

Konzepte mit unterschiedlichen Platzanforderungen zur Navigation in medizinischen Bilddaten mittels eines Sensorfußbodens

S. Wagner, B. Hatscher, M. Luz, B. Preim, C. Hansen

**Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Deutschland**

Kontakt: sebastian.wagner@ovgu.de

Abstract

Die Navigation in medizinischen Bilddaten ist ein essentieller Bestandteil vieler chirurgischer Eingriffe. Bei herkömmlichen Methoden gibt es Sterilitätsprobleme, daher werden in dieser Arbeit zwei neue Konzepte zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten per Fußinteraktion vorgestellt. Das erste Konzept basiert auf der Navigation über die Betätigung von Buttons per Schrittgesten, wodurch ein hoher Platzbedarf besteht. Das zweite platzsparende Konzept beruht auf Gewichtsverlagerung und Fußrotation. Diese Konzepte wurden innerhalb einer Studie evaluiert. 13 Medizinstudenten wurden gebeten eine Reihe von Aufgaben zur Manipulation von medizinischen Bilddaten auszuführen. Dabei wurden die Bearbeitungszeit, die subjektive Beanspruchung und die Benutzbarkeit untersucht. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Interaktion mit dem platzsparenden Konzept funktioniert, jedoch konnten die zu absolvierenden Aufgaben bei der Benutzung des Konzepts mit Hilfe von Buttons in Bezug auf die Bearbeitungszeit signifikant schneller bearbeitet werden.

Keywords: Fuß-Interaktion, Mensch-Computer-Interaktion, Bildgestützte Chirurgie

1 Problemstellung

Während komplexer medizinischer Eingriffe ist der Zugriff auf Bild- und Planungsdaten des Patienten häufig notwendig [1]. Allerdings stellt diese Tatsache die operierenden Ärzte vor Schwierigkeiten bei der Interaktion mit den Daten, da Operationssäle steril gehalten werden müssen. Eingabegeräte zur Navigation in den Bilddaten oder zur Steuerung von Geräten, wie Maus, Tastatur und Joystick, sind durch transparente Folie bedeckt, welche die Nutzung erschwert [2]. Die Navigationsaufgaben werden oft auch an Assistenten delegiert. Dies kann jedoch ineffizient und zeitaufwändig sein [3, 4]. Eine weitere Alternative besteht darin, dass der operierende Arzt den sterilen Operationssaal verlässt, um in einem benachbarten, nicht-sterilen Kontrollraum mit den Daten zu interagieren. Dieses Vorgehen führt allerdings zu Unterbrechungen und Verzögerungen im Arbeitsfluss [5]. Daher ist die Entwicklung von neuen Techniken zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten im Operationssaal von großem Interesse. Die Abläufe für den operierenden Arzt sollen so angenehm und einfach wie möglich gestaltet werden, damit dieser sich vollständig auf die eigentliche Operation konzentrieren kann.

Die meisten neueren Ansätze zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten unter sterilen Bedingungen stützen sich auf die Verwendung von Handgesten [1, 3, 4, 6]. Zur Ausführung dieser Gesten benötigt der Nutzer mindestens eine freie Hand. Dies kann zu Unterbrechungen und Verzögerungen im Arbeitsablauf führen, da der Operateur chirurgische Instrumente oder Materialien aus den Händen legen muss. Ein weiterer Ansatz, bei dem die Hände für Operationsaufgaben frei sind, ist die Steuerung der Bilddaten mit Fußgesten. Die Fußgesten können unter anderem mit Sensorfußböden erfasst werden [7, 8]. Der Vorteil bei der Verwendung eines Sensorfußbodens ist, dass der Nutzer keine spezifische Hardware am Körper tragen muss und so jeder Nutzer direkt mit dem System interagieren kann. Außerdem unterscheidet sich der Sensorfußboden in seiner Beschaffenheit nicht von herkömmlichen Fußböden, sodass er unbemerkt in den Raum integriert werden kann.

