

Verwendung des 3D-User Interfaces zSpace zur Exploration und Inspektion von Wirbeln der Halswirbelsäule

Patrick Saalfeld¹, Alexandra Baer¹, Kai Lawonn¹, Uta Preim²,
Bernhard Preim¹

¹OvG-Universität, Institut für Simulation und Graphik, Magdeburg, Germany

²Klinikum Magdeburg, Institut für Radiologie, Magdeburg, Germany
saalfeld@isg.cs.uni-magdeburg.de

Kurzfassung. Diese Arbeit untersucht die Verwendung eines stereoskopischen Monitors sowie die Stift-basierte Eingabe zur Exploration der Halswirbelsäule und Inspektion einzelner Wirbel. Die Exploration medizinischer Strukturen erleichtert das Verstehen und Erlernen anatomischer Zusammenhänge und kann somit Ärzte in der Ausbildung unterstützen. Die Stiftinteraktion basiert auf einer Metapher, welche durch eine Fokus- und Kontexttechnik unterstützt wird. Die Eignung des 3D-User Interfaces wird evaluiert sowie quantitativ und qualitativ ausgewertet.

1 Einleitung

Für das Erlernen anatomischer Zusammenhänge ist die interaktive Exploration von realistischen 3D-Modellen hilfreich [1,2]. Diese Zusammenhänge können Eigenschaften wie die Größe einzelner Strukturen, Lokalität oder Relation zu anderen Objekten sein. Medizinstudierende und Ärzte müssen diese Eigenschaften und anatomische Zusammenhänge lernen und verstehen [1]. Eine Aufgabe von Chirurgen ist es, Bilder und Informationen der diagnostischen 2D-Bildgebung während einer Operation in die reale Welt auf den Patienten zu übertragen [3]. Hierbei liefern bspw. CT-Daten der Halswirbelsäule mit geringer Schichtdicke die Grundlage, um den Zustand des Patienten zu beurteilen [4].

Durch 3D-User Interfaces (3DUIs), also Benutzungsschnittstellen, die die *direkte* Interaktion im 3D-Raum durch Ein- und Ausgabegeräte ermöglichen, können 3D-Daten realitätsnah dargestellt werden. Dies ermöglicht die Exploration von anatomischen Zusammenhängen und erleichtert die Transferleistung, die der Chirurg beim Übertragen der 2D-Bilddaten in die Realität vollbringt. Bei der Exploration der Halswirbelsäule sollte ein 3DUI bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Das *Ausgabegerät* sollte die Betrachtung von 3D-Objekten unterstützen. Die Wahrnehmung komplexer Strukturen, z. B. Wirbelkörper, profitiert dabei besonders von zusätzlichen Tiefenhinweisen, wie sie durch stereoskopische Displays kommuniziert werden.

- Das *Eingabegerät* sollte dem Nutzer erlauben, die 3D-Szene und einzelne 3D-Objekte flexibel und zielführend zu manipulieren. Hierzu bieten sich Eingabegeräte mit mehreren Freiheitsgraden an (Degree of Freedom, DOF). Da diese Freiheitsgrade zu einer komplizierteren Interaktion führen können, kann eine Metapher aus dem alltäglichen Leben helfen [1].
- Die *Art der Darstellung* sollte den Nutzer unterstützen, einen Gesamteindruck über die 3D-Szene zu erhalten und Strukturen von besonderer Relevanz zu erkennen. Fokus- und Kontexttechniken (F&K-Techniken) sowie illustrative Visualisierungsmethoden sind hierfür sinnvoll.

Diese Arbeit untersucht die genannten Anforderungen mit dem Ziel, Lösungen für die Exploration und Inspektion der Halswirbelsäule zu finden.

