strahlenqualitäten des METAS) und 2 (Korrektur für nicht-standardisierte Strahlenqualität) der SGSMP Empfehlung Nr. 8.

Die beiden Tabellen wurden entsprechend angepasst. Wie ein Vergleich der entsprechenden Tabelle 2 aus der SGSMP Empfehlung Nr. 8 mit der neuen Tabelle 2 zeigt, hat der Übergang zu den neuen TPR-Werten auf die angegebenen Korrekturfaktoren k_{Q,Q_C} keinen Einfluss, diese bleiben somit unverändert.

Tabelle 1: Strahlenqualitäten des METAS

Nominelle Erzeugungsspannung in MV (⁶⁰ Co)	Strahlenqualitätsindex Q_C (= $TPR_{20,10}$)	Wassertiefe ($g \cdot cm^{-2}$)
	0.570	5
4	0.639	10
6	0.674	10
8	0.716	10
10	0.748	10
12	0.759	10
15	0.763	10
18	0.768	10
18	0.785	10
21	0.798	10
21	0.802	10

Tabelle 2: Korrekturfaktoren k_{Q,Q_C} für verschiedene Q und $\Delta Q = Q - Q_C$

Q_C	Korrekturfaktor k_{Q,Q_C} für $DQ =$							
	+0.005	+0.007	+0.01	+0.02	-0.005	-0.007	-0.01	-0.02
0.639	1.000	1.000	0.999	0.999	1.000	1.000	1.001	1.001
0.674	1.000	0.999	0.999	0.998	1.001	1.001	1.001	1.002
0.716	0.999	0.999	0.998	0.996	1.001	1.001	1.002	1.003
0.748	0.999	0.998	0.997	0.994	1.001	1.002	1.003	1.005
0.759	0.998	0.998	0.997	0.993	1.002	1.002	1.003	1.006
0.763	0.998	0.998	0.997	0.993	1.002	1.002	1.003	1.006
0.768	0.998	0.998	0.997	0.993	1.002	1.002	1.003	1.007
0.785	0.998	0.997	0.996	-	1.002	1.003	1.004	-
0.798	0.998	0.997	0.995	-	1.002	1.003	1.005	-
0.802	0.998	0.997	0.995	-	1.002	1.003	1.005	-

Die angegebenen Korrekturfaktoren k_{Q,Q_C} sind auf alle empfohlenen Kammertypen anwendbar. Sie wurden von G. Stucki, METAS, berechnet unter Verwendung experimenteller Daten für die Ionisationskammern NE2611 und NE2571 und einer allgemeinen Beziehung für k_{Q,Q_C} (Gleichung 5, Kapitel 3 in Ref. 1) für andere Ionisationskammern.

Korrektur der alten Kalibrierfaktoren

Die wegen den leicht veränderten TPR - Werten nötige Korrektur der alten Kalibrierfaktoren ist bei den meisten Energien kleiner als 0.05%. Bis zu einem TPR von 0.785 sind die Korrekturen sicher vernachlässigbar. Für die höchste Strahlenqualität beträgt die Korrektur 0.3%. In Tabelle 3 sind die neuen und alten Strahlenqualitäts-Angaben und die entsprechenden Korrekturen aufgelistet.

METAS Strahlenqualitätsindex ab 2001 TPR direkt gemessen	METAS Strahlenqualitätsindex bis 2000 TPR aus M10/M20	Umrechnungsfaktor f_{TPR}
^{60}Co	^{60}Co	1.0000
0.639	0.634	0.9998
0.674	0.674	1.0000
0.716	0.717	1.0002
0.748	0.746	0.9995
0.759	0.759	1.0000
0.763	0.762	0.9997
0.768	0.767	0.9996
0.785	0.782	0.9987
0.798	-	-
0.802	0.795	0.9967

Tabelle 3: Neue und alte METAS Strahlenqualitätsindex-Angaben mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren f_{TPR} für die Umrechnung der bis 31.12.2000 abgegebenen Kalibrierfaktoren $N_{\text{W,Q}}$ auf die neuen $N_{\text{W,Q}}$

Anschluss der Eichungen in Wasserenergiedosis an das neue METAS Primärnormal

Bei der Eichung werden die Referenz-Dosimetersysteme der Therapiezentren an die metrologische Basis des METAS angeschlossen. Bis Ende 2000 bestand diese Basis aus Sekundärnormalen, welche ihrerseits ans NPL², bzw. ans BIPM³ angeschlossen waren. Ab Anfang dieses Jahres werden nun für alle Eichungen METAS Sekundärnormale verwendet, welche an das in den Jahren 1998-2000 aufgebaute METAS Primärnormal angeschlossen sind. Dieses Primärnormal besteht aus einem Wasserkalorimeter, welches direkt die Dosis im Wasser misst.

