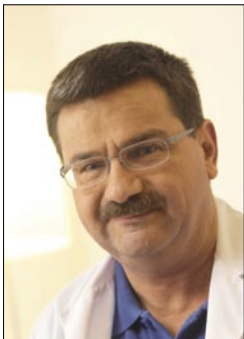


# Moderne Strahlentherapie mit einem On Board Imaging System



Dr. med. Ch. von Briel  
Radio-Onkologe

Institut für Radiotherapie, Hirslanden Klinik Aarau

*Die Strahlentherapie ist heutzutage sehr genau geworden. Mit geeigneten Algorithmen und schnellen Planungscomputern können Dosisberechnungen mit 2% Sicherheit erreicht werden [1]. Zudem liegt die Einstellungsgenauigkeit der modernen Linearbeschleuniger im Millimeterbereich.*

## Entwicklung der Strahlentherapie

Schon ein Jahr nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen, wurde die Bedeutung derselben für die Therapie von Tumoren und anderen Hautveränderungen erkannt. 1896 wurde der erste Mensch in Wien mit ionisierenden Strahlen behandelt und seither hat sich die Strahlentherapie neben Chirurgie und Chemotherapie als eine der drei Eckpfeiler in der Behandlung von Tumoren durchgesetzt.

Die ersten Maschinen zeichneten sich durch geringe Photonenenergien im unteren Kilovoltbereich aus. Die Eindringtiefe war demzufolge gering, so dass die Hauptindikationen der frühen Radiotherapeuten oberflächige Tumoren in der Haut waren.

In den 50er Jahren wurden die ersten Cobalt-60 Geräte eingesetzt. Mit diesen Geräten und vor allem der Energie von Cobalt-60 im MeV Bereich wurde es möglich, Tumore in mehreren Zentimeter Tiefe zu bestrahlen, wobei die Verbesserungen vor allem im Kopf-Halsbereich auftraten. Für zentrale Tumore im Bereich des Körperstammes waren die Nebenwirkungen deutlich grösser, da die Energie nicht ausreichte, diese Gebiete homogen zu bestrahlen.

Kurz nach der routinemässigen Inbetriebnahme der Cobaltgeräte, kam es auch auf elektro-technischen Gebieten zu entscheidenden Durchbrüchen. Die ersten Beschleuniger wurden konstruiert. Zuerst Kreisbeschleuniger (Betatron der Firma BBC Baden), in der Folge aber immer mehr Linearbeschleuniger. Wegen dem einfacheren Handling, der Möglichkeit die Linearbeschleuniger 360° um den Patienten drehen

zu können und der geringeren Störanfälligkeit, haben sich die Linearbeschleuniger bis heute durchgesetzt und sind aus einer modernen Strahlentherapie nicht mehr wegzudenken (Abb. 1).

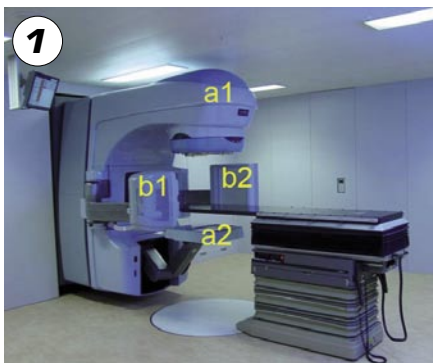
Seit den späten 70er Jahren hat sich die Strahlentherapie vor allem durch Entwicklungen in der Computertechnologie weiterentwickelt. Die Linearbeschleuniger sind zwar in ihrer Grundtechnologie gleich geblieben. Die Planungsmöglichkeiten und die Genauigkeit der Bestrahlung haben aber nochmals zugenommen. Dank Einsatz der Computertomographie wurde es möglich Tumoren im Körperinneren darzustellen. Die zu bestrahlenden Regionen können auf den CT Schichten eingezeichnet und der Tumor so als dreidimensionales Gebiet erfasst werden.

