

Diss. ETH No. 13124

**Investigations on absolute portal dosimetry for the verification  
of static and dynamic dose delivery in radiotherapy**

A thesis submitted to the  
EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doktor der Naturwissenschaften  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
Harald Keller  
Dipl. Phys. ETH  
born March 4, 1965  
from Balgach, SG

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Peter Niederer, examiner  
Prof. Dr. Peter Rügsegger, co-examiner  
Prof. Dr. Ralph A. Eichler, co-examiner

1999

## Abstract

The success of today's modern application techniques in radiation therapy depends heavily on the way how they can be embedded into the framework of a comprehensive quality assurance program. As the dose delivery techniques are growing in complexity, dosimetric verification methods gain in importance and are therefore subject to intensive research and development in radiotherapy. Such verification methods comprise pre-treatment, on-treatment and post-treatment verification procedures. As an example, it is necessary to devise efficient procedures to control the output of the dose delivering device prior to patient treatment in order to guarantee safety and consistency to the planning process. Moreover, on- and post-treatment verification aim at verifying the actual absorbed dose to the patient during a single fraction (*in-vivo* dosimetry). For all classes of verification methods electronic portal imaging devices (EPIDs) shall be used routinely. In clinical practice, they already serve successfully as measuring devices for patient setup verification.

The new *in-vivo* dosimetry procedures using electronic portal imaging devices (EPIDs) either compare measured dose to predicted dose in a plane behind the patient (transmission dose) or aim at reconstructing patient dose in three dimensions from measured transmission dose images. For both types of procedures accurately measured portal dose images are needed which, in turn, demand a careful calibration procedure and an appropriate conversion method to determine transmission dose in a reference medium from the EPID signals.

The EPID in use was a commercially available scanning liquid ionisation chamber (SLIC). The measured signal at the ion chamber is proportional to the number of ions in the liquid which are produced by the incident photon beam via Compton electrons. However, only in an equilibrium state of the chamber, the number of moving ions is proportional to the intensity of the incident radiation and therefore to the absorbed dose in the liquid.

In this work it is first investigated, if a dose calibration of the EPID, usually performed on the central axis of the beam, is sufficiently accurate for estimate the dose at off-axis points. The method developed to answer this question is based on a convolution/superposition algorithm. The incident photon energy fluence distribution generated from the phase space of a linear accelerator was first convolved with Monte Carlo calculated dose spread kernels in water, which serves as the reference medium, and then in the detector. The kernels in water and the detector differ considerably at photon energies lower than 1 MeV or higher than 6 MeV. The energy fluence in the transmission plane behind homogeneous water absorbers was determined by superposition of the primary and scatter radiation of pencil beams incident on the absorber. The weight of each pencil beam was taken from a phase space description of the head of the

linear accelerator. Transmission doses for realistic photon beams were then calculated in the SLIC-EPID and in water.

The resulting dose differences in the transmission plane can be attributed to the changing beam quality across the beam area. It is shown that according to the type of calibration procedure the differences can be as large as 5%, which is unacceptable for accurate transmission dose measurements. The described procedure for obtaining this result is very general and may be used for transmission dose prediction in more complicated cases.

In order to investigate the applicability of the SLIC-type EPID for dynamic dose delivery techniques, the temporal dependence of the dose response to a photon beam with variable intensity was measured and theoretically modelled. It is shown that the non-linear response dynamics of the SLIC EPID limits the suitability for its use for verification of intensity modulated treatment fields delivered by a dynamically modulated multileaf technique such as the sliding window method. Not only the independent verification of leaf motion with the SLIC EPID is difficult but also the measurement of absolute transmission dose is not possible. The latter is due to the fact that the EPID signal does not represent transmission dose in this case. However, under certain acquisition conditions, the leaf movement during delivery can be precisely verified.

## Zusammenfassung

Der Erfolg von modernen Applikationstechniken in der Strahlentherapie hängt wesentlich davon ab, wie die komplexen Abläufe in ein Qualitätssicherungsprogramm integriert werden können. Der Einsatz von elektronischen Portalbildsystemen innerhalb eines solchen definiert sich im wesentlichen aus zwei Bedürfnissen, welche sich aus einem die Vorbehandlungs- und Behandlungsphase umfassenden Qualitätskontroll- und Verifikationsprogramm ergeben. Diese Bedürfnisse sind einerseits die rasche und genaue Messung eines Dosisbildes in einer Ebene senkrecht zum Strahlengang hinter dem Patienten (portales Dosisbild), andererseits eine davon unabhängige, realistische Berechnung (Vorhersage) eines portalen Dosisbildes. Beide Aspekte wurden in dieser Arbeit untersucht.

