

Martin Tank  
Dr. med.

## **Individualisierung von digitalen anatomischen Modellen durch Computertomographie**

Geboren am 10.11.1966 in Hamburg  
Reifeprüfung am 6.6.1986 in Bad Bergzabern  
Studiengang der Fachrichtung Medizin vom SS 1993 bis WS 1999  
Physikum am 15.3.1995 an der Universität Göttingen  
Klinisches Studium in Heidelberg  
Praktisches Jahr in Schwetzingen  
Staatsexamen am 21.10.1999 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Rechtsmedizin  
Doktorvater: Prof. Dr. med. Rainer Mattern

Wir entwickelten ein vollautomatisches Individualisierungsverfahren für anatomische Modelle auf der Basis von computertomographischen Untersuchungen. Neben einem Volumendatensatz (aus CT-Datensatz abgeleitet) benötigt der Algorithmus ein trianguliertes anatomisches Modell, welches mit einem CAD-Programm erstellt werden kann. Für die praktische Anwendung implementierten wir den Algorithmus in selbstentwickelte Software. Diese ermöglicht neben der dreidimensionalen grafischen Kontrolle der Berechnungen auch eine automatische Auswertung größerer Kollektive im Batchbetrieb.

Das Individualisierungsverfahren beginnt mit der Konstruktion eines Zielvolumens aus einem Volumendatensatz (Schwellenwertverfahren). Für jedes Dreieck des Modells kann dann eine Abweichung zum Zielvolumen berechnet werden, wobei das Minimum der Summe der Abweichungsquadrate die optimale Übereinstimmung definiert. Zur Lösung der Optimierungsaufgabe wird die Geometrie des Modells in einem mehrstufigen Verfahren so lange verändert, bis das Minimum erreicht ist. Die erste Stufe besteht in der Bestimmung einer optimalen Translation, Rotation und Skalierung des Modells. Danach wird eine allgemeine Volumentransformation durch Unterteilung des Modellvolumens in Zellen mit anschließender Positionsveränderung der Zellenecken durchgeführt. Die letzte Stufe des Verfahrens besteht aus der Feinanpassung anatomischer Strukturen mit Hilfe von am Modell angebrachten anatomischen Markern.

Wir testeten das Verfahren an 18 CT-Datensätzen von Schädeln, die zum überwiegenden Teil Schussverletzungen aufwiesen. Dazu entwickelten wir ein Modell des knöchernen Schädels mit einem dazugehörigen Markersatz (259 Marker). In allen Fällen zeigte sich eine Konvergenz des Verfahrens mit einer durchschnittlichen Abweichung der Modelldreiecke zum Zielvolumen von 0,106mm (Standardabweichung 0,026mm). Bei der Diskussion der Verfahrensergebnisse skizzierten wir auch ein weiterentwickeltes Individualisierungsverfahren, welches ohne die aufwendige Stufe der Markeranpassung auskommt. Dies ist aber nur durch strengere Forderungen an den Aufbau der verwendeten Modelle zu erreichen.

Um das Individualisierungsverfahren auch für andere Teile des Skelettsystems zu testen, entwickelten wir ein anatomisches Modell des Beckens. Dieses wurde in unsere Software integriert und kann alternativ zum Schädelmodell verwendet werden. Eine zukünftige Promotionsarbeit könnte sich mit der Anwendung des Beckenmodells auf ein größeres Kollektiv beschäftigen.

Die wichtigste rechtsmedizinisch orientierte Anwendung des Verfahrens ist die Individualisierung von biomechanischen Modellen in der Unfallforschung. Traumatomechanische Berechnungen lassen sich dann nicht nur für Referenzmodelle,

sondern auch für reale Einzelfälle durchführen. Für zwei weitere rechtsmedizinische Anwendungen haben wir Vorarbeiten geleistet. Dies betrifft die Weichteilmantelrekonstruktion von Schädeln und die Einbeziehung von Computeranimationen in Gutachten über Schussverletzungen.

Weiterhin wendeten wir das Individualisierungsverfahren für die automatische Bestimmung anthropometrischer Maße an. Durch die Positionierung von Markern am Schädelmodell haben wir exemplarisch sechs zu bestimmende anthropometrische Maße definiert. Nach dem Individualisierungsverfahren erhielten wir die individuellen Maße direkt aus den neuen Markerpositionen. Mit diesem Verfahren kann man eine Vielzahl von Abständen, Winkeln und anderer Maße für einen Volumendatensatz vollautomatisch bestimmen.

Von klinischem Interesse sind vor allem die Anwendungsmöglichkeiten in der computerunterstützten Chirurgie. Wir zeigten detailliert, wie das dem Individualisierungsverfahren zugrunde liegende modellbasierte Registrierungsverfahren zur automatischen Markerdetektion und zur automatischen Lageerkennung knöcherner Strukturen verwendet werden kann. Dies ist insbesondere für computerunterstützte Eingriffe in der Orthopädie relevant. Im einzelnen sind dies der künstliche Hüftgelenksersatz, der künstliche Kniegelenksersatz und die Wirbelsäulenversteifung durch Pedikelschrauben.