## Strahlentherapie heute

Eine strahlentherapeutische Behandlung wird praktisch immer über mehrere Sitzungen verabreicht. Bei kurativen Konzepten kann dabei oft 30 oder mehr Fraktionen gegeben werden. Es ist entscheidend, dass die Patienten jedes Mal genau gleich positioniert werden. Dazu ist der Einsatz von Lagerungshilfen unerlässlich. Im Kopf-Halsbereich kann mit Masken gearbeitet werden. Modernere Methoden verwenden Zahnabdrücke vom Oberkiefer und hartem Gaumen, die anschliessend mit einem Vakuum an diesen gepresst werden. Am radioonkologischen Institut der Hirslanden Klinik in Aarau wird ein solches System angewandt. Erste Erfahrungen zeigen, dass damit die Lagerung auf einen Millimeter reproduziert werden kann. Für Bestrahlungen im Körperstamm werden meist Vakuummatratzen benützt. Die erreichbare Lagerungsgenauigkeit liegt damit in



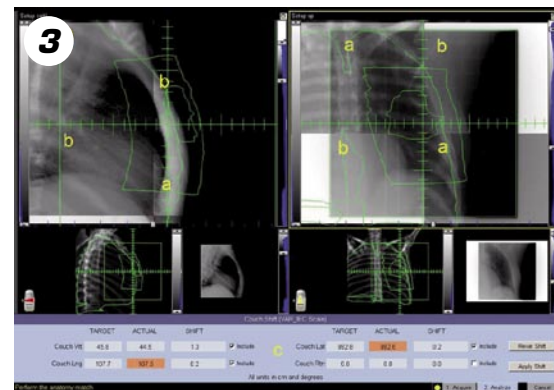
Dr. P. Cossmann  
Medizinphysiker



1  
 Linearbeschleuniger VARIAN 2100EX mit (a1) Bestrahlungskopf, (a2) Flat-Panel für MV-Bilder, (b1) Onboard Imaging System mit (b2) Flat-Panel für kV-Bilder



2  
 Linearbeschleuniger mit On Board Imaging System (OBI). Schematische Darstellung der Aufnahmemöglichkeit mittels OBI orthogonal zum Therapiestrah.



3  
 Patientin mit Brustkrebs T1cN0. Lagerungskontrolle vor Beginn einer Bestrahlung der linken Brust. Das digital rekonstruierte Bild vom Planungssystem (a) wird mit den Bildern des OBI (b) fusioniert bis sie vollständig zusammenpassen. Im unteren Bereich (c) können dann die notwendigen Korrekturen des Bestrahlungstisches abgelesen werden. Dieser wird anschliessend Computer gesteuert um die gemessenen Werte nachkorrigiert.

einem Bereich von etwas weniger als einem Zentimeter [2]. Dies reicht für den Anspruch Bestrahlungen auf einen Millimeter genau durchzuführen noch nicht aus.

Anschliessend an die Lagerung wird ein Planungscomputertomogramm durchgeführt. Die Anatomie der zu bestrahlenden Körperregion wird zusammen mit allen Lagerungshilfen und der vorher genau definierten Position in einem Feinschicht-CT aufgenommen und dient als Grundlage für den Bestrahlungsplan. Anschliessend wird vom Radio-Onkologen auf den CT-Bildern die zu bestrahlenden Gebiete sowie Risikoorgane eingezeichnet. Vom Planungscomputer wird dies in dreidimensionalen Volumen dargestellt, welche wiederum als Grundlage für den vom Medizinphysiker zu erstellenden Bestrahlungsplan bildet. Meistens wird das Tumervolumen mit einem definierten Sicherheitsabstand von verschiedenen Seiten ins «Kreuzfeuer» genommen, wobei darauf geachtet wird, die Risikoorgane möglichst aus den Feldanordnungen auszuspüren (Abbildung 4). Die Felder sind nicht mehr rechteckig sondern werden mittels Ausblockungen dem definierten Bestrahlungsvolumen angepasst. Ziel jeder radioonkologischen Behandlung ist es, die Tumorregion mit einer möglichst hohen Bestrahlungsdosis zu belasten und gleichzeitig die Risikoorgane möglichst optimal zu schonen. Die Wahrscheinlichkeit einen Tumor

