

Ein nationaler Dosimetrievergleich durch Postversand von TLDs

H. Schiefer¹, W.Seelentag¹, G. Stucki²

¹Klinik für Radio-Onkologie, Kantonsspital, 9007 St.Gallen

² Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung Schweiz (METAS), 3003 Bern-Wabern

Zusammenfassung

Von 1991 bis 1999 wurde vom Physikteam des Universitätsspitals Zürich im Auftrag der SGSMP jährlich ein nationaler Dosimetrievergleich durchgeführt [1]. Der diesjährige Vergleich wurde erstmalig von der Physikgruppe des Kantonsspitals St.Gallen organisiert. Zu diesem Zweck musste die gesamte Infrastruktur neu aufgebaut werden: Es wurde ein neuer TLD-Halter konzipiert (und an die teilnehmenden Institutionen verteilt); weiter wurden 800 TLD beschafft sowie in Zusammenarbeit mit METAS mehrere Messreihen zur Bestimmung von TLD-Eigenschaften durchgeführt. Alle Daten des Dosimetrievergleiches werden mit einer für diesen Zweck programmierten Access-Datenbank aufbereitet und verwaltet.

An der Messkampagne vom Juni/August 2001 nahmen 19 Institutionen teil. Nach Abklärung einzelner Bestrahlungsfehler stimmten alle mit TLD gemessenen Dosiswerte (D_m) mit den angegebenen Werten (D_s) innerhalb von 3% überein, was als befriedigend anzusehen ist. Der Mittelwert des Verhältnisses D_m/D_s für 6 MV lag bei 0.999 (14 Messungen; $\sigma = 1.2\%$), für 15 MV bei 1.004 (7 Messungen; $\sigma = 0.7\%$), für 18 MV bei 1.000 (14 Messungen; $\sigma = 1.6\%$), für ^{60}Co bei 0.992 (4 Messungen; $\sigma = 1.4\%$).

Abstract

A National Dosimetry Intercomparison with Mailed TLD.

A annual dosimetry intercomparison had been conducted on behalf of SSRMP by the physics team of Zürich University Hospital from 1991 to 1999 [1]. In 2001 this intercomparison was organised by the physics group of Kantonsspital St.Gallen for the first time. A new infrastructure had to be set up for this: a new TLD holder was designed and distributed amongst all participating centres; 800 TLD were bought, and several measurements were conducted in cooperation with the Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS) to determine parameters affecting the TLD calibration. All data are managed in an Access data base, programmed especially for this purpose.

19 institutions participated in the first measurement campaign during June/August 2001. After sorting out a few erroneous irradiations all values measured with TLD (D_m) agreed with the stated values (D_s) within 3%, which is considered satisfactory. The average of the ratio D_m/D_s was 0.999 for 6 MV (14 measurements; $\sigma = 1.2\%$), 1.004 for 15 MV (7 measurements; $\sigma = 0.7\%$), 1.000 for 18 MV (14 measurements; $\sigma = 1.6\%$), and 0.992 for ^{60}Co (4 measurements; $\sigma = 1.4\%$).

Einleitung

Ziel des Dosimetrievergleichs ist die Kontrolle der Monitorkalibrierung (Bestrahlungszeitentabelle bei ^{60}Co -Geräten) aller Bestrahlungsgeräte in den Radiotherapiezentren der Schweiz. In Übereinstimmung mit ähnlichen Vergleichen wird eine Differenz zwischen gemessener und vorgesehener Dosis von weniger als 3% als befriedigend angesehen [1].

Ausgehend von den Erfahrungen mit dem bisher von den Kollegen des Universitätsspitals Zürich verwendeten Halters wurde ein neuer TLD-Halter konzipiert und an alle beteiligten Zentren verteilt: jeweils 5 TLD sind in einer Plexiglashülse eingeschlossen, die in den Halter in genau definierter Position eingeschraubt wird; dieser Halter ist dann in einen geeigneten Wasserbehälter zu stellen. Speziell für den Dosimetrievergleich wurden 800 neue TLD-100 beschafft.

