

Entwicklung eines Gehirn-Phantoms zur Perfusions- und Brain Shift Simulation

F. Weidner¹, N. Hoffmann¹, Y. Radev², J. Hollmach¹, C. Schnabel¹, M. Kirsch¹, G. Schackert²,
U. Petersohn³, E. Koch¹, G. Steiner¹

¹ TU Dresden, Klinisches Sensoring und Monitoring, Dresden, Germany

² TU Dresden, Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie, Dresden, Germany

³ TU Dresden, Angewandte Wissensverarbeitung, Dresden, Germany

Kontakt: Florian.Weidner@tu-dresden.de

Einleitung

Navigationsgestützte neurochirurgische Tumorexstirpationen gehören zum Standard im klinischen Alltag. Grundlage hierfür sind präoperativ aufgenommen Bilddaten. Zu den etablierten Techniken gehören die Magnetresonanztomografie (MRT) und die Computertomografie (CT). Viele Pathologien erfordern zudem eine intraoperative Bildgebung um eine bestmögliche Behandlung zu ermöglichen. Jedoch gibt es hierfür noch kein etabliertes Verfahren. In der Neurochirurgie wird, neben der Ultraschallbildgebung, vor allem der Thermografie Potenzial für die intraoperative Bildgebung zugeschrieben. Die Thermografie misst die emittierte Infrarotstrahlung und damit die Oberflächentemperaturen von Objekten. Diese erlauben die Charakterisierung von Gewebetypen und damit auch die Unterscheidung zwischen Gesundem und Tumorgewebe. Diese Entscheidung ist essenziell um eine möglichst umfassende Entfernung des tumorösen Gewebes durchzuführen. Für eine möglichst genaue Bewertung thermografisch auffälliger Bereiche ist es notwendig, diese mit örtlichen Informationen anzureichern. Hierzu ist die multimodale Bildgebung, d.h. die Kombination mit MRT, CT und Weißlichtbildern, erforderlich. Während dieses Prozesses gilt es, eine möglichst hohe Überlagerungsgüte zu erreichen. Das freiliegende Gehirn zeigt aber, vor allem infolge von Puls und Atmung, ein Bewegungsmuster, das weder örtlich noch dynamisch homogen ist. Zudem treten, infolge der Trepanation bzw. auch durch Resektion von raumforderndem Gewebe, weitere Abweichungen zu den präoperativen Bildern auf. Diese Veränderungen sind im Regelfall nichtlinear. Diese Deformationen werden unter dem Begriff *Brain Shift* zusammengefasst. Aufgrund dieser Probleme stellt die korrekte Fusion bzw. Überlagerung intraoperativer Bilddaten mit präoperativen Bildern eine große Herausforderung dar. Zur quantitativen Bewertung der Bildfusion hinsichtlich der Überlagerungsgüte wird im Folgenden ein Phantom vorgestellt, mit dem Bildfusions- und nicht-lineare Registrierungsalgorithmen getestet und evaluiert werden können.

Die Simulation des Gehirns, seiner Oberfläche und seiner Bewegung ist in der medizinischen Forschung ein aktives Feld. Chen et al. [1] entwickelten ein Phantom, welches Merkmale im CT, MRT sowie US aufweist, jedoch keine Perfusionssimulationen ermöglicht und zusätzliche Verformungen durch Trepanationen nicht simuliert. Die Form ihres Phantoms basiert auf der linken Hälfte des Colin27 Datensatzes von Holmes et al. [2]. Das aus TangoPlus Polyjet Resin (FC-930) gegossene, fertige Phantom hat integrierte Landmarken die die Erkennung durch die Bildgebungsmodalitäten ermöglichen. Zudem besitzt das Phantom einen aus PVA-C [3] bestehenden Tumor, der im Inneren des Phantoms angebracht wurde. Weiterhin hat das Phantom integrierte Katheter die mit bis zu 10ml Wasser befüllt werden können. Mit ihnen kann der Brain Shift simuliert werden.