Das 3D-Puzzle von Ritter et al. [1] nutzt 3D-Visualisierungstechniken und eine Interaktionsmetapher um bspw. Medizinstudierende zu unterstützen. Auch in der vorliegenden Arbeit werden Visualisierungs- und Metapher-basierte Interaktionstechniken genutzt, um angehenden Mediziner*innen zu ermöglichen, räumliche Strukturen und Zusammenhänge zu explorieren und zu verstehen. Ein aktueller Überblick über Anwendungen, die medizinisches Lernen in der Ausbildung und im Training unterstützen, ist in [5] zu finden. Das Potential des 3DUIs *zSpace* (www.zspace.com) wurde für das Training einer Tympanoplastik von [6] beschrieben und wird daher in dieser Arbeit verwendet. F&K-Techniken können zusätzlich helfen, indem sie einen Überblick über die gesamten dargestellten Daten geben (Kontext) und gleichzeitig ermöglichen, Elemente im Detail zu betrachten (Fokus). Neben *räumlichen* F&K-Techniken wie Fish-Eye-Views [7], *dimensionale* Techniken wie magischen Linsen zur Betrachtung von Wirbeln [8], existieren auch Techniken, die visuelle Parameter von Objekten wie den Kontrast ändern. In dieser Arbeit wird eine solche *hinweisende* Technik verwendet.

2 Material und Methoden

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über das verwendete Ein- und Ausgabegerät und die genutzte Interaktions- sowie F&K-Technik gegeben. Anschließend wird das Konzept der durchgeführten Evaluierung beschrieben.

Die 3D-Modelle der einzelnen Wirbel basieren auf einem CT-Datensatz mit 0,7mm Schichtdicke im Knochen- und Weichteilkern. Aus diesem wurden die Wirbel C1 bis C7 segmentiert und in 3D-Oberflächenmodelle umgewandelt.

2.1 3DUI und F&K-Technik

Diese Arbeit verwendet das *zSpace*, welches einen 3D-Monitor mit Stift-basierter Interaktion durch einen 6DOF-Stylus kombiniert (Abb. 3(a)). Der hochauflösende Monitor ermöglicht die stereoskopische Betrachtung von 3D-Modellen durch eine polarisierte passive 3D-Brille. Zusätzlich wird die Position der Brille vom System getrackt (Kopf-Tracking), was die Erfassung der Position und Orientierung des Kopfes des Nutzers erlaubt (*Fishtank-VR*). Dies erlaubt dem Arzt die

dargestellte Halswirbelsäule durch alleiniges Bewegen des Kopfes stereoskopisch von verschiedenen Seiten zu betrachten. Die Interaktion mit 3D-Daten ist neben herkömmlicher Mausinteraktion mit dem Stylus möglich, welcher räumlich getrackt wird. Die Ausrichtung des Stifts wird virtuell in die 3D-Szene verlängert und ermöglicht es so auf einzelne Wirbel der Halswirbelsäule zu zeigen. Diese werden, sobald markiert, rot gefärbt (Abb. 1). Zur Wirbelselektion wird ein Knopf am Stylus genutzt. Zur Inspektion einzelner Wirbel muss der Nutzer in der Lage sein, diesen zu verschieben und zu rotieren. Zur Realisierung wird folgende Metapher verwendet: Beim Drücken des Knopfes wird der Wirbel *aufgespießt*, ist somit am virtuell verlängertem Strahl befestigt und kann nun simultan verschoben und rotiert werden.

Beim Selektieren eines Wirbels wird die *Ghost Copy Technique* aus [9] verwendet. Hierbei wird der Wirbel nicht aus der Gesamtstruktur entfernt, sondern eine temporäre Kopie erstellt. Dies hat den Vorteil, dass der Kontext für den Nutzer geometrisch unverändert sichtbar bleibt, er aber dennoch den Wirbel als Kopie inspizieren kann. Als F&K-Technik wird eine hinweisende Methode umgesetzt, welche auf Tiefenschärfe basiert. Normalerweise werden vom Auge fokussierte Objekte scharf wahrgenommen – Objekte, die sich davor oder dahinter befinden, werden mit größerer Distanz zum Fokusobjekt unschärfer. Diesen Prozess kann man umkehren, um die Aufmerksamkeit des Nutzers zu lenken [10]: Lässt man die Kontextstruktur, hier die Halswirbelsäule, unschärfer erscheinen, so konzentriert sich der Nutzer automatisch auf das Fokusobjekt und kann dieses immer noch mental in den Kontext einordnen (Abb. 1). Die F&K-Technik wird angewendet, sobald der Nutzer einen Wirbel selektiert, wobei die Unschärfe der Halswirbelsäule so animiert wird, dass die Unschärfe stetig stärker wird. Nachdem der Nutzer den Wirbel inspiziert hat, kann dieser durch Drücken eines zweiten Knopfes am Stylus repositioniert werden (Abb. 2). Die zum Ende langsamer verlaufende Animation wird dabei so ausgeführt, dass sich das Objekt gleichmäßig zur ursprünglichen Stelle verschiebt und orientiert. Dabei wird der Unschärfe-Effekt der Kontextvisualisierung mit der Transformation des inspizierten Objektes synchronisiert, sodass die Gesamtstruktur zeitgleich scharf dargestellt wird, sobald das Objekt seine Ausgangsposition erreicht hat.

