

Steffen Lissner  
Dr. sc. hum.

## **Entwicklung einer Methode zur Qualitätssicherung und Charakterisierung des binären MLC des Tomotherapiesystems unter Verwendung des integrierten MVCT-Detektors**

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

Die helikale Tomotherapie ist ein Rotationsbestrahlungsverfahren, bei dem die Gantry und der Patiententisch simultan mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden. Zur Modulation der Bestrahlungsfeldfluenzen wird ein binärer MLC verwendet. Die Lamellen des binären MLC modulieren die Bestrahlungsfelder durch sehr schnelle Änderungen ihrer Position vom offenen in den geschlossenen Zustand und umgekehrt. Das Tomotherapiesystem ist für die Patientenlagerungskontrolle mit einem CT-Detektorarray ausgestattet.

Das Detektorarray wurde in der vorliegenden Arbeit genutzt, um die Bewegungen der einzelnen Lamellen des binären MLC, die in wenigen Millisekunden durchgeführt werden, zu detektieren. Es wurden Bewegungssequenzen (Sinogramme) generiert um die Reibung zwischen den Lamellen des binären MLC und die Abhängigkeit der Lamellenbewegungen von Druckluftschwankungen zu untersuchen. Für die Analyse der Lamellenbewegungen wurde eine Software programmiert. Die gemessenen Öffnungszeitpunkte (ÖZ) und Öffnungsintervalle (LOT) wurden mit den vorgegebenen Werten im Sinogramm verglichen. Die Korrektur der Latency der LOT im Bestrahlungsplanungssystem wird für den Vergleich berücksichtigt. Die Prozedur wurde in die tägliche Qualitätssicherung des untersuchten Tomotherapiesystems eingebunden, um die zeitliche Entwicklung der Charakteristiken des binären MLC zu untersuchen.

Abweichungen der LOT von ihren programmierten Werten (Latency) werden durch das Bestrahlungsplanungssystem näherungsweise korrigiert. Diese Korrektur basiert auf Messungen verschiedener LOT für ausgewählte Projektionszeiten. Die LOT werden aus kumulierten Detektorsignalen ermittelt. Für sieben Projektionszeiten zwischen 200 ms und 1000 ms werden die Messungen linear gefittet und über acht Lamellen gemittelt. Die Korrekturparameter für weitere Projektionszeiten werden durch lineare Interpolation ermittelt. In der vorliegenden Arbeit wurden Korrekturparameter für die Latency jeder einzelnen Lamelle bei einer Projektionszeit von 250 ms bestimmt. Zusätzlich wurde die Latency für Projektionszeiten, die zwischen zwei der vermessenen Projektionszeiten liegen, bestimmt und mit den linear interpolierten Werten verglichen.

Die Messungen zeigten Abweichungen der ÖZ und LOT innerhalb der systemeigenen Toleranzen. Die dosimetrischen Auswirkungen von möglichen Abweichungen der LOT wurden an Patientenbestrahlungsplänen evaluiert. Sowohl Abweichungen aller Lamellen als auch einzelner Lamellen wurden exemplarisch an drei Patienten mit einem Prostatakarzinom und an drei Patienten mit einem malignem Tumor im Kopf-Hals-Bereich simuliert.

Die Untersuchungen zeigten Unterschiede der Reibung bei offenen und geschlossenen Nachbarlamellen. Die Lamellen bewegen sich bei geschlossenen Nachbarlamellen signifikant später und sind kürzer geöffnet. Die Anzahl der gleichzeitig bewegten Lamellen hat einen signifikanten Einfluss auf die ÖZ und LOT. Außerdem hängt die Bewegung der Lamellen stark von den vorangegangenen Lamellenbewegungen des binären MLC ab. Die größten Abweichungen der ÖZ und LOT wurden gemessen bei einer programmierten LOT der untersuchten Lamelle von 85% der Projektionszeit während die anderen Lamellen des MLC

für 100% der Projektionszeit geöffnet waren. Der untersuchte binäre MLC zeigte sieben Monate stabile ÖZ und LOT.

Die Abweichungen der Latency für die einzelnen Lamellen für die Projektionszeit von 250 ms sind ebenso groß wie die Unterschiede der gemittelten Latency für die unterschiedlichen Projektionszeiten. Die Messungen der Latency zwischen den Projektionszeiten 200 ms und 300 ms bestätigte, dass die lineare Interpolation zwischen diesen Projektionszeiten für die Bestimmung der Korrekturparameter geeignet ist.

Während der durchgeführten Untersuchungen wurden im Vergleich zu den geplanten ausschließlich kürzere LOT gemessen. Die Simulationen von Fehlern des binären MLC führten für den schlimmsten Fall zu Abweichungen von 8,60% der Mediandosis des Zielvolumens. In diesem Fall wurden alle LOT, die in dem entsprechenden Bestrahlungsplan auftraten, um 10 ms verkürzt. Auch die Verkürzung der LOT nur einer ausgewählten Lamelle führte zu Abweichungen von bis zu 2,09% der Mediandosis im Zielvolumen. Die Auswirkungen der individuellen Abweichungen der einzelnen Lamellen des untersuchten MLC zeigten vernachlässigbare Abweichungen in den simulierten Fällen.

Die mit der vorliegenden Arbeit beschriebene Methode ist für die Qualitätssicherung eines binären MLC im Tomotherapiesystem geeignet. Die entwickelte Methode ermöglicht die differenzierte Prüfung der einzelnen Lamellen des MLC. Eine Früherkennung von Fehlern des MLC scheint möglich. Die gewonnenen Erkenntnisse sind für eine Beurteilung von individuellen Bestrahlungsplanverifikationen hilfreich. Die Evaluierungen von möglichen Fehlern des MLC an exemplarischen Patientenbestrahlungsplänen bestätigt die Notwendigkeit einer eingehenden Qualitätssicherung des MLC.