Die Absolutkalibrierung ausgewählter TLD wurde am Linearbeschleuniger (bei 6 bzw. 15 MV) in St.Gallen mit einem Sekundärstandard-Dosimeter vorgenommen, das vor kurzem bei METAS kalibriert worden war. Die individuelle Empfindlichkeit aller TLD wurde durch Relativmessungen an einem ^{60}Co -Gerät bestimmt. Weitere Korrekturfaktoren wurden für das Fading (Verlust des Messsignals mit zunehmendem Zeitabstand zwischen Bestrahlung und Auswertung) und die Supralinearität (überproportionales Ansteigen des Messsignals mit steigender Dosis) ebenfalls für ^{60}Co ermittelt. Zur detaillierteren Bestimmung der Energieabhängigkeit wurden am METAS Dosimeter mit insgesamt 7 Photonenenergien (^{60}Co sowie am Beschleuniger mit nominell 4 bis 21 MV) bestrahlt.

Da für den ersten von St.Gallen organisierten Vergleich auch die Kontrolle der Logistik ein wichtiger Punkt war, wurde in diesem Jahr bei jedem Bestrahlungsgerät nur bei der jeweils höchsten Photonenenergie gemessen.

Material und Methoden

Es wurden 800 TLD-100 Discs ($7.5\text{mm}^F \times 0.9\text{mm}$) der Firma Harshaw-Bicron (STI) neu angeschafft; von diesen wurden 750 kalibriert sowie 50 als Ersatz bereitgehalten. Zur Auswertung dient der Reader "5500", ebenfalls von Harshaw, mit dem jeweils 50 TLD in einem Arbeitsgang automatisch ausgewertet werden können. Aus diesem Grunde wurden Sets von jeweils 50 TLD zusammengestellt. Solche Sets werden jeweils komplett ausgewertet; alle einzelnen Detektoren eines Sets haben also eine gemeinsame Bestrahlungs- bzw. Auswert-"Geschichte". Jeweils 5 TLD bilden eine Gruppe und werden in einer Plexiglashülse verpackt; jede dieser Hülsen stellt also ein "Dosimeter" dar, für das ein mittlerer Messwert und dessen Standardabweichung ermittelt werden kann.

Die neuen TLD wurden zur Stabilisierung etwa 5 Bestrahlungs- und 10 Annealing-Prozessen ausgesetzt. Anschliessend wurden sie am ^{60}Co -Gerät mit 1 Gy definiert bestrahlt (Referenzbestrahlung). Die Auswertung dieser Bestrahlung diente der Ermittlung des "element correction coefficient" (ECC), der relativen Empfindlichkeit der einzelnen TLD. Es zeigte sich, dass die ECCs aller kalibrierten TLD eine erfreulich geringe Streuung ($\sigma = 1.9\%$) aufweisen (Abb. 1).

Zur Berücksichtigung der Systemempfindlichkeit für die laufende Auswertung werden jeweils 10 TLD am ^{60}Co -Gerät mit einer Referenzdosis von 1 Gy bestrahlt. Das aus dem Mittelwert dieser Messungen und dem Sollwert gebildete Verhältnis wird dann als Korrekturfaktor auf die Messwerte der anderen 40 TLD angewandt.