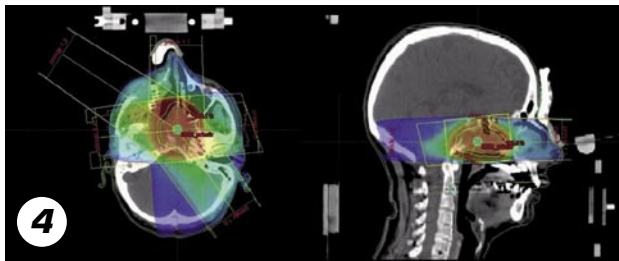
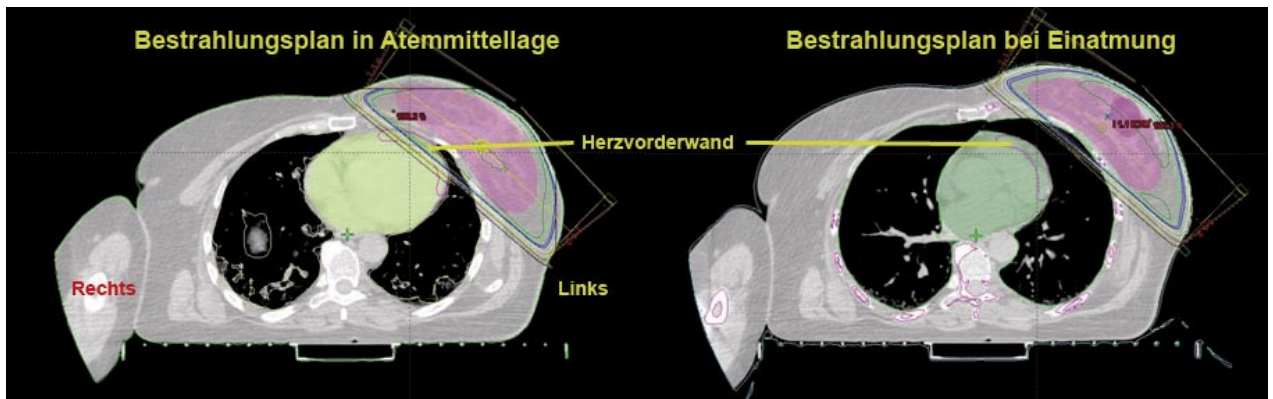
zu sterilisieren hängt neben Grösse und Histologie vor allem auch von der applizierten Bestrahlungsdosis ab [3]. Die Wahrscheinlichkeit von Nebenwirkungen hingegen von der Belastung des normalen, gesunden Gewebes. Seit wenigen Jahren kann zudem die Intensität des Photonenflusses innerhalb der Felder gesteuert oder moduliert werden (Intensity modulated radiotherapy, IMRT). Damit kann der Hochdosisbereich noch besser dem definierten Tumervolumen angepasst werden und Risikoorgane geschont werden.

All diese neuen Technologien bedingen aber, dass die Bestrahlungen immer unter genau gleichen Bedingungen durchgeführt werden. Die Geometrie des Linearbeschleunigers ist starr, die Dosisberechnungen basieren auf der Annahme, dass immer die genau gleichen, anlässlich der Planungscomputertomographie dargestellten Verhältnisse vorliegen. Weichen diese von der Realität ab, wird eventuell die Tumorregion zu wenig oder ein Risikoorgan zu hoch belastet. Liegt der Patient 1-2 cm anders als ursprünglich geplant, wird auch um diese Distanz «daneben» bestrahlt. Diese Ungenauigkeit muss abgeschätzt und ins Behandlungskonzept einbezogen werden. Es wird bei der Planung um das zu behandelnde Tumervolumen ein Sicherheitsabstand gelegt, um eine möglichst umfassende Bestrahlung während allen Fraktionen zu gewährleisten. Nachteil

dieses Konzeptes ist eine signifikante Erhöhung des Bestrahlungsvolumens verbunden mit entsprechenden Nebenwirkungen. Je genauer eine Bestrahlung durchgeführt werden kann, desto kleiner fällt dieser Sicherheitsabstand aus und umso kleiner wird das Behandlungsvolumen.