In der Arbeit von Jalaliniya et al. [7] werden zentrale Navigationsfunktionen weiterhin per Hand ausgeführt. Die Fußgesten werden lediglich für die Aktivierung der Handgestenerkennung und zum Wechsel zwischen Anwendungsfenstern verwendet. Bei Hatscher et al. [8] werden hingegen alle Navigationsaufgaben durch Fußgesten ausgeführt, sodass die Hände komplett frei verfügbar sind. Dies geschieht mit Hilfe von auf dem Sensorboden definierten Bereichen, den sogenannten Buttons, welche durch Schrittgesten ausgelöst werden können. Allerdings benötigen diese Buttons sehr viel freien Platz um den Nutzer. Dieser kann innerhalb des Operationssaals nicht gewährleistet werden, da sich neben dem operierenden Arzt weiteres Personal in

unmittelbarer Nähe befindet. Eine Eingabe mittels Gewichtsverlagerung und/oder Fußrotation wäre hier platzsparender.

Daher werden in dieser Arbeit zwei handfreie Interaktionskonzepte zur Navigation in medizinischen Bilddaten mit Hilfe von Fußgesten vorgestellt und verglichen. Zunächst wurde ein bereits existierendes Interaktionskonzept von Hatscher et al. [8] erweitert und optimiert. Das zweite Konzept verwendet Gewichtsverlagerung und Fußrotationen und benötigt zur Interaktion nur die Standfläche des Nutzers selbst. Zur Bewertung der entwickelten Konzepte wurden diese prototypisch implementiert und eine systematische Evaluierung durchgeführt, um die grundsätzliche Bedienbarkeit der Konzepte zu vergleichen. Die Probanden wurden gebeten eine Reihe von Navigationsaufgaben mit den entwickelten Konzepten auszuführen. Dabei lag der Fokus in der Erfassung von Bearbeitungszeiten spezifischer Navigationsaufgaben sowie der Evaluierung des Nutzererlebnisses und der subjektiven Beanspruchung.

2 Material und Methoden

Im Folgenden werden die verwendete Hardware, die Interaktionskonzepte und die durchgeführte Evaluierung beschrieben. Dabei unterscheiden sich die Interaktionskonzepte im Gestenset und dem für die Ausführung dieser Gesten benötigten freien Platz um den Nutzer. Da zunächst lediglich die entwickelten Gestensets untersucht werden sollen, wurde sich aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit für eine Standardisierung in Form einer festen Standposition der potentiellen Nutzer entschieden.

2.1 Sensorfußboden

Zur Erfassung der Fußgesten wird der kapazitive Sensorfußboden SensFloor® (FutureShape GmbH, Höhenkirchen, Deutschland) verwendet, welcher bereits in einer früheren Arbeit verwendet wurde [8]. Dieser wird bereits für vielfältige Anwendungen als Medizinprodukt eingesetzt, insbesondere zur Ganganalyse und Sturzerkennung. Der Sensorfußboden besteht aus rautenförmigen Modulen, welche aus jeweils acht dreiecksförmigen kapazitiven Sensorzellen bestehen (vgl. Abbildung 1). Dabei können beliebig viele Module aneinandergereiht werden. Der im Rahmen dieser Arbeit verwendete Sensorfußboden umfasst eine Fläche von 2 m². Ein einzelnes Sensormodul misst eine Fläche von ca. 48x48 cm. Durch den Kontakt mit leitfähigen Objekten erfassen die Sensorzellen Kapazitätsänderungen, sodass eine Aussage über die Position des Nutzers getroffen werden kann [10]. Hierzu wird ein Schwellwertverfahren verwendet, welches die Zellen ab einem bestimmten Kapazitätswert als aktiv deklariert.

2.2 Interaktionskonzepte

Navigationsaufgaben Es werden zwei zentrale Navigationsaufgaben betrachtet:

- Auswahl von 2D Schichten in einem 3D Bilddatensatz (CT, MRT)
- Rotation der 3D Volumendarstellung des Bilddatensatzes

Aktivierungsgeste Bevor der Nutzer jedoch mit den Bilddaten interagieren kann, muss er zunächst eine Aktivierungsgeste ausführen. Die Verwendung einer Aktivierungsgeste ist weit verbreitet. So verwenden Jalaliniya et al. diese um die Handgestenerkennung zu aktivieren [7]. Besonders wichtig ist dies bei Fußgesten, da sich die Füße im Stehen auf der Eingabefläche des Mediums, hier dem Sensorfußboden, befinden und so eine Unterscheidung zwischen beabsichtigten und unbeabsichtigten Gesten notwendig ist. Hierzu wird ein Double-Tap verwendet, das heißt eine Abfolge von zwei hintereinander ausgeführten Tap-Gesten. Um dem Nutzer Feedback zu vermitteln, wurde ein spezielles Widget auf dem Bildschirm dargestellt (siehe Abbildung 2), welches einen Fortschrittsbalken darstellt, verwendet.

