

Benjamin Ackermann
Dr. sc. hum.

Validierung eines 2D Ionisationskammerarrays für die Qualitätssicherung in der Ionenstrahl-Therapie

Fach/Einrichtung: Radiologie / Radiologische Klinik der Universität Heidelberg
Doktorvater: Prof. Dr. Oliver Jäkel

Die Ionenstrahl-Therapie bietet durch die Bragg-Peak Charakteristik eine hervorragende Möglichkeit, die Dosisverteilung auf das Zielvolumen zu konzentrieren. In den letzten Jahrzehnten wurden hauptsächlich Therapien mit Protonen, aber auch anderen Ionensorten wie Kohlenstoffionen mit unterschiedlichen Formen der Bestrahlungstechnik entwickelt und etabliert. Dabei nehmen sogenannte Pencil Beam Scanning Systeme eine zunehmend dominierende Rolle ein. Insbesondere für diese ist eine genaue Einstellung und Kontrolle der Strahlparameter nötig. Die Strahlbreite stellt dabei eine herausfordernde Größe sowohl bezüglich der Auswirkung von Abweichungen der Strahlbreite auf die Dosisverteilung als auch bezüglich der ausreichend genauen Messbarkeit dar. Die Auswirkungen von Abweichungen der Strahlbreite wurden bezüglich der Gegebenheiten des Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum einschließlich des verwendeten Bestrahlungsplanungssystems untersucht. Als Toleranzen werden daraus folgend als maximal erlaubte Abweichung $-15\%/+25\%$ und als Aktionsgrenze zur Überarbeitung der Strahlbreiteneinstellungen $\pm 10\%$ empfohlen. Einzelne Bestrahlungsfelder können selbst bei $\pm 10\%$ Abweichung noch in kleinen Bereichen signifikante Abweichungen der Dosisverteilung zeigen. Daher wird empfohlen, für kleine bzw. stark modulierte Bestrahlungsfelder die Pläne auf Robustheit bezüglich Unsicherheiten der Strahlbreite zu überprüfen. Um die Strahlbreite ausreichend genau zu überprüfen, wird daher ein Messsystem benötigt, welches die Strahlbreite mit einer Genauigkeit von besser als $\pm 5\%$ bestimmen kann. Aufgrund der Vielzahl an zu messenden Stützstellen ist es außerdem erforderlich, dass die Strahlbreite zeiteffizient gemessen werden kann.

Zu diesem Zwecke und für weitere Prüfungsparameter wie Strahlposition und Feldhomogenität wurde der Detektor Octavius 1600 XDR validiert. Untersuchungen zur Hintergrundkorrektur des Detektors zeigen für eine Messzeit von einer Minute im empfindlichen Messbereich kleine Dosisabweichungen von maximal 1 mGy. Im zweiten, unempfindlicheren Messbereich, der für Bestrahlungsfelder aus Patientenplänen benötigt wird, treten allerdings größere Abweichungen von bis zu 20 mGy auf. Durch eine Optimierung der Hintergrundkorrektur kann dieser Wert auf 10 mGy reduziert werden. Für eine Weiterentwicklung des Detektors wird empfohlen, einen etwas kleineren Messbereich mit maximaler Dosis pro Auslesezyklus von ca. 1.0 Gy statt 6.7 Gy einzusetzen, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu reduzieren. Mit der aktuellen Messbereichskonfiguration müssen die Bestrahlungspläne und Messbereiche gut aufeinander abgestimmt werden, z.B. entsprechend geringe Strahlintensität oder geringe Dosisbelegung, um mit dem empfindlichen Messbereich messen zu können. Die Qualitätssicherungsmerkmale Strahlposition und -breite können für Strahlbreiten größer als 6 mm FWHM trotz der Auflösung des Octavius Detektors von 2.5 mm im Vergleich zu einem Referenzsystem jeweils mit einer Genauigkeit von ± 0.3 mm bzw. $\pm 5\%$ ermittelt werden. Für die Dosishomogenität eines 2D Bestrahlungsfeldes stimmen die Ergebnisse gegenüber

dem Referenzsystem innerhalb von ± 1 Prozentpunkt überein. Untersuchungen zur räumlichen Auflösungseigenschaft zeigen, dass vorhandene Abweichungen in der Feldhomogenität um einen Prozentpunkt unterschätzt werden können. Dies kann durch das konservative Anpassen der Toleranzschwelle für dieses Prüfmerkmal von $\pm 5\%$ auf $\pm 4\%$ berücksichtigt werden. Erste Messungen innerhalb eines Spread-Out Bragg Peaks zeigen eine gute Übereinstimmung der Form der Dosisverteilungen. Allerdings musste sowohl für Protonen als auch für Kohlenstoffionen die Dosisverteilung um 0.6% bis 3.0% hochskaliert werden. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Detektor trotz des Einsatzes von luftgefüllten Ionisationskammern ein stärker ausgeprägtes energieabhängiges Ansprechvermögen besitzt als Detektoren für die Referenzdosimetrie. Dieser Punkt benötigt daher noch weitere Untersuchungen. Für die Prüfungen der Merkmale Strahlposition, Strahlbreite und Feldhomogenität spielt dies keine Rolle, da hier monoenergetische Bestrahlungsfelder genutzt und die Messungen im Plateaubereich durchgeführt werden. Diese Prüfparameter können daher in der Qualitätssicherung mit dem Octavius 1600 XDR gemessen werden.