Reinertsen et al. [4] präsentierten ein MRT- sowie US-Phantom, welches ebenfalls den Brain Shift simuliert, jedoch den Einfluss der Trepanation vernachlässigt. Auch ihr Phantom besteht aus einer PVA-C-Lösung. Hier wurden zusätzlich Plastikschläuche integriert, mit denen Perfusion simuliert werden kann. Neben den integrierten Schläuchen wurden an der Oberfläche des Phantoms weitere installiert. Um nichtlineare Deformationsalgorithmen zu testen, hat auch dieses Phantom einen Katheter im Inneren. Dieser lässt sich mit einer handelsüblichen Spritze durch das Einfüllen eines definierten Volumens befüllen. Die Oberfläche ihres Phantoms basiert auf einer von SKS Sibley Co. [5] gelieferten Form.

Im Folgenden wird ein in der MRT-, CT- sowie Thermografie-Bildgebung sichtbares Phantom präsentiert, welches eine Trepanation des Schädels im Rahmen von neurochirurgischen Eingriffen simuliert. Weiterhin können Perfusions- und Brain Shift-Simulationen durchgeführt werden.

Bisherige Arbeiten

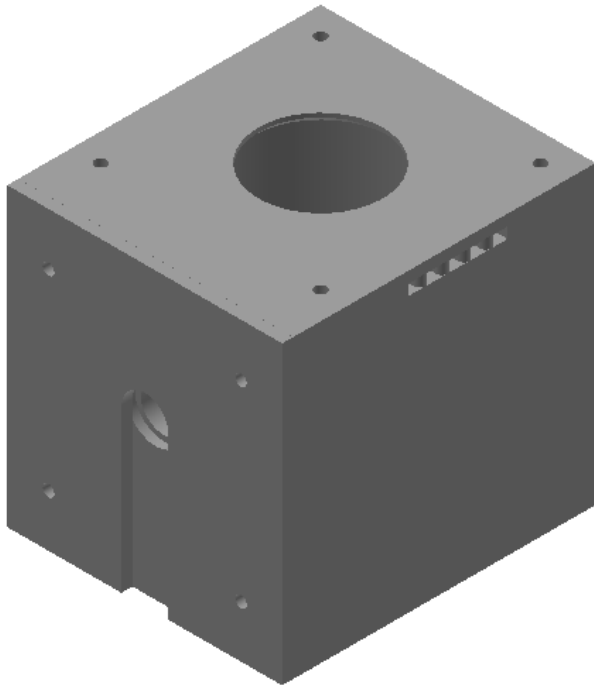


Abb. 1: 3D-Modell des Phantoms ohne Ballon, Schläuche und Spritzen

Materialien und Methoden

Das entwickelte Phantom besteht aus einem dreiteiligen Gehäuse, einem Ballon und einer Schlauchkonfiguration mit zwei 60ml-Spritzen. Die Gesamtgröße des Phantoms beträgt 104mm * 119mm * 100mm. Die Deckenplatte mit dem kreisförmigen Loch hat die Größe von 115mm * 100mm * 4mm. Die Seitenplatte mit der länglichen Aussparung besitzt Abmessungen von 4mm * 100mm * 104mm. Die Silikonschläuche von Helix Medical [6] besitzen einen Außendurchmesser von 3,18mm, einen Innendurchmesser von 1,98mm und eine Wandstärke von 0,60mm. Der Härtegrad beträgt 50 Shore (A). Die Gehäuseteile des Phantoms bestehen aus Kunststoff und wurden nach in Autodesk Inventor 2015 gefertigten 3D-Modellen gefertigt. Als Fertigungsart wurde der 3D-Druck gewählt, da hier maßgenaue und komplexe Strukturen hergestellt werden können. Das Gehäuse des Phantoms simuliert den Schädel. Die Deckenplatte mit der Aussparung simuliert die Trepanation und kann ausgewechselt werden. Die Bauteile werden mit M4*12mm Kunststoffschrauben verbunden. Der innenliegende Ballon repräsentiert das Gehirn. Er besteht aus zwei, ineinander liegenden handelsüblichen Luftballons. Diese Ballons sind mit Leitungswasser gefüllt. Das Volumen des Ballons kann über die daran angeschlossene Spritze kontrolliert verändert werden. Die Schläuche liegen auf dem Ballon auf und werden durch Aussparungen im Grundkörper auf einer definierten Position gehalten. Kleine Rundungen an den Kanten der Führung verhindern Knicke in den Schläuchen. Diese