Konzept 1: Navigation über Buttons

Dieses Konzept basiert auf der Arbeit von Hatscher et al. [8]. Definierte Bereiche auf dem Boden (im Folgenden Buttons genannt) werden durch die Ausführung von Schrittgesten ausgelöst und die auf diese Weise entsprechende Funktion ausgeführt. Für die Navigation mit diesem Konzept wird 1 m² freier Platz benötigt. Im Vergleich zu Hatscher et al. wurde das Mapping zwischen Buttons und ausführbaren Aktionen optimiert, sodass die Button-Position besser mit der Navigationsrichtung übereinstimmt. Ferner wurde das Konzept dahingehend angepasst, sodass der Nutzer alle Funktionen stets mit einem Fuß erreichen kann. Die Position und die verwendeten Sensorzellen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Um eine schnellere Navigation zu gewährleisten, wurde weiterhin ein Beschleunigungsmechanismus integriert. Verweilt der Nutzer länger als fünf Navigationsschritte auf einem Button, so wird der zeitliche Abstand zwischen Navigationsschritten von 0.5 Sekunden auf 0.2 Sekunden verringert. Als Feedback für den potentiellen

Nutzer wird das bereits aus der Arbeit von Hatscher et al. bekannte Abbild des Sensorfußbodens verwendet, auf dem die Buttonpositionen relativ zur Standposition des Nutzers auf dem Bildschirm dargestellt werden. Dabei wurden die Regeln des Mappings nach Norman [11] beachtet. Die grafische Benutzungsoberfläche ist in Abbildung 2a dargestellt.

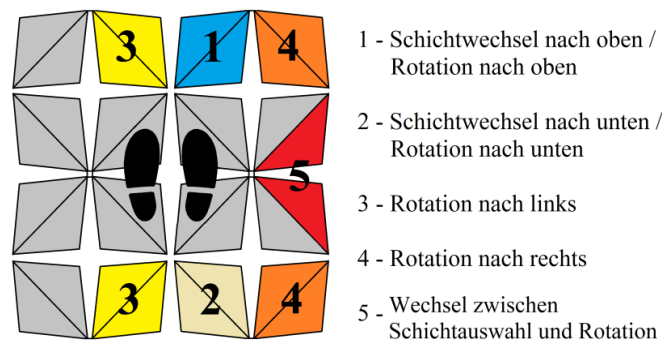


Abbildung 1: Ausschnitt des Sensorbodens mit Button-Position und den dazugehörigen Sensorzellen zur Benutzung mit dem rechten Fuß.

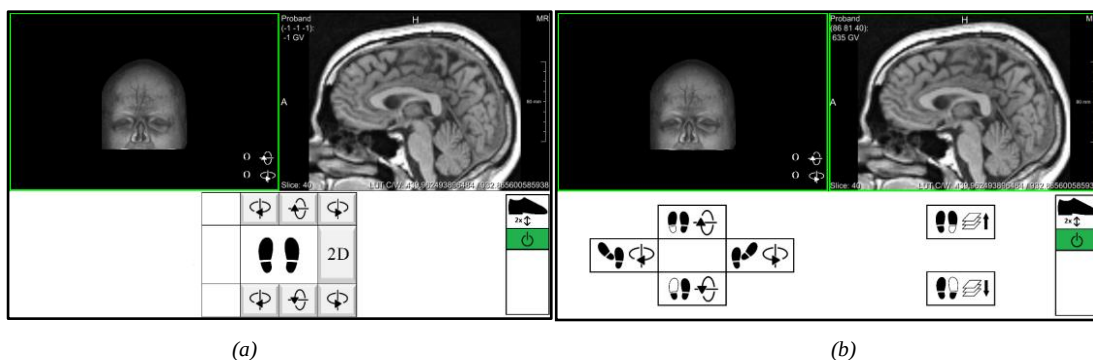


Abbildung 2: Grafische Benutzungsoberflächen der beiden Konzepte zur Vermittlung von visuellem Feedback. Der aktive Bildbetrachter wird stets umrandet. Im unteren rechten Bereich befindet sich das Widget zur Vermittlung des Aktivierungsgestenzustands. Die restliche untere Hälfte wird für die Vermittlung des Gestenset-spezifischen Feedbacks verwendet.