### On board Imaging System

Zusätzlich zu den beschriebenen Lagerungshilfen gibt es neue Möglichkeiten die Genauigkeit der Patientenposition zu kontrollieren und vor allem zu verbessern. Am Institut für Radio-Onkologie der Hirslanden Klinik Aarau kommt seit mehr als zwei Jahren ein «On Board Imaging» System der Firma VARIAN Medical Systems zum Einsatz (Abb. 1). Mit diesem System können vor der Bestrahlung in orthogonaler Richtungen (zum Beispiel ap und seitlich) zwei Aufnahmen gemacht werden. Diese werden dann mit einer digitalen Rekonstruktion des Planungs-CT verglichen. Die Bilder der aktuellen Aufnahme und des Planungs-CT werden fusioniert und Abweichungen der aktuellen Bestrahlungsposition von der ursprünglich geplanten können direkt bestimmt werden (Abb. 3). Anschliessend wird der Bestrahlungstisch um diese



Bestrahlungsplan einer Patientin mit rezidivierenden adenocarcinom im Epipharynxbereich. Der rote Bereich entspricht 100% Bestrahlungsdosis, grün 50% und blau noch 10%. Die Bestrahlung erfolgte über 5 nicht konvergente Photonenfelder

**«Der mögliche Einsatz des On board imaging Systems geht noch viel weiter als die heute bei uns eingesetzte Lagerungskontrolle»**

Abweichungen nachjustiert. Damit erreicht man die Gewissheit, dass Patienten täglich genau in der ursprünglich geplanten Position behandelt werden. Dieses System wird bei uns routinemässig vor jeder Behandlung eingesetzt. Bei mittlerweile gegen tausend damit behandelten Patienten hat sich gezeigt, dass das Handling sehr einfach ist und die Zeiten der täglichen Fraktionen nur um etwa eine Minute verlängert wird. Die Genauigkeit der täglichen Bestrahlung können aber so stark verbessert werden, dass wir nun tatsächlich im angestrebten Millimeterbereich liegen. Für uns und unser Team ist eine Bestrahlung ohne dieses System beinahe undenkbar geworden.

#### Ausblick

Der mögliche Einsatz des On board imaging Systems geht noch viel weiter als die heute bei uns eingesetzte Lagerungskontrolle. Mittels einer einzigen Umdrehung des Linearbeschleunigers können Bilddaten gesammelt werden, die gleich wie bei einem modernen Multislice-CT zu dreidimensionalen Abbildungen berechnet werden können. Damit lässt

sich am Linearbeschleuniger neben einer echten 3D Lagerungskontrolle auch ein Monitoring der Tumorgrosse erreichen. Ziel ist es in Zukunft die Bestrahlungsplanung auch während der Therapiephase dem aktuellen Tumolvolumen anzupassen. Die Einführung dieser so genannten Cone Beam CT Technologie am Linearbeschleuniger ist an unserem Institut zurzeit Gegenstand eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes. Die Bilddaten, die gewonnen wurden, sind sehr viel versprechend. Der Algorithmus für die Dosisberechnung wird immer genauer und besser, so dass in Zukunft die Möglichkeit bestehen wird, die Bestrahlungsplane on line zu erhalten und sofort an die neue Tumorsituation anzupassen.

All diese Anstrengungen dienen letztendlich der weiteren Verbesserung der Strahlentherapie mit dem Ziel die Tumorregion mit noch mehr Dosis zu belasten und gleichzeitig die darum liegenden gesunden Gewebe und Organe besser zu schonen. Dies wiederum müsste sich in besserer Tumorkontrolle und geringeren Nebenwirkungen auswirken.

- [1] Fraass, B., et al., American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys*, 1998. 25(10): p. 1773-829.
- [2] Kneebone, A., et al., A randomized trial evaluating rigid immobilization for pelvic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003. 56(4): p. 1105-11.
- [3] Fletcher, G., Clinical dose-response curve of human malignant epithelial tumor. *Br J Radiol*, 1973. 46: p. 1-12.