

Erfolgreiche Testmessungen mit dem METAS-Wasserkalorimeter am PSI

Eine viel versprechende Form der Strahlentherapie ist die Protonentherapie, die massgeblich vom Paul Scherrer Institut (PSI) in der Schweiz mitgestaltet wurde. In einem gemeinsamen Projekt entwickeln METAS und das PSI ein Primärnormal auf der Basis eines Wasserkalorimeters. Erste Testmessungen wurden im Dezember 2006 am PROSCAN-Teststrahl des PSI erfolgreich durchgeführt.

DAMIAN TWERENBOLD

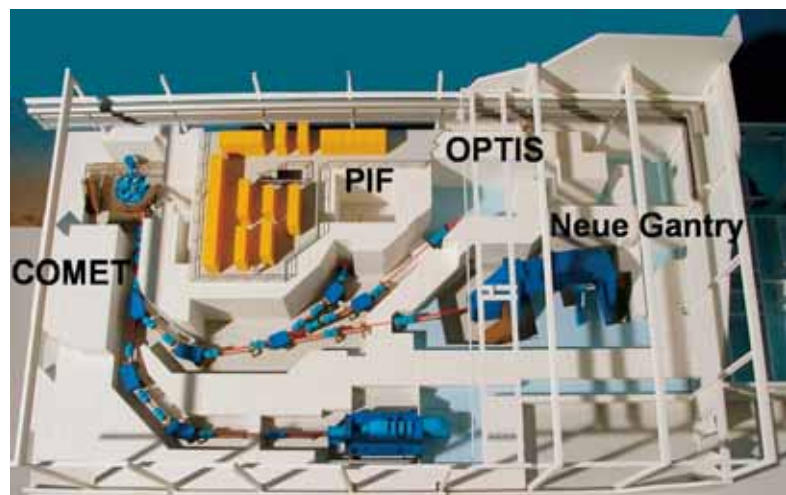
Ionisierende Strahlen werden schon seit Jahrzehnten zur Behandlung von Krebspatienten und -patientinnen eingesetzt. Dabei wird eine möglichst hohe Dosis (SI-Einheit Gray = Joule/kg) im Tumor deponiert, um diesen nachhaltig zu zerstören. Gleichzeitig gilt es, das umliegende gesunde Gewebe möglichst zu schonen. Routinemässig wird dazu heute unter anderem hochenergetische Photonen- und Elektronenstrahlung mit Nominalenergien von 4 MeV bis 22 MeV verwendet, die mit kommerziell erhältlichen Linearbeschleunigern erzeugt wird.

Dosimetrie für Spot-Scanning-Technik

Die im Patienten deponierte Dosis muss genau, vorhersagbar und metrologisch rückverfolgbar bestimmt werden. METAS verfügt über die notwendigen Primärnormale für hochenergetische Photonen- und Elektronenstrahlung, um die, gemäss gesetzlichen Anforderungen der Strahlenschutzverordnung verlangten, regelmässigen Eichungen von Referenzmesssystemen von Strahlentherapieanlagen durchführen zu können [1]. Für die Dosimetrie der mit der Spot-Scanning-Technik des PSI erzeugten Protonenstrahlung existiert noch kein international anerkanntes Primärnormal. Als Zwischenlösung benützt man die Gamma-Strahlung einer Kobalt-Quelle (Co-60) und korrigiert die Werte für Protonen mit berechneten Korrekturfaktoren. Das PSI und METAS evaluieren nun in einem gemeinsamen Projekt, ob das Prinzip des für die Photonen verwendeten Wasserkalorimeters auch für die Spot-Scanning-Technik des PSI verwendet werden kann [2].

Die PROSCAN-Anlage am PSI

Das Paul Scherrer Institut ist eines der Pionierinstitute der Protonentherapie. Eine neue, kompakte Strahlentherapie-Einrichtung für die Behandlung tief liegender Tumore mit Protonenstrahlen (PROSCAN) ist 2006 in Betrieb genommen worden (Bild 1). Mit der am PSI entwickelten Spot-Scanning-Technik können Krebstumoren im Innern des Körpers zielgenau bestrahlt werden. Die Protonen werden mit einem drehbaren Strahlführungssystem (Gantry) genau in den Tumor gelenkt und beim Eindringen in den Körper derart abgebremst, dass der grösste Teil ihrer Dosis beim Stoppen im Tumolvolumen deponiert wird.



1 Die kompakte Protonen-Strahlentherapie-Anlage PROSCAN des Paul Scherrer Instituts (PSI) in Villigen. (Illustration: PSI).

Die räumliche und zeitliche Dosisverteilung wird für jeden Behandlungsschritt vorausberechnet und die entsprechenden Parameter jeweils dem Strahlführungssystem zugeführt. Wichtig ist dabei, dass der nominelle Dosiswert in Gray auch dem effektiv deponierten Dosiswert entspricht. Dazu dient ein Qualitätssicherungssystem mit regelmässigen Messungen der Dosis mit speziellen Therapedosimetern (Ionisationskammern) in Wasserphantomen.

METAS-Wasserkalorimeter im Testareal der PROSCAN-Anlage

Die zur Eichung von Referenzmesssystemen benützten Therapedosimeter müssen gemäss gesetzlichen Bestimmungen auf ein Primärnormal rückverfolgbar sein. Im Fall eines Wasserkalorimeters als Primärnormal wird die durch die deponierte Dosis verursachte Temperaturerhöhung gemessen. Eine Dosis von 1 Gray führt zu einer Temperaturerhöhung von 0.238 mK bei Wasser (Temperatur 4 °C). Um eine möglichst kleine Unsicherheit in der Messung dieser Temperaturdifferenz zu erreichen, braucht man eine hohe Empfindlichkeit des Thermometers (besser als 10 µK) und eine entsprechend hohe Stabilisierung der Betriebstemperatur des Wassers. In den ersten Messungen im Testareal der PROSCAN-Anlage (Bild 2) im Dezember 2006 wurde ein Duplikat des existierenden METAS-Wasserkalorimeters eingesetzt.