Konzept 2: Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation

Ziel dieses Konzeptes ist es, die Interaktion mit den Bilddaten aufgrund von den Gegebenheiten im Operationssaal auf minimalem Raum zu ermöglichen. Dies wird durch Gewichtsverlagerung und Rotation der Füße im Stand realisiert [9]. Dadurch kann der Platzbedarf auf ca. 0,25 m² reduziert werden, was einem Viertel der Fläche von Konzept 1 entspricht. Das verwendete Gestenset ist in Abbildung 3 dargestellt. Dabei ist anzumerken, dass in diesem Ansatz alle Funktionen auf spezifische Gesten verteilt werden konnten, sodass kein Wechsel zwischen Schichtbild und Volumendaten notwendig ist. Die Schichtauswahl wird lediglich mit dem rechten Fuß und die Rotation nach oben und unten nur mit dem linken Fuß durchgeführt. Die seitlichen Rotationsgesten sind auf jeweils einen der Füße verteilt.

Die Verteilung der Gesten auf die einzelnen Füße wurde gewählt, um dem Nutzer, durch die Positionierung des 3D Planungsdatensatzes im linken Bildbereich und des Schichtdatensatzes im rechten Bereich, einen Bezug zwischen den Gesten, der Navigationsrichtung und der entsprechenden Bildbetrachter zu bieten (Mapping nach Norman [11]). Bei der Umsetzung fand der gleiche Beschleunigungsmechanismus wie im Ansatz mit den Schrittgesten Verwendung.

Ein Unterschied besteht in der Gestenerkennung. Während der Fuß des Nutzers im vorherigen Konzept nach der Betätigung einer Funktion nicht in die Ruheposition zurückgebracht werden musste, um eine weitere Funktion auszulösen, ist dies hier zwingend notwendig. Nutzer senken selten ihren gesamten Fuß gleichmäßig ab, sodass z. B. zunächst eine einzelne Sensorzelle der Ausgangsposition aktiviert und so eine Funktion ausgeführt wird, die der Nutzer nicht beabsichtigte. Des Weiteren steht ein Nutzer selten die ganze Zeit still, sondern bewegt sich aus Entspannungsgründen. Damit nicht jedes Mal unbeabsichtigt Funktionen ausgeführt werden, wurde eine Dauer von 0.5 Sekunden definiert, die eine Geste vor der ersten Erkennung gehalten werden muss. Dieser Wert konnte im Rahmen von Vorstudien geeignet identifiziert werden.

Bei der Vermittlung des visuellen Feedbacks an den Nutzer wurde eine Legende verwendet, welche jeweils aus Icon-Paaren den Bezug zwischen Funktion und zu tätiger Geste darstellt (siehe Abbildung 2b). Um auch hier den Nutzer bei der Verwendung zu unterstützen, wurden die Funktionen entsprechend mit dem zugehörigen

Bilddatensatz gruppiert visualisiert. Des Weiteren wurden diese Icon-Paare entsprechend der Navigationsrichtung positioniert. Die grafische Benutzeroberfläche ist in Abbildung 2b dargestellt.