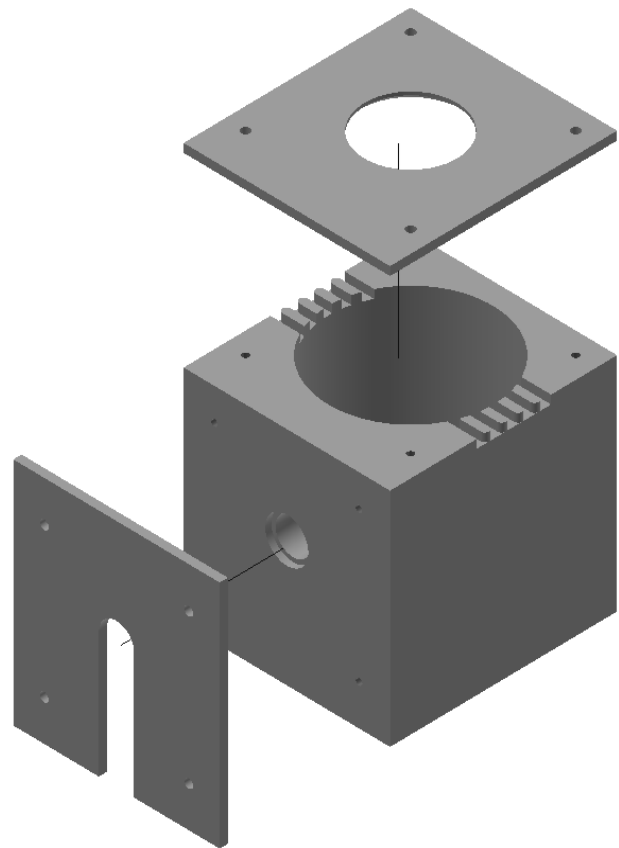


Abb. 2: Explosionsansicht des 3D-Modells des Phantoms ohne Ballon, Schläuche und Zubehör

könnten dazu führen, dass der Durchfluss unterbrochen wird. Durch ihre geringe Härte von 50 Shore verformen sich die Schläuche beim Füllen der Schläuche elastisch. Ein Eindrücken des Ballons durch den Widerstand der Schläuche findet nicht statt. Die Schläuche simulieren eine einfache Konfiguration von Blutgefäßen und befinden sich nicht im gleichen hydraulischen Kreislauf wie der Ballon. Durch das Füllen bzw. Durchströmen der Schläuche mit einer Flüssigkeit, die einen signifikanten Temperaturunterschied zur Umgebung und zu der Flüssigkeit im Ballon aufweist, kann das Phantom für die Thermografie verwendet werden. Es können beliebige Temperaturunterschiede zwischen Ballon und Schlauchkonfiguration hergestellt werden, welche dann erfasst und ausgewertet werden können. Durch verschiedene Flüssigkeiten in den Kreisläufen oder dem Einsatz von Kontrastmittel kann die Unterscheidbarkeit im MRT und CT hergestellt bzw. verbessert werden. Um die Einsatzmöglichkeiten des Phantoms weiter zu erhöhen werden Passermarken an der Oberseite und den Seitenflächen anbracht. Verwendet wurden hier donutförmige Passermarken [7]. Die verwendeten Passermarken sind sowohl in MRT als auch CT sichtbar. Mit Ihnen kann das Phantom mit Neuronavigationssystemen wie z.B. Geräten von BrianLab [8] verwendet werden. Die Simulation

des Brain Shifts wird durch die Veränderung des Ballonvolumens vorgenommen. Die hochelastischen Schläuche verformen sich mit dem Ballon. Die Form der Trepanation, also des Loches in der Deckelplatte, sorgt zusätzlich für eine an die Form angelehnte Deformation. Durch die austauschbare Deckenplatte können verschiedene Trepanationsformen simuliert werden. Verschiedene Trepanationsformen liefern verschiedene Deformationsmuster. Abbildung 1 zeigt ein 3D-Modell des Phantoms. Die an der linken Seite zu sehende Öffnung wird genutzt, um das Volumen des Ballons zu verändern. Die Öffnung an der Oberseite stellt die Trepanation dar. Die Öffnungen an der rechten Seite stellen die Führungsaussparungen für die Schläuche dar. Dies wird in Abbildung 2 genauer sichtbar. Die Schläuche werden s-förmig durch die Führungsaussparungen geführt. Bereits erwähnt wurden die Rundungen, die ein Knicken der Schläuche verhindern. Die Aussparung an der Frontplatte ist entwickelt worden, um den Schlauchverbinder zwischen Ballon und dem Schlauch, der an der Spritze befestigt ist, zu fixieren.