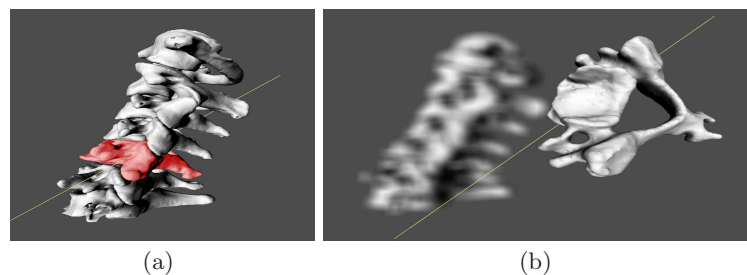


Abb. 1. (a) Der Wirbel C5 wird mit dem Stylus markiert. (b) Mit gedrücktem Knopf am Stylus kann der Wirbel inspiziert werden. Nach der Selektion wird der Kontext (Wirbelsäule) unscharf dargestellt, um die Fokusstruktur (Wirbel) hervorzuheben.

2.2 Konzept der Evaluierung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine strukturierte Befragung bezüglich der persönlichen Einschätzung der Visualisierung und Interaktion durchgeführt. Hierzu wurde ein Fragebogen erstellt, welcher in folgende fünf Bereiche unterteilt wurde: die *Stereovisualisierung*, das *Explorieren mittels Kopf-Tracking*, die *Stylus-Interaktion*, die *Fokus- und Kontextdarstellung* sowie die *Animation der Repositionierung*. Eine persönliche Bewertung jedes Bereiches wird mittels einer 5-Punkte Likert-Skala mit einer Einteilung von (–, –, 0, +, ++) dokumentiert. Neben Fragen bezüglich der Explorationsunterstützung wird in jedem der fünf Bereiche die Benutzerfreundlichkeit erfragt. Die Ergebnisse werden quantitativ ausgewertet sowie mithilfe des Mittelwertes und Medians eine Tendenz der Probanden ermittelt. Weiterhin werden Äußerungen notiert sowie die Möglichkeit für individuelle schriftliche Kommentare gegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Ablauf der Evaluierung

Allen Probanden wurde das 3D-Modell der Halswirbelsäule präsentiert. Zu Beginn erfolgte eine individuelle Exploration des Modells durch Mausinteraktion. Danach wurden die Probanden gebeten, das Modell nur durch Änderung der Kopfposition zu untersuchen. Anschließend wurden die Probanden aufgefordert mithilfe des Stylus einen Wirbelkörper zu selektieren, aus der Halswirbelsäule herauszuholen und die so gewählte Fokusstruktur separat zu inspizieren (Abb. 1). Abschließend wurde die animierte Repositionierung der Fokusstruktur in den Kontext durch die Probanden ausgelöst und betrachtet (Abb. 2). Jeder Proband erhielt einen Fragebogen, welcher *während* der Interaktion mit dem Modell ausgefüllt werden sollte. Dies ermöglichte den Probanden unmittelbar nach Ausführung der Aufgaben die Fragen zu beantworten und ggf. explizit ihre Einschätzung durch erneute Ausführung zu überprüfen.