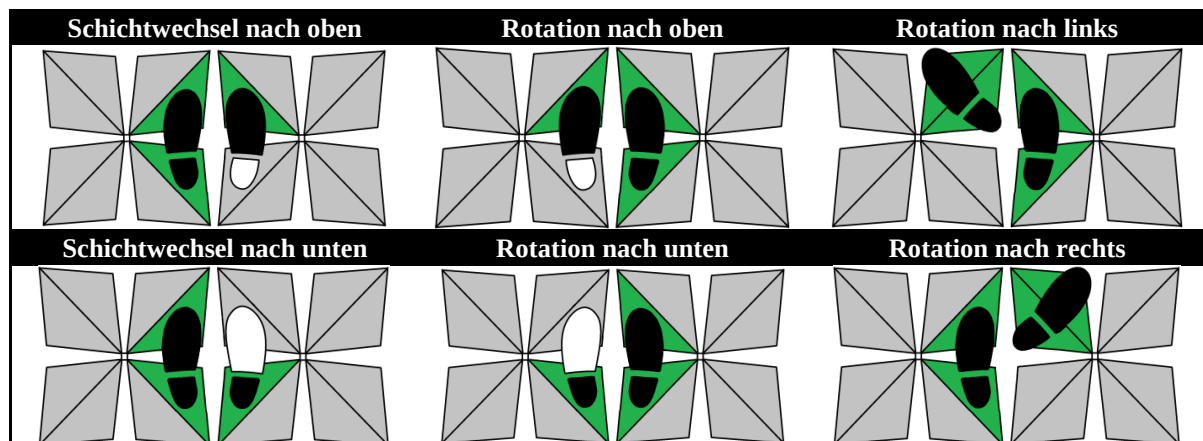


Abbildung 3: Gestenset zur Navigation auf minimalem Interaktionsraum. Die schwarzen Bereiche beschreiben die Fußbereiche mit Bodenkontakt, während die weißen Bereiche anzeigen, wo der Fuß angehoben werden muss.

Evaluierung Um die entwickelten Konzepte evaluieren zu können, wurde eine Nutzerstudie durchgeführt. An der Studie nahmen 13 Medizinstudenten teil. Das Durchschnittsalter betrug 23.9 Jahre, die durchschnittliche Schuhgröße 40.6. 62% (8/13) der Probanden waren weiblich. Ein Proband gab an bereits an einer früheren Studie zum Thema Fußinteraktion teilgenommen zu haben und verfügte so über ein grundlegendes Wissen. Alle weiteren Probanden gaben an über keinerlei Erfahrung zu verfügen.

Innerhalb der Studie sollten die Probanden insgesamt zwölf Navigationsaufgaben pro Konzept durchführen. Die Aufgaben teilten sich dabei in drei Kategorien:

- Aktivierung/Deaktivierung des Systems
- Schichtwechsel im 3D Bilddatensatz (gezielter Wechsel auf vorgegebene Schichten)
- Rotation des 3D Volumendarstellung (gezielte Rotation des Volumens um gegebene Schrittweite)

Jeder Aufgabentyp war innerhalb der 12 Aufgaben vier Mal vertreten. Die Aufgaben waren stets so gestellt, dass keinerlei medizinisches Vorwissen der Probanden notwendig war, da die ausgeführten Navigationsschritte den Probanden direkt auf dem Bildschirm dargestellt wurden und sie so stets sehen konnten, wie weit sie noch vom Aufgabenziel entfernt sind. Die Reihenfolge, in der die Konzepte pro Proband durchlaufen wurden, war ausbalanciert und alle Probanden absolvierten stets beide Konzepte (within-subject Design). Die Reihenfolge der Teilaufgaben innerhalb der Konzepte war für alle Probanden gleich. Während der Studie wurden die Bearbeitungszeit der gestellten Aufgaben, die subjektive Beanspruchung mit Hilfe des NASA TLX Fragebogens (Skala von 0 – gering/sehr gut bis 100 – hoch/sehr schlecht) [12] und das Nutzererlebnis mit der Dimension der Benutzbarkeit des meCUE Fragebogens (Skala von 1 – lehne völlig ab bis 7 – stimme völlig zu) [13] erfasst.

Da das System mit einer fest definierten Standposition arbeitet, wurde diese Position auf dem Boden markiert. Ein 27" Bildschirm mit dem visuellen Feedback befand sich ca. 1.5 m vor dem Probanden. Daneben befand sich ein zusätzlicher Bildschirm auf dem den Probanden die aktuelle Aufgabenstellung präsentiert wurde. Die einzunehmende Standposition war auf dem Fußboden markiert. Um die Bedingungen für alle Probanden so ähnlich wie möglich zu gestalten, trugen die Probanden während der gesamten Studie ihrer Schuhgröße entsprechende Plastikschuhe (Clogs), so wie sie auch in Operationssälen verwendet werden.