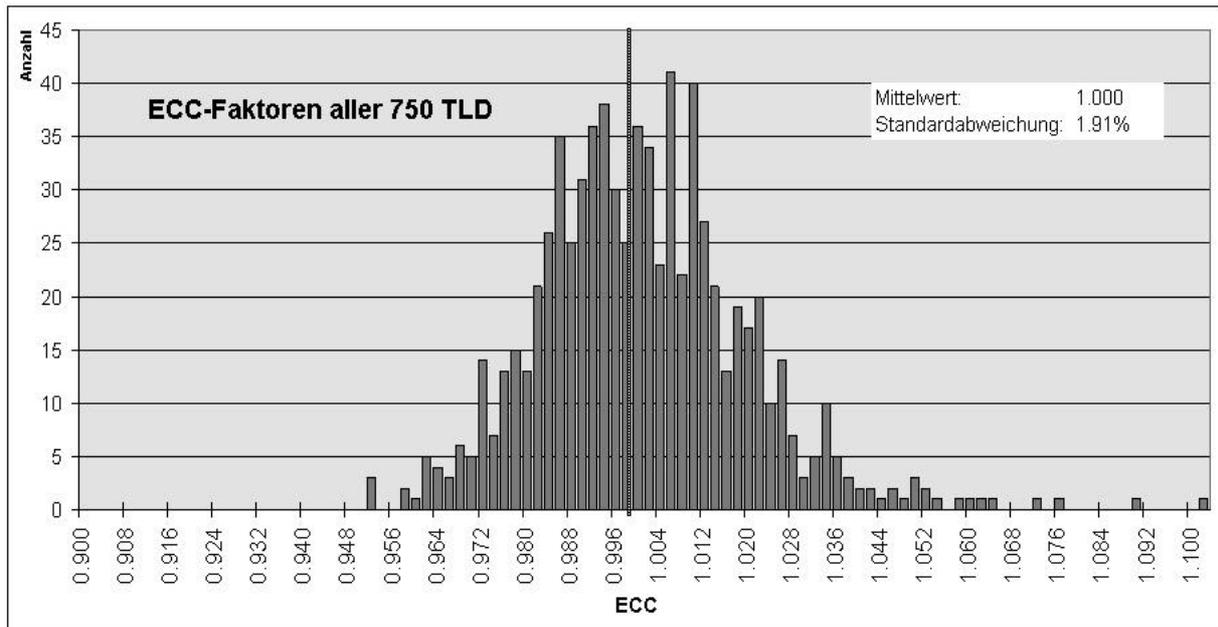


Abb.1: Verteilung der ECCs aller kalibrierten TLD; die Bestimmung dieser Faktoren beruht auf einer Einzelmessung; um die Werte aus verschiedenen Messungen (Sets) vergleichen zu können, sind sie in der Abb. auf dem Mittelwert des jeweiligen Sets normiert.

Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Einzelmessung (normiert auf den Mittelwert der 10 Kontroll-TLD) wurden mit einem Set ("vb") Referenzbestrahlungen am ^{60}Co -Gerät mit 1 Gy durchgeführt. Die Standardabweichung bei 6 solchen Bestrahlungen betrug im Mittel 0.93 % für das einzelne TLD bzw. 0.31% für eine Fünfergruppe (wie sie in einer Hülse für einen Messpunkt beim Dosimetrievergleich eingesetzt wird).

Leider ist die TLD-Empfindlichkeit langfristig nicht konstant. Um diesen Einfluss zu korrigieren und gleichzeitig die Genauigkeit der relativen Empfindlichkeit des einzelnen TLD zu erhöhen, erfolgt vor und nach jeder Messung im Rahmen des Dosimetrievergleichs eine Referenzbestrahlung am ^{60}Co -Gerät. Der Mittelwert dieser beiden Messwerte wird als Kalibrierfaktor für den Empfindlichkeitsdrift verwendet. Im Gegensatz zum auf einer Einzelmessung beruhenden ECC beruht dieser Kalibrierfaktor also auf zwei Messungen.

Der Verlust an Messsignal mit zunehmender Zeitspanne zwischen Bestrahlung und Auswertung wird als Fading bezeichnet. Dieser Effekt ist bei den verwendeten TLD recht ausgeprägt und beträgt etwa 1% in 12 Tagen (sh. Abb. 2).

Obwohl dieser Effekt bei der Auswertung berücksichtigt wird, ist es wünschenswert, die Auswertung möglichst kurzfristig nach der Bestrahlung durchzuführen, was nur bei guter Kooperation aller am Vergleich teilnehmenden Institute möglich ist.

Des weiteren wurde die Veränderung der Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Dosis bestimmt. Grundsätzlich nimmt die Empfindlichkeit mit steigender Dosis zu (Supralinearität). Der Korrekturfaktor ist auf die Referenzdosis (1 Gy) normiert und wird durch die Funktion

$$F_{\text{Supralin.}}(M) = 1.0917 - 0.000917 * M \quad M = \text{unkorrigierter Messwert, (1 M} \cong \text{etwa 1 cGy)}$$

beschrieben.

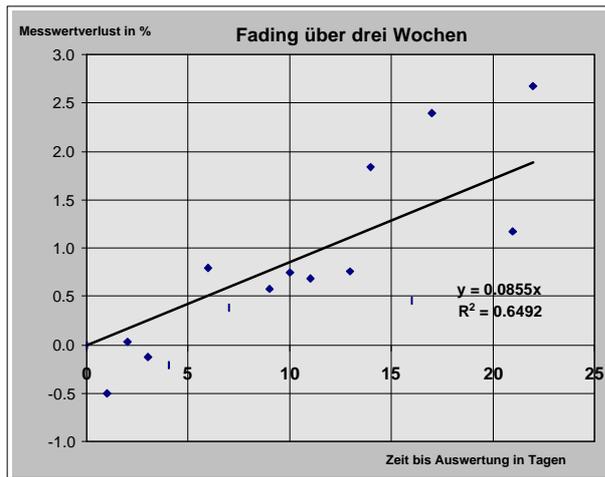


Abb. 2:

Das Fading der verwendeten TLD kann beschrieben werden durch die Funktion

$$F_{\text{fading}}(dt) = 1 / (1 - 0.000855 \times dt)$$

dt = Zeitdifferenz [in Tagen] zwischen Bestrahlung und Auswertung.