3.2 Auswertung der Evaluierung

Insgesamt haben neun Probanden an der Evaluierung teilgenommen. Davon waren sieben männlich und zwei weiblich im Alter von 26 bis 45 Jahren (\bar{O} 32,3

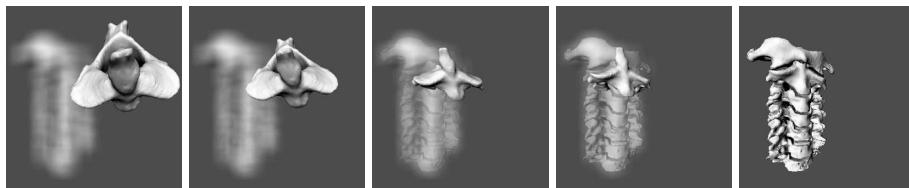


Abb. 2. Der inspizierte Wirbel wird nach Druck auf einen Stylus-Knopf mit einer Ease-out-Animation an seine ursprüngliche Stelle transformiert. Synchron dazu ändert sich die Darstellung der Kontextstruktur von unscharf zu scharf.

Jahre). Während zwei Probanden keine Erfahrung mit Stiftinteraktion hatten, gaben alle Teilnehmer an, Erfahrung mit 3D-Visualisierungen und Stereovisualisierungen zu haben. Ein Proband hatte keine Erfahrungen mit medizinischen Daten; die anderen waren mit medizinischen Visualisierungen vertraut. Für die Analyse der Antworten wurde die Skalen-Einteilung mit numerischen Werten von -2 bis $+2$ gleichgesetzt, was einer üblichen Vorgehensweise in der Statistik zur Bestimmung eines Mittelwertes \bar{x} entspricht. Die Stereovisualisierung wurde mit $\bar{x} = 1,44$ und einem Median von $md = 2$ bewertet, was „++“ der Likert-Skala entspricht. Die Ergebnisse für das Kopf-Tracking erreichen einen Mittelwert von $\bar{x} = 1,22$ und $md = 1$, für die Animation $\bar{x} = 1,78$ und $md = 2$ und für die Unschärfe-Darstellung $\bar{x} = 1,22$ und $md = 1$. Zwei Probanden kommentierten, dass ihnen die Unschärfe der Kontextstruktur zu stark ist, wobei nur einer die Teilfrage aus dem Bereich Unschärfe, wie „angenehm die Unschärfe empfunden wird“, mit „-“ bewertete. Alle anderen Bewertungen entsprachen „+“ (55,5%) oder „++“ (33,3%). Der Stylus als Eingabegerät wurde von den Probanden mit $\bar{x} = 1,00$ und $md = 1$ bewertet. Die Beantwortung der Frage, ob eine Verschiebung mithilfe des Stylus erleichtert wird, wurde von 55,5% mit „++“ und von 44,4% mit „+“ bewertet. Die Rotation mit dem Stylus wurde hingegen nur einmal mit „++“, dreimal mit „+“, dreimal mit „0“ und zweimal mit „-“ bewertet. Differenzierter analysiert und auch durch Beobachtungen während der Studie bestätigt, empfinden die Probanden es leichter mithilfe des Stylus eine Struktur zu verschieben ($\bar{x} = 1,55$, $md = 2$) als diese zu rotieren ($\bar{x} = 0,33$, $md = 0$). Drei Probanden gaben an, dass ihnen die Rotation Schwierigkeiten bereitete, wobei einer anmerkte, dass ihm diese Interaktion durch Übung leichter fallen würde. Die Ergebnisse des Fragebogens sind in Abb. 3(b) zusammengefasst.