Das neue METAS Primärnormal wurde und wird, direkt oder indirekt mittels Ionisationskammern, mit den Normalen anderer internationaler oder nationaler Metrologieinstitute verglichen:

- 1999 Direkter Vergleich mit NRC⁴ Wasserkalorimeter bei ^{60}Co γ -Strahlung;
- 2000 Indirekter Vergleich mit BIPM bei ^{60}Co γ -Strahlung;
- 2000 Indirekter Vergleich mit LNHB⁵ bei ^{60}Co γ -Strahlung und hochenergetischen Photonen im Energiebereich 6 - 20 MV;
- 2001 Indirekter Vergleich mit NPL bei ^{60}Co γ -Strahlung und hochenergetischen Photonen im Energiebereich 4 - 19 MV (Auswertungen noch nicht abgeschlossen);
- 2001 Indirekter Vergleich mit ARPANSA⁶ bei ^{60}Co γ -Strahlung und hochenergetischen Photonen im Energiebereich 10 - 19 MV (noch nicht abgeschlossen).

Mit diesen umfangreichen Vergleichsmessungen ist das METAS Primärnormal international sehr breit abgestützt. Im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit des METAS werden auch in Zukunft weitere derartige Vergleichsmessungen folgen.

² NPL: „National Physical Laboratory“ (UK)

³ BIPM: „Bureau International des Poids et Mesures“ (Sèvres)

⁴ NRC: „National Research Council“ (CA)

⁵ LNHB: „Laboratoire National Henry Becquerel“ (FR)

⁶ ARPANSA: „Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency“ (AU)

Im Vergleich zu den bis Ende 2000 bei Eichungen von METAS verwendeten, ans NPL angeschlossenen Sekundärnormalen liefert das METAS Primärnormal höhere Kalibrierfaktoren. Diese Änderungen sind energieabhängig. In Tabelle 4 sind die entsprechenden Erhöhungen aufgeführt:

TPR Verwendet ab 1.1. 2001	Abweichung relativ zur alten Basis in %	Umrechnungsfaktor f_{Prim}
(^{60}Co)	+ 0.5	1.005
0.639	+ 0.6	1.006
0.674	+ 0.7	1.007
0.716	+ 0.8	1.008
0.748	+ 0.9	1.009
0.759	+ 0.9	1.009
0.763	+ 0.9	1.009
0.768	+ 1.0	1.010
0.785	+ 1.0	1.010
0.802	+ 1.1	1.011

Tabelle 4: Abweichungen der neuen Kalibrierfaktoren $N_{W,Q}$ für die Wasserenergiedosis mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren f_{Prim} für die Umrechnung der bis 31.12.2000 abgegebenen Kalibrierfaktoren $N_{W,Q}$ auf die neuen $N_{W,Q}$

Kalibrierfaktoren $N_{W,Q}$ in den neuen Eichzertifikaten

Ab 1.1.2001 werden in den neuen Eichzertifikaten nur noch die Kalibrierfaktoren basierend auf dem METAS Primärnormal und den neuen TPR - Werten angegeben. Das Verhältnis zur alten METAS Sekundärbasis mit den alten TPR - Werten wird jedoch in einem, dem Eichzertifikat beige-fügten Anhang erläutert. Die alten, vor 2001 vom METAS abgegebenen Wasserenergiedosis-Kalibrierfaktoren müssen mit dem in Tabelle 5, Spalte 3 aufgeführten Korrekturfaktor multipliziert werden, damit sie mit den neuen Kalibrierfaktoren verglichen werden können.

METAS Strahlenqualitätsindex ab 2001 TPR direkt gemessen	METAS Strahlenqualitätsindex bis 2000 TPR aus M10/M20	Korrekturfaktor für die bis 31.12.2000 abgegebenen $N_{W,Q}$
(^{60}Co)	(^{60}Co)	1.005
0.639	0.634	1.006
0.674	0.674	1.007
0.716	0.717	1.008
0.748	0.746	1.008
0.759	0.759	1.009
0.763	0.762	1.009
0.768	0.767	1.009
0.785	0.782	1.009
0.802	0.795	1.008

Tabelle 5: Neue und alte METAS Strahlenqualitätsindex-Angaben mit den entsprechenden Korrekturfaktoren für die bis 31.12.2000 abgegebenen Kalibrierfaktoren $N_{W,Q}$ für ^{60}Co γ -Strahlung und hochenergetische Photonenstrahlung im Bereich von TPR = 0.639 - 0.802

Messunsicherheiten der neuen Kalibrierfaktoren:

Gleichzeitig mit der Einführung des neuen Primärnormals konnten auch die Unsicherheiten der bei einer Eichung abgegebenen Wasserenergiedosis-Kalibrierfaktoren reduziert werden:

Die Unsicherheit von $N_{W,Co}$ beträgt neu typisch 1% (früher 1.7%);

Die Unsicherheit von $N_{W,Q}$ im Bereich 4 - 21 MV beträgt neu typisch 1.4% (früher 1.8%).

Luftkerma bei ^{60}Co γ -Strahlung

Für die Messgrösse Luftkerma bei ^{60}Co γ -Strahlung verwendet METAS weiterhin Sekundärnormale, welche an die Normale des BIPM angeschlossen sind. Der Kalibrierfaktor $N_{K,Co}$ ändert sich damit nicht.