Bei einer Abweichung der Dosis um 10% von der Zieldosis (1 Gy) ergibt sich daraus eine Korrektur von 0.9%. Da grössere Abweichungen von der Zieldosis nicht auftreten sollten, handelt es sich also nur um eine geringfügige Korrektur.

Zur Bestimmung des Energiekorrekturfaktors wurden zwei Sets bei METAS mit Photonen verschiedener Energien bestrahlt (Abb. 3).

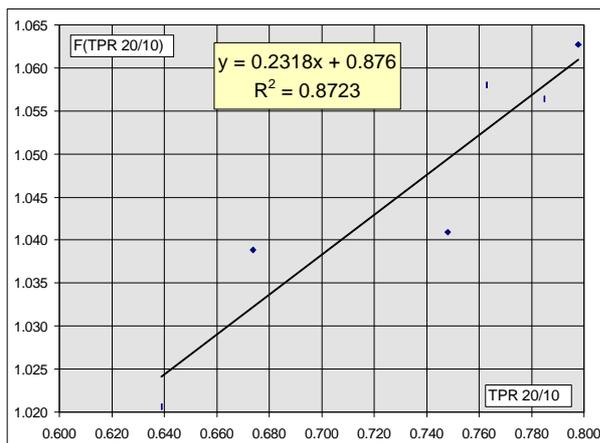


Abb.3:

Die Energieabhängigkeit kann durch die Funktion

$$F_{\text{TPR}20,10} = 0.876 + 0.2318 \times \text{TPR}_{20,10}$$

beschrieben werden und ist für Kobalt ($\text{TPR}_{20,10} = 0.540$) auf 1 normiert. Für übliche Beschleunigerphotonen liegt der Faktor zwischen 1.029 (6 MV, $\text{TPR}_{20,10} = 0.66$) und 1.058 (18 MV, $\text{TPR}_{20,10} = 0.786$).

Da die Dosimetrie der Referenzbestrahlungen mit Kobalt sehr indirekt war, wurden zur Absolutkalibrierung je 4 Dosimeter (zu 5 TLD) im neuen Phantom am Linearbeschleuniger bei 6 bzw. 15 MV bestrahlt; die Dosis wurde in identischer Geometrie (mit einem speziellen Kammerhalter) mit einem Sekundärstandard-Dosimeter bestimmt, das vor kurzem am METAS kalibriert worden war. Da der Energiegang der Bestrahlungen bei METAS und in St.Gallen nicht identisch war, wurde der Mittelwert zur Absolutkalibrierung herangezogen.

Mit dieser Kalibrierung ergaben sich für St.Gallen Vergleichswerte von 0.997 (6 MV) bzw. 1.004 (15 MV): der Grund für diese relative Abweichung von 0.7% soll weiter abgeklärt werden, kann aber vmtl. durch die Abweichungen der Einzelwerte von der Ausgleichsgeraden (Abb. 4) erklärt werden. Ebenso steht die Kalibration der Elektronenenergien zur Zeit noch aus.

Zur einfachen und schonenden Handhabung der TLD wurde ein neuer TLD-Halter konzipiert (sh. Abb. 4). Durch Einschrauben der Hülse können die TLD in Tiefen von 2, 5, 10 und 20 cm fixiert werden. Der Halter wird zur Bestrahlung in einen geeigneten (ausreichend grossen) Wasserbehälter gestellt. Eine Einstellhilfe dient sowohl der genauen Kontrolle des Wasser-

standes wie der Ausrichtung im Zentralstrahl. Um den Messwert nicht zu beeinflussen, muss diese Einstellhilfe aber vor der eigentlichen Bestrahlung entfernt werden.