Das untersuchte System bestand aus einer kommerziell erhältlichen Flüssigkeitsionisationskammer zur Aufnahme von Portalbildern. Das ausgelesene Signal der Ionisationskammer ist proportional zur Zahl der sich bewegenden Ionen in der Flüssigkeit, welche in ihr durch die auftreffende Photonenstrahlung erzeugt werden. Es wurde gezeigt, dass diese Zahl nur in einem Gleichgewichtszustand der Kammer proportional zur Intensität der auftreffenden Strahlung und damit der in der Flüssigkeit absorbierten Dosis ist.

Genauere Dosismessungen im Gleichgewichtszustand der Kammer, also bei statischen Strahlapplikationen, können nur mit einem geeignet kalibrierten System durchgeführt werden. Um die Korrekturfaktoren zu ermitteln, welche der absorbierten Dosis im Detektor eine absorbierte Dosis in einem geeigneten Referenzmedium zuordnen, wurde eine Methode auf der Grundlage des Konvolutions-Superpositions-Verfahrens entwickelt, um portale Dosisbilder in beiden Medien zu berechnen. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Dosisdeponierungskerne in beiden Medien mit Monte-Carlo Rechnungen bestimmt. Es zeigte sich, dass sich die absorbierte Dosis in den Medien vor allem bei hohen ( $> 6$  MeV) und ganz tiefen ( $< 1$  MeV) Photonenenergien stark unterschied. In einem zweiten Schritt wurde die auf den Detektor treffende Fluenz eines von einem Linearbeschleuniger stammenden therapeutischen Photonenstrahles berechnet. Die Photonenquelle des Linearbeschleunigers wurde so modelliert, dass auch die im Beschleunigerkopf entstehende Streustrahlung abgeschätzt werden konnte. Die berechneten portalen Dosisbilder zeigten, dass die absorbierten Dosen im Portalbilddetektor und die absorbierten Dosen im Referenzmedium je nach Art des Kalibrationsverfahrens verschieden sind. Die relativen Abweichungen können in extremen Fällen über 5% betragen, was für eine Portaldosismessung nicht akzeptabel ist und deshalb mit den angegebenen Faktoren korrigiert werden muss.

In einem zweiten Teil der Arbeit wurden die Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten der Flüssigkeitsionisationskammer für die Verifikation dynamischer Strahlapplikationen untersucht. Hier befindet sich die Kammer nicht mehr in einem dynamischen Gleichgewicht; das ausgelesene Signal steht mit der Intensität der einfallenden Photonenstrahlung nicht mehr in einem linearen Verhältnis. Mit Hilfe eines relativ einfachen physikalischen Modells konnte gezeigt werden, dass sich die Ionisationskammer wie ein nichtlineares dynamisches System mit einer Gedächtniszeit verhält. Zwei einfache Experimente wurden durchgeführt, um dieses Verhalten zu testen und die unabhängig davon gemessenen Konstanten der beschreibenden Differentialgleichung zu überprüfen. Es wurde gezeigt, dass die Antwort des Detektors mit guter Genauigkeit durch die angegebene Differentialgleichung beschrieben werden kann.

Abschliessend wurde für die "Sliding-Window"-Methode — ein spezielles dynamisches Verfahren zur Applikation intensitätsmodulierter Felder mit einem Multileafkollimator — ein Prozedere vorgeschlagen, um die Positionen der Kollimatorblätter während der Bewegung zu überprüfen. Es wurde gezeigt, dass die Positionen nur iterativ aus den Portalbildern berechnet werden können. Damit verbunden ist eine Bedingung an die Schnelligkeit der Bildaufnahme, welche hergeleitet und angegeben wurde.

Ingesamt kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass eine Flüssigkeitsionisationskammer der beschriebenen Art vor allem für Dosismessungen bei statischen Strahlapplikationen mit sehr guter Genauigkeit eingesetzt werden kann. In dynamischen Strahlapplikationen ist eine Vorhersage des Portalbildes zwar möglich, ein Zurückschliessen vom gemessenen Portalbild auf eine Portaldosis ist aber auf eine qualitative Ebene beschränkt.