



**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**  
**Medizinische Fakultät Mannheim**  
**Dissertations-Kurzfassung**

**Entwicklung eines neuartigen, bogenbasierten  
Ganzkörperbestrahlungsverfahrens zur Konditionierung vor  
Blutstammzelltransplantation**

Autor: Anika Jahnke (geb. Klages)  
Institut / Klinik: Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie  
Doktorvater: Prof. Dr. G. Glatting

In dieser Arbeit wurde ein Verfahren zur bogenbasierten Ganzkörperbestrahlung in erhöhtem Fokus-Oberflächen-Abstand zur Konditionierung vor Blutstammzelltransplantationen entwickelt. Dafür wurde ein mathematisches Modell zur Gewichtung der einzelnen Segmente des Bogens erstellt, welches mehrere Randbedingungen (maximaler Fokus-Oberflächen-Abstand von ca. 200 cm, nur ein Isozentrum, keine Feldanschlüsse, Implementierung in einen konventionellen Behandlungsraum, Verzicht auf teures zusätzliches Equipment und Robustheit gegenüber Positionierungsfehlern) erfüllt. Dazu wurden zwei Bögen mit 10 Segmenten und einer konstanten Feldgröße von  $10 \times 40 \text{ cm}^2$  generiert, wobei die Applikation von 2 Gy innerhalb von ca. 18 min erfolgt. Die Bestrahlung erfolgt mit zwei Bögen, wobei der Patient einmal in Bauchlage und einmal in Rückenlage bestrahlt wird.

Die Genauigkeit des mathematischen Modells wurde systematisch für verschiedene Phantomdicken mit unterschiedlichen Bögen untersucht. Dazu wurden Ionisationskammer- und Filmmessungen durchgeführt, die im zentralen Profil sowie im summierten Ein- und Austrittsprofil eine Flatness von unter 10% aufwiesen. Zur Aufsättigung der Hautdosis wird ein Spoiler verwendet, dessen optimaler Abstand zum Phantom anhand von Oberflächendosismessungen mit 18 bis 22 cm bestimmt wurde. Somit wurde direkt an der Oberfläche eine Verdopplung der Dosis erzielt. Um den Dosisverlauf in anterior/posterior-Richtung zu verifizieren, wurden Tiefendosiskurven für verschiedene Phantomdicken analysiert. Mit der verwendeten Energie von 6 MeV und einem Fokus-Oberflächen-Abstand von 186 cm kann ein maximaler Patientendurchmesser von 30 cm mittels APPA-Bestrahlung noch innerhalb von  $\pm 10\%$  der Verschreibungsdosis bestrahlt werden. Zur Reduzierung der Lungendosis auf 8-10 Gy werden individuelle Bleiblöcke angefertigt. Anhand von Messungen wurde die Dicke der Bleiblöcke für 10 bzw. 12 Gy Gesamtdosis mit 8 bzw. 12 mm bestimmt. Des Weiteren wurde ein patientenspezifisches Qualitätssicherungsverfahren entwickelt, wobei der Bogen absolut kalibriert wird und eine Überprüfung der Dosis in sechs repräsentativen Punkten für die Patientenanatomie stattfindet, um die Einhaltung der geforderten Dosisinhomogenität von  $\pm 10\%$  zu gewährleisten.

Um eine Aussage über die gesamte Dosisverteilung im Patienten treffen zu können, wurde das Monte-Carlo-Planungssystem Monaco (modifizierte Version) verwendet, welches zuerst für erweiterte Fokus-Oberflächen-Abstände kommissioniert wurde. Der Vergleich der Simulationen von offenen Feldern und der entwickelten Bestrahlungsbögen zu Messungen in Phantomen ergab eine Übereinstimmung innerhalb der Messunsicherheiten. Zur Erstellung von Dosis-Volumen-Histogrammen wurden zwei verschiedene Methoden (Berechnung ohne Registrierung auf einem CT bzw. mithilfe deformierbarer Registrierung auf zwei CTs) entwickelt. Ohne Registrierung ergibt sich aus dem Dosis-Volumen-Histogramm eine Dosisabdeckung von 93,8% des Zielvolumens innerhalb von  $\pm 10\%$  und eine maximale Dosis von 126%. Im Gegensatz dazu werden mithilfe der deformierbarer Registrierung 97,1% Zielvolumenabdeckung und 122% maximale Dosis erreicht. Der absolute Dosisunterschied zwischen beiden Berechnungsmethoden beträgt 2,5% für das Zielvolumen und kleiner 1% für Lunge, Niere, Herz und Rückenmark. Hierbei ist die Änderung des Patientendurchmessers und damit verbunden des Fokus-Oberflächen-Abstandes zwischen Bauch- und Rückenlage und der korrekte Abstand der Extremitäten zur Quelle entscheidend für eine richtige Dosisberechnung. Dies führt bei der Berechnung ohne Registrierung zu einer Dosisüberschätzung aufgrund des zu kleinen Fokus-Oberflächen-Abstandes ( $1 \text{ cm} \approx 1\%$ ). Beide Effekte werden bei der deformierbaren Registrierung durch die Verwendung von Rücken- und Bauchlage-CT berücksichtigt. Die absolute Differenz von nur 2,5% zeigt, dass die Näherung ohne Registrierung zur Berechnung von

Dosis-Volumen-Histogrammen auch herangezogen werden kann. Bei zu großen Unterschieden des Durchmessers bzw. des Fokus-Oberflächen-Abstandes der Extremitäten zwischen Bauch- und Rückenlage wird diese Differenz größer, so dass es von Vorteil sein kann eine deformierbare Registrierung für sehr heterogene Patienten durchzuführen.

Der große Vorteil der bogenbasierten Ganzkörperbestrahlung ist, dass diese Technik nicht herstellerspezifisch ist. Sie kann an jedem modernen Linearbeschleuniger mit Ausgleichsfilter und Rotationsoption implementiert werden. Ebenso können die konventionellen Bestrahlungsräume verwendet werden ohne bauliche Maßnahmen durchzuführen. Des Weiteren wird bei dieser Technik kein zusätzliches kostenintensives Equipment benötigt. Es werden keine zeitintensiven inversen Techniken, für die ein spezielles Planungssystem benötigt wird, verwendet. Somit ist die bogenbasierte Therapie eine einfache Methode für die Durchführung einer Ganzkörperbestrahlung, welche leicht auf andere Kliniken übertragbar ist.