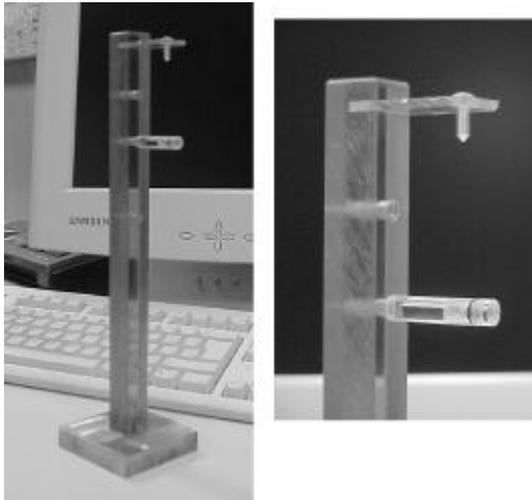


Abb. 4, links: TLD-Halter mit Einstellhilfe und Dosimeterhülse in $d = 5$ cm. Die ursprünglich mitgelieferte Bodenplatte sollte durch Ausgießen mit Lippowitz-Legierung die notwendige Standfestigkeit liefern, erwies sich jedoch leider als nicht ausreichend hitzebeständig; es wird deshalb empfohlen, sdie durch einen Metallfuss zu ersetzen.

Abb. 4, rechts: Detailaufnahme von Einstellhilfe und Dosimeterhülse. Die Einstellhilfe ist vor der eigentlichen Bestrahlung zu entfernen, um nicht durch ihre Absorption den Messwert zu beeinträchtigen.

Alle am Dosimetrievergleich teilnehmenden Institutionen wurden gebeten, die für den Vergleich massgebenden Daten (Institution, Therapiegeräte, Energien, TPR_{20,10}) anzugeben (sh. Abb. 5). Diese Daten stehen nun, zusammen mit den Details der einzelnen Bestrahlungen, in einer Datenbank zur Verfügung und erlauben eine automatische Berücksichtigung der Energieabhängigkeit, des Fadings sowie der applizierten Dosis.

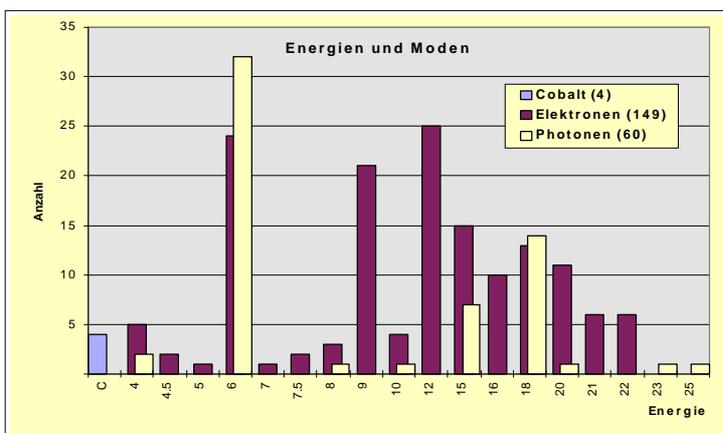


Abb. 5:

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung standen in der Schweiz 38 Linearbeschleuniger mit 60 Photonen- und 149 Elektronenenergien im Einsatz, dazu 4 Kobaltgeräte.

Anfangs Juni wurden die Dosimeter zusammen mit den Phantomen an die Institutionen versandt. Bei der erstmaligen Durchführung wurde bei jedem Bestrahlungsgerät nur die höchste Photonenenergie gemessen. Die Bestrahlung erfolgte im Focus-Isocenter-Abstand und in einer Tiefe von 10 cm für Linearbeschleuniger und 5 cm für ⁶⁰Co-Geräte mit einem Feld von 10 cm x 10 cm Grösse (am Isozentrum). Die Solldosis von 1 Gy liegt näher an den heute pro Feld üblichen Werten als die bisher verwendeten 2 Gy und erleichtert wegen der niedrigen Dosisleistung von etwa 0.13 Gy/min auch die Dosimetrie am Kobaltgerät in St.Gallen. Auf der anderen Seite führt die Rundung auf ganze Monitoreinheiten am Beschleuniger aber zu recht grossen Rundungsfehlern. Die Teilnehmer wurden deshalb angewiesen, die Dosis von 1 Gy so genau wie möglich zu applizieren und die berechnete Dosis auf ein Promille genau anzugeben.