Bild 3 zeigt das Innere des Wasserkalorimeters: Ein hermetisch abgeschlossenes Glasgefäß mit ultrareinem Wasser befindet sich in einem 30 cm grossen Wasserphantom, das thermisch isoliert ist. Im Glasgefäß befinden sich zwei Thermistoren. Die durch die Temperaturerhöhung erzeugte Widerstandsänderung eines Thermistors wird über eine Widerstandsbrücke gemessen. Das Wasserphantom wird bei einer Betriebstemperatur von 4 °C betrieben, um die Wärmekonvektion im Glasgefäß zu minimieren (grösste Wasserdichte bei 4 °C). Die Betriebstemperatur des Wasserphantoms wird dabei aktiv stabilisiert [3].

Resultate der ersten Messungen mit gescannten Protonen

Im Dezember 2006 wurden am Protonenstrahlaustritt der PROSCAN-Anlage mit dem METAS-Wasserkalorimeter erste Messungen durchgeführt. Ziel war zu prüfen, ob die durch die Spot-Scanning-Technik deponierte Dosisverteilung eine im Wasser genügend stabile räumliche und zeitliche Temperaturverteilung erzeugt.

Dazu wurde eine homogene Dosisverteilung in Form eines Würfels von 8 cm Kantenlänge erzeugt mit einer mittleren Wassertiefe von 15 cm. Nominell wurde im Strahlführungssystem ein Wert von 4.5 Gy eingegeben. Diese Dosis würde in Wasser (bei einer Temperatur von 4 °C) zu einer Temperaturerhöhung von 1.07 mK führen. Diagramm 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Temperaturanstiegs der beiden Thermistoren. Die zeitliche Struktur ist durch die charakteristische Art der diskreten Deposition der Protonenpakete bestimmt (Einzelheiten siehe PSI-Jahresbericht 2006). Die experimentellen Temperaturprofile zeigen qualitativ den zu erwartenden Verlauf.

Um das Wasserkalorimeter als Primärnormal zu verwenden, müssen nun systematisch die relevanten Parameter theoretisch und experimentell studiert und die Unsicherheiten der Messungen bestimmt werden. Eine der Unsicherheiten eines Wasserkalorimeters ist der kalorische Defekt (heat defect), jener Teil der Energie der deponierten Dosis, die zu einer strahlungsinduzierten Veränderung des Wassers führt und die nicht durch den Thermistor gemessen wird.

Die Messungen des METAS-Wasserkalorimeters werden in Zukunft am neuen Gantry 2 des PSI weitergeführt werden. Die ersten Messresultate zeigen, dass mit einem Wasserkalorimeter und der Spot-Scanning-Technik des PSI prinzipiell ein Primärnormal für gescannte Protonen realisiert werden kann.

Referenzen

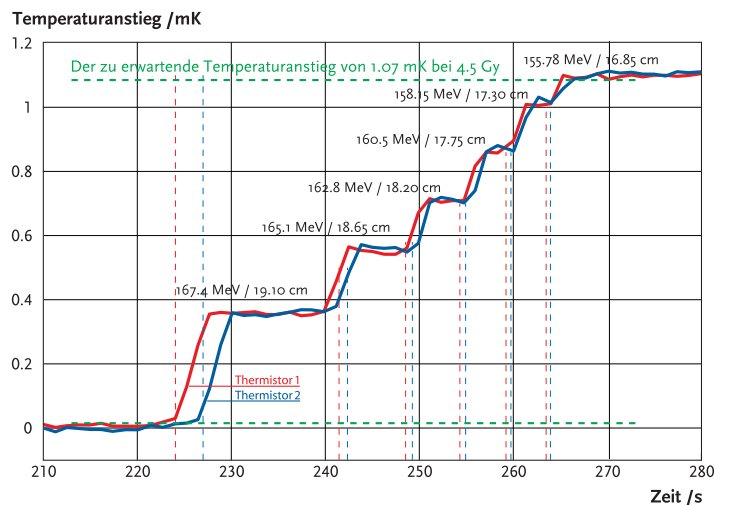
- [1] J. Medin, C. K. Ross, G. Stucki, N. V. Klassen, J. P. Seuntjens, Commissioning of an NRC-type sealed water calorimeter at METAS using ^{60}Co γ -rays, Phys. Med. Biol. 49, pp. 4073-4086, 2004.
- [2] M. Sassowsky und E. Pedroni, On the feasibility of water calorimetry with scanned proton radiation, Phys. Med. Biol. 50, pp. 5381-5400, 2005.
- [3] M. Sassowsky, H. Quintel, R. Schafer, G. Stucki, Primärdosimetrie hochenergetischer Photonenstrahlung, metINFO, Vol. 11, No. 2, S. 4-9, 2004.



2 Das METAS-Wasserkalorimeter (rechts) neben dem Protonenstrahlaustritt (links) im Testareal der PROSCAN-Anlage des PSI.



3 Innenleben des METAS-Wasserkalorimeters: ein geschlossenes Glasgefäß mit ultrareinem Wasser in einem gekühlten und thermisch isolierten Wasserphantom.



--- und - - - : Theoretische Zeit der Deposition des Protonenpakets.

4 Vergleich der gemessenen Temperaturprofile beider Thermistoren für die homogene Deposition von 4.5 Gy mit der zu erwartenden zeitlichen Struktur und theoretischen Temperaturerhöhung des Wassers von 1.07 mK.