Damit ist das Phantom einsetzbar, um verschiedene nichtlineare Verformungen zu simulieren. An diesen Bewegungsmustern können dann Bildfusions- und Registrierungsalgorithmen getestet werden. Die Schläuche sind sowohl in MRT, CT als auch Thermografie sichtbar. Die Marker werden ebenfalls von diesen Modalitäten erkannt.

Zusammenfassung und Ausblick

Das präsentierte Phantom ermöglicht es, quantitative Bewertungen von Bildfusions-, nichtlinearen Registrierungs- und Deformationsalgorithmen im Bereich der multimodalen Bildgebung vorzunehmen. Es bietet Merkmale in MRT, CT und auch in der Thermografie. Weiterhin erlaubt es die Simulation von Perfusion in dem die Schläuche während Thermografieaufnahmen mit Flüssigkeit unterschiedlichster Temperatur durchströmt werden. Eine Simulation von Brain Shift ist durch die Änderung des Flüssigkeitsvolumens im Ballon möglich. Diese Änderung kann durch die Spritze kontrolliert stattfinden. Das Phantom bietet viele Möglichkeiten zur Erweiterung. Durch komplexere Schlauchsetups und Führungen können der Realität näherkommende Gefäß-Konfigurationen simuliert werden. Durch Schläuche unterschiedlichster Materialien und Härtegrade können komplexere Verformungen herbeigeführt werden. Ähnlich wie in den in *Bisherige Arbeiten* vorgestellten Phantomen, kann der Ballon durch einen PVA-C Lösung ersetzt werden, die zusätzliche Merkmale wie innen- bzw. an der Oberfläche liegende Tumorsimulationen oder zusätzliche, innenliegende Gefäße enthält. Zudem kann die dann simulierte Oberfläche für die Evaluation in der Weißlichtbildgebung eingesetzt werden. Ebenfalls

würde dann die Möglichkeit bestehen, Ultraschallmessgeräte an dem Phantom einzusetzen und die Spannbreite der einsetzbaren Modalitäten zu erweitern. Abschließend können die Spritzen durch motorisierte Pumpen ersetzt werden.

Literatur

- [1] JY-SHYANG CHEN, S. ; HELLIER, P. ; GAUVRIT, J. ; MARCHAL, M. ; COLLINS, L. D.: An anatomic polyvinyl alcohol triple-modality brain phantom based on Colin27. In: *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2010*. Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 92-100
- [2] HOLMES, C. ; HOGE, R. ; COLLINS, L. ; WOODS, R. ; TOGA, A. ; EVANS, A.: Enhancement of MR images using registration for signal averaging. In: *Journal of Computer Assisted Tomography* 22 (1998), Nr. 2, S. 324-333
- [3] REDEYE: Produktseite RedEye TangoPlus: <http://www.redeyeondemand.com/tangoplus>, abgerufen am 19.09.2014
- [4] REINERTSEN, I. ; COLLINS, D.: A realistic phantom for brain-shift simulations. In: *Medical Physics* 33 (2006), S. 3234-3240
- [5] SKS SIBLEY Co.: Firmeninformation SKS Sibley Co., El Segundo, CA, USA.
- [6] HELIX MEDICAL LLC.: Produktseite der verwendeten Schläuche von Helix Medical LLC. <http://www.helixmedical.com/helixmark/standard-silicone-tubing>, abgerufen am 19.09.2014
- [7] UNIVERSAL MEDICAL: Produktseite der verwendeten Marker <http://www.universalmedicalinc.com/Center-Hole-Mammography-Skin-Marker-p/mm3002.htm>, abgerufen am 19.09.2014
- [8] BRAINLAB AG: Homepage der BrainLab <http://www.brainlab.com>, abgerufen am 19.09.2014