4 Diskussion

Die Evaluierung zeigt, dass die Bewertung der Probanden in allen Bereichen im Median zwischen „++“ und „+“ liegt. Dies ist ein Indikator dafür, dass sich das zSpace kombiniert mit der auf Unschärfe-basierenden F&K-Technik zur Exploration und Inspektion der Halswirbelsäule sowie einzelner Wirbel eignet. Auffallend ist, dass die Interaktion mit dem Stylus, im Speziellem die Rotation

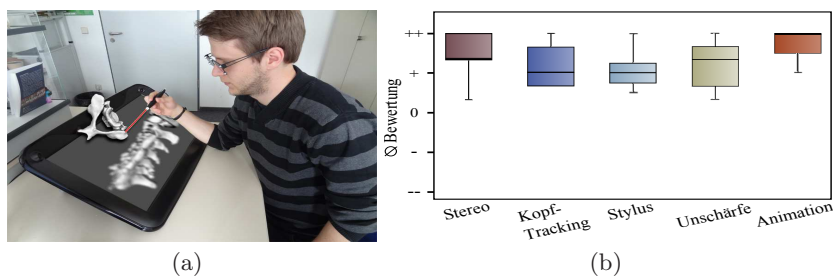


Abb. 3. (a) illustriert die Inspektion eines Wirbels mit dem zSpace. (b) Die Ergebnisse der fünf abgefragten Bereiche sind als Boxplots dargestellt.

einzelner Wirbel, mit „+“ bewertet wurde. Dies ist auf die geringe Erfahrung der Probanden mit dieser Interaktionstechnik zurückzuführen. Dies wird zum einen durch die Aussage eines Probanden bestätigt. Zum anderen konnte während der Nutzerstudie beobachtet werden, dass Probanden mit Stylus-Erfahrung weniger Interaktionsschritte benötigten, um einen Wirbel in die gewünschte Ausrichtung zu rotieren. Die vorliegende Arbeit hat ein 3DUI für das Betrachten, Verstehen und Erlernen anatomischer Zusammenhänge der Halswirbelsäule vorgestellt. Zukünftige Arbeiten können die Frage untersuchen, wie dem Nutzer verständlicher die Funktionsweise des Stylus kommuniziert werden kann. Weiterhin ist die Übertragung der beschriebenen Techniken auf andere medizinische Anwendungsgebiete wie die Exploration von Gefäßpathologien interessant.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Zusammenhang mit dem STIMULATE-Projekt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF (Förderkennzeichen 03FO16101A) gefördert. Weiterhin danken wir Dornheim Medical Images für die Bereitstellung des Dornheim Segmenters.

Literaturverzeichnis

1. Ritter F, Preim B, Deussen O, Strothotte T. Using a 3d Puzzle as a Metaphor for Learning Spatial Relations. *Proc of Graphics Interface*. 2000; p. 171–178.
2. Höhne KH, Bomans M, Riemer M, Schubert R, Tiede U, Lierse W. A Volume-Based Anatomical Atlas. *IEEE Comput Graph Appl*. 1992;12(4):73–78.
3. Kellermann K, Salah Z, Mönch J, Franke J, Rose G, Preim B. Improved Spine Surgery and Intervention with Virtual and Interactive Training Cases and Augmented Reality Visualization. *Proc of Digital Engineering*. 2011; p. 8–15.
4. Friedburg H. Bildgebende Verfahren und ihre Wertigkeit. In: *Die obere Halswirbelsäule*. Springer Berlin Heidelberg; 2005. p. 183–191.
5. Preim B, Botha CP. *Visual Computing for Medicine: Theory, Algorithms, and Applications*. Elsevier Science; 2013.
6. Baer A, Hübler A, Saalfeld P, Cunningham D, Preim B. A Comparative User Study of a 2D and an Autostereoscopic 3D Display for a Tympanoplastic Surgery. *Proc of EG Visual Computing for Biology and Medicine*. 2014; p. 181–190.
7. Furnas GW. Generalized Fisheye Views. *SIGCHI*. 1986;17:16–23.
8. Bichlmeier C, Heining SM, et al MR. Virtually Extended Surgical Drilling Device: Virtual Mirror for Navigated Spine Surgery. *Proc of MICCAI*. 2007; p. 434–441.
9. Tan DS, Robertson GG, Czerwinski M. Exploring 3D Navigation: Combining Speed-coupled Flying with Orbiting. *Proc of the SIGCHI*. 2001; p. 418–425.
10. Kosara R, Miksch S, Hauser H. Semantic Depth of Field. *Proc of the IEEE Symposium on (INFOVIS'01)*. 2001; p. 97–104.