Ergebnisse

Alle im Frühjahr 2001 praktizierenden Institute waren angefragt worden und beteiligten sich mit insgesamt 38 Therapiegeräten. Der Mittelwert des Verhältnisses der mit TLD gemessenen zur beabsichtigten Dosis D_m/D_s liegt bei 0.999 für 6 MV (14 Messungen; $\sigma = 1.2\%$), bei 1.004 für 15 MV (7 Messungen; $\sigma = 0.7\%$), bei 1.000 für 18 MV (14 Messungen; $\sigma = 1.6\%$), bei 0.992 für ^{60}Co (4 Messungen; $\sigma = 1.4\%$). Der Mittelwert aller Strahlenqualitäten liegt bei 1.000 mit einer Standardabweichung von 1.33%.

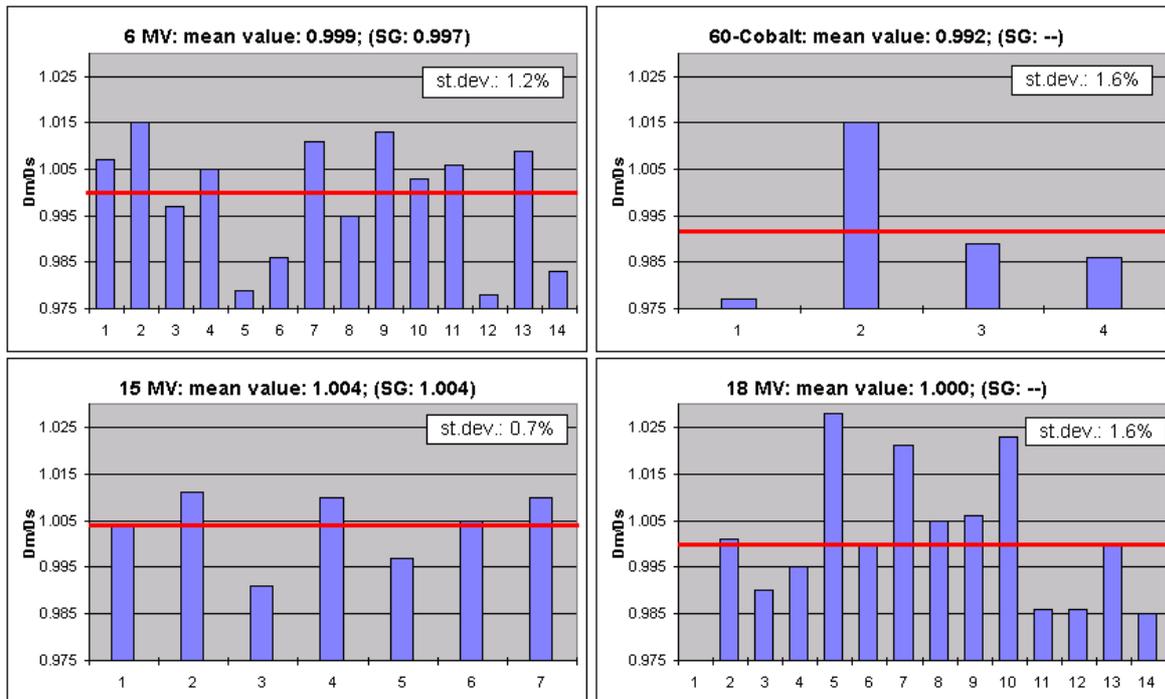


Abb. 6: Zusammenstellung für die am häufigsten verwendeten Energien. Alle Ergebnisse liegen innerhalb von 3%.

Diskussion

Die Resultate des Vergleiches sind durchwegs befriedigend. Alle mit TLD gemessenen Dosen stimmten innerhalb von 3 % mit den angegebenen Werten überein.

Der erste vom St.Galler Physikteam durchgeführte Dosimetrievergleich zeigte insbesondere auch, dass die Logistik funktioniert. Zukünftige Vergleiche können somit umfangreicher angelegt werden (z.B. alle zum Einsatz kommenden Energien kontrollieren) und/oder weitere Feldparameter (z.B. $\text{TPR}_{20,10}$, Keilfilterfaktor, Querprofil, Feldgrößenabhängigkeit) umfassen. Ebenso ist vorgesehen, nach entsprechenden Kalibriermessungen Vergleiche bei Elektronenstrahlung durchzuführen.

Literatur

- [1] B. Reiner, P. Fässler, J.B.Davis: Nine years of annual dosimetry intercomparison in Switzerland: a short review. Tagungsbericht der SGSMP 1999 (ISBN 3 906 401 33 2), Seiten 61-67.