Zunächst erhielten die Probanden eine thematische Einführung und ihre demografischen Daten wurden erfasst. Anschließend wurde den Probanden eine Trainingsphase von 5 Minuten gewährt, in der die Probanden das System ausprobieren und Fragen stellen konnten. Danach wurde das Verständnis des Systems durch vier Testaufgaben überprüft. Nach erfolgreichem Abschluss der Testaufgaben wurden die zwölf studienrelevanten Aufgaben absolviert. Im Anschluss an jedes Konzept wurden die Probanden gebeten, die zuvor erwähnten Fragebögen (NASA TLX und meCUE) auszufüllen. Abschließend wurde mit den Probanden ein Feedbackgespräch geführt in dem sie die Möglichkeit hatten Anmerkungen zu den Konzepten zu geben.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Nutzerstudie beschrieben. Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und dem t-Test.

	df	F	t	p	sig	η^2	d	Effekt
Subjektive Beanspruchung	12		-1.669	0.121			0.46	klein
Benutzbarkeit	12		1.399	0.187			0.39	klein
Bearbeitungszeit der Aufgaben								
Konzept	1, 12	6.31		0.03	*	0.35		groß
Aufgabe	1.59, 19.02	64.12		< 0.001	*	0.84		groß
Interaktion	1.50, 18.04	1.19		0.31		0.09		mittel

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der statistischen Tests für die subjektive Beanspruchung, Benutzbarkeit und die Bearbeitungszeit der Aufgaben

Bei der Bearbeitungszeit der Aufgaben konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Konzepten herausgestellt werden. Die Aufgaben konnten durchschnittlich 2.32 Sekunden schneller mit dem Konzept der Navigation über Buttons ($M = 6.25$ s, $SD = 0.28$ s) als mit dem Konzept der Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation ($M = 8.57$ s, $SD = 0.87$ s) absolviert werden.

Die Ergebnisse für die subjektive Beanspruchung über alle sechs Dimensionen des NASA TLX Fragebogens wies dabei keine Signifikanz auf. Bei der Navigation durch Schrittgesten wies die subjektive Beanspruchung insgesamt einen etwas geringeren ($M = 30.40$, $SD = 15.60$) Gesamtwert auf als bei der Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation ($M = 36.50$, $SD = 11.90$).

Ebenfalls konnten bei der Benutzbarkeit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Konzepten festgestellt werden. Auch hier schnitt das Konzept zur Navigation über Buttons ($M = 6.29$, $SD = 0.91$) insgesamt leicht besser als das Konzept zur Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation ($M = 5.90$, $SD = 0.68$) ab.

4 Diskussion

In dieser Arbeit wurden zwei Interaktionskonzepte zur handfreien Navigation mit medizinischen Bilddaten hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Bedienbarkeit in einem sehr früheren Entwicklungsstadium verglichen. Das Konzept 1 benutzt hierfür Buttons, während das Konzept 2 einen platzsparenderen Ansatz durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation bietet. Nach einer kurzen Trainingsphase war es allen Probanden möglich, eigenständig das System mit beiden Konzepten zu interagieren. Die Gestensets und das visuelle Feedback beider Interaktionskonzepte wurden im abschließenden Feedbackgespräch von den Probanden als sehr gut und intuitiv bewertet.

In Bezug auf die Bearbeitungszeit der gestellten Aufgaben schnitt das Konzept zur Navigation über Buttons signifikant besser ab. Dieses Ergebnis spiegelte sich auch in den subjektiven Angaben der Versuchsteilnehmer, war aber nicht signifikant. Der Nachteil des Konzepts zur Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation geht auf die nicht robuste Erkennung der Gesten zurück. So kam es während der Studie häufig zu Fehlauflösungen von Funktionen, wodurch der Zeitaufwand und der Frustrationsgrad anstiegen, da Eingaben korrigiert werden mussten. In Folgearbeiten sollte daher darauf geachtet werden, eine Sensorik zu verwenden, die eine ausreichend genaue Auflösung aufweist. Für die Erhöhung der Robustheit des Konzepts zur Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation sollte außerdem die Hinzunahme einer anderen oder zusätzlichen Hardware in Erwägung gezogen werden.

Ein weiterer Grund für das schlechte Abschneiden des Konzepts zur Navigation durch Gewichtsverlagerung und Fußrotation beruht außerdem auf dem angewendeten Beschleunigungsmechanismus, welcher eine schnellere Navigation ermöglichen sollte, da es dem Nutzer nicht möglich war, zum richtigen Zeitpunkt anzuhalten. Dieser führte jedoch durch die entstandenen Navigationsungenauigkeiten zu einem entgegengesetzten Effekt und führte zu einer höheren Bearbeitungszeit. So wäre hier beispielsweise ein Ansatz zur Beschleunigung der Navigation über die Ausübung eines erhöhten Drucks denkbar. Trotz besseren Ergebnisses wurde auch bei Konzept Navigation über Buttons ein Nachteil festgestellt: die Buttons waren relativ weit vom Nutzer entfernt, sodass große Schrittgesten notwendig waren und wiederum zu Gleichgewichtsschwierigkeiten führten. Daher wäre auch für dieses Konzept eine höher aufgelöste Sensorfläche von Vorteil.

In zukünftigen Arbeiten sollte zunächst der Fokus darauf liegen die Gestenerkennung robuster zu gestalten und anschließend Feedback über die Praktikabilität im Operationssaal mit Hilfe von Chirurgen zu erfassen und erste Praxisversuche durchzuführen. Des Weiteren befindet sich im Operationssaal stets mehr als nur eine Person, sodass eine Erkennung verschiedener Nutzer notwendig ist. Hierzu könnte zusätzliche Sensorik verwendet oder Nutzererkennungsalgorithmen entwickelt werden [14]. Außerdem ist über eine Kalibrierungsphase für eine

individualisierte Gestenerkennung nachzudenken. Daraus könnte eine robustere Gestenerkennung resultieren [15]. Die Gestenerkennung sollte zudem positionsungebunden sein.

Die Arbeit stellt einen wichtigen Schritt für die weitere Forschung zur Entwicklung von gestenbasierten Systemen zur Navigation in medizinischen Bilddaten unter sterilen Bedingungen dar.

Danksagung

Diese Arbeit wurde teilweise über Mittel des BMBF im Rahmen des Forschungscampus STIMULATE finanziert (Förderkennzeichen: 13GW0095A).

Referenzen

- [1] A. Mewes, B. Hensen, F. Wacker and C. Hansen. Touchless Interaction with Software in the Operating Room: A Systematic Literature Review. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 12(2), pp. 291-305, 2017.
- [2] B. Hartmann, B. Matthias, A. Junger, L. Quinzio, R. Röhrig, B. Fengler, et al.. Computer Keyboard and Mouse as a Reservoir of Pathogens in an Intensive Care Unit. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 18(1), pp. 7-12, 2004.
- [3] R. Wipfli, V. Dubois-Ferrière, S. Budry, P. Hoffmeyer and C. Lovis. Gesture-controlled image management for operating room: a randomized crossover study to compare interaction using gestures, mouse, and third person relaying. *PloS one*, 11(4), 2016.
- [4] J. Hettig, A. Mewes, O. Riabikin, M. Skalej, B. Preim and C. Hansen. Exploration of 3D medical image data for interventional radiology using myoelectric gesture control. In *Proc. of the EG Workshop on Visual Computing for Biology and Medicine*, 2015.
- [5] A. Huebler, C. Hansen, O. Beuing, M. Skalej and B. Preim. Workflow analysis for interventional neuroradiology using frequent pattern mining. In *Proc. of German Society of Computer- and Robot-Assisted Surgery*, pp. 165-168, 2014.
- [6] M. Reich, C. Hetterich, G. Weisser and G. Meixner. OsiriX in Motion-Ein Prototyp zur berührungslosen Interaktion im OP. In *Mensch & Computer*, pp. 235-244, 2014.
- [7] S. Jalaliniya, J. Smith, M. Sousa, L. Bütthe and T. Pederson. Touch-less interaction with medical images using hand & foot gestures. In *Proc. of Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, 2013.
- [8] B. Hatscher, S. Wagner, L. Grimaldi, M. Fritzsche, N. Elkmann and C. Hansen. Navigation in medizinischen Bilddaten mittels eines taktilen Fußbodens. In *Proc. of the German Society of Computer- and Robot-Assisted Surgery*, pp. 33-38, 2016.
- [9] N. Sangsuriyachot and M. Sugimoto. Novel interaction techniques based on a combination of hand and foot gestures in tabletop environments. In *Proc. of the asia pacific conference on Computer human interaction*, pp. 21-28, 2012.
- [10] A. Steinhage and C. Lauterbach. Monitoring Movement Behavior by Means of a Large Area Proximity Sensor Array in the Floor