

Christian Lappe  
Dr. sc. hum.

## **Spezifikation und Implementierung eines videobasierten Systems zur Patientenpositionierung in der Präzisionsstrahlentherapie**

Geboren am 16.07.1967 in Mannheim  
Reifeprüfung am 3.6.1986 in Frankenthal / Pfalz  
Studiengang der Fachrichtung Physik (Diplom) vom WS 87/88 bis SS 94  
Vordiplom am 20.12.1989 an der Universität Heidelberg  
Diplom am 20.7.1994 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)  
Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. W. Schlegel

Für die konformierende Strahlentherapie ist es von großer Bedeutung, daß die applizierte Dosis im geplanten Zielvolumen deponiert wird. Zur Vermeidung von Fehlpositionierungen werden Immobilisierungssysteme verwendet. Dennoch sind mit diesen Systemen, bedingt durch Setup- und Lagerungsungenauigkeiten sowie durch die zeitlich variablen Verschiebungen und Verformungen von Organen des Körperstamms, Abweichungen des Zielpunktes von der geplanten Position unvermeidbar. Im Sinne eines verbesserten Therapieerfolges und höherer Qualität der Behandlung ist es notwendig, daß der Patient sorgfältig immobilisiert wird und daß die Positionierung sowie ihre Reproduzierbarkeit bei fraktioniertem Therapieschema mit hoher Genauigkeit erfolgt. Dazu müssen die auftretenden Fehlpositionen und Deformationen der Zielstrukturen gemessen und korrigiert werden.

Ein Gegenstand der Arbeit war die Erweiterung eines optischen Meßsystems für die Anwendung in der Patientenpositionierung zur Behandlung intrakranieller Tumoren und die Entwicklung einer Dentomaxillaren Fixation (DMF) zur nichtinvasiven Befestigung externer Marker am Patienten. Das videobasierte Meß- und Regelungssystem PPSU (engl.: Patient Position Sensor Unit) verzichtet weitestgehend auf mechanische Immobilisierungstechniken. Die Verwendung von Sensoren und Markern am Patienten erlaubt die präzise Bestimmung der Position des Zielpunktes und die Überwachung von auftretenden Bewegungen des Patienten am Therapiegerät. Durch die Verwendung der DMF, die eine mittlere Repositioniergenauigkeit von 0.27 mm und 0.15 mm als einfache Standardabweichung besitzt, kann das System auf ein breites Patientenkollektiv angewendet werden. Die Nichtinvasivität des Verfahrens erlaubt darüberhinaus den Einsatz in der fraktionierten Therapie. Die Repositioniergenauigkeit des Gesamtsystems PPSU liegt mit 0.5 mm und 0.3 mm für den mittleren Fehler bzw. die einfache Standardabweichung deutlich unter einem als akzeptabel angesehenen Maximalfehler von 1.0 mm. Zusätzlich bietet das Meßsystem eine hohe zeitliche Auflösung von 15 bis 20 Hz, mit der die Positionen des Zielpunkts und mögliche Bewegungen nahezu in Echtzeit protokolliert und dargestellt werden können. Auftretende Abweichungen werden mittels eines Regelungssystems automatisch korrigiert, wodurch die Lage des Zielpunkts in seiner Sollposition aufrechterhalten wird. Die Korrektur erfolgt mittels eines in 3 Raumachsen motorisch fahrbaren, computer-gesteuerten Tischaufsatzes für die Patientenliege.

Ein weiterer Bestandteil der Arbeit war der Aufbau einer Röntgenanlage im Rahmen des Schwerionentherapieprojektes. Drei orthogonal angeordnete, und auf den Referenzpunkt ausgerichtete Röhren dienen der Verifikation der Patientenposition zu Beginn einer Fraktion. Die räumliche Genauigkeit, mit der die Lage eines Zielpunktes relativ zum Referenzpunkt bestimmt werden kann, liegt im Submillimeterbereich.

Im dritten Teil der Arbeit wurde die Repositioniergenauigkeit intrakranieller Zielpunkte bei Verwendung eines Maskensystems sowohl mit dem Sensorsystem PPSU als auch mit dem Röntgenverifikationssystem untersucht. Die Untersuchungen ergaben, daß sich das Maskensystem sehr genau positionieren läßt: bei über 95% der 58 Repositionierungen war das Maskensystem innerhalb eines Intervalls von 1.5 mm um die Sollposition repositioniert. Die Messungen der intrakraniellen Zielpunktsposition ergaben jedoch eine deutlich größere Ungenauigkeit der Repositionierung mit einem mittleren Fehler von 2.6 mm bei einer einfachen Standardabweichung von 2.0 mm. Bei lediglich ca. 40% der 58 Repositionierungen lag der Zielpunkt in einem Intervall von 1.5 mm um die Sollposition. Über 20% der Messungen weichen jedoch um mehr als 4.0 mm von der Sollposition ab.

Die zukünftige Erweiterung des Anwendungsbereiches der PPSU auf den Körperstamm wird im Konzept CORPOS (engl.: Conformal Radiotherapy Patient Positioning System) beschrieben und sieht im wesentlichen den Einsatz von Ultraschall zur Bildgebung im Bereich des Abdomen und Beckens vor. Die PPSU bestimmt die Raumposition des Schallwandlers und ermöglicht dadurch die Zuordnung von Raumkoordinaten zu den Ultraschallbildpunkten. Ein integriertes System für den Einsatz im Ganzkörperbereich ist aus zwei Gründen von großer Bedeutung. Erstens ist die Möglichkeit einer präzisen und reproduzierbaren Zielpunktpositionierung im Körperstamm elementar für die Anwendung konformierender Bestrahlungstechniken. Zweitens fördert ein breites und universelles Anwendungsgebiet der PPSU dessen Akzeptanz und Einsatz in der Klinik.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Präzisionsstrahlentherapie intrakranieller Läsionen mit der PPSU ein Hilfsmittel zur Verfügung steht, das im Vergleich mit anderen, maskenbasierten Immobilisierungssystemen Vorteile für die Patientenrepositionierung bietet. Es verbindet die hohe Genauigkeit der Positionierung, wie sie bei den Einzeldosisbestrahlungen mit invasiver Ringfixierung bekannt ist, mit der Möglichkeit der fraktionierten Behandlung. Neben einer hohen Repositioniergenauigkeit erfüllt die PPSU die klinischen Anforderungen nach einer ausreichenden Tolerierung, einer kostengünstigen und einfachen Herstellung, sowie einem effizienten Einsatz des Systems. Während bei anderen masken- oder ringbasierten Systemen bis zu 20 Minuten für die Patientenfixierung und Zielpunkteinstellung benötigt werden, sind nur einige Sekunden nötig, um die DMF dem Patienten einzusetzen. Die Initialisierung des Meßsystems PPSU für den einzelnen Patienten dauert nur wenige Minuten und kann teilweise schon vorbereitet werden, bevor der Patient den Bestrahlungsraum betritt. Der Einsatz von automatisierten Abläufen zur Positionsbestimmung und Korrektur von Fehlpositionierungen beim Setup vermindert einerseits die manuelle Interaktion des Klinikpersonals, wodurch die Qualität und Reproduzierbarkeit der Positionierung steigt. Andererseits wird die Rüst- und Einstellungszeit des Patienten am Therapiegerät verkürzt, was einen Zugewinn an Komfort für den Patienten bedeutet und die Betriebszeiten des Therapiegeräts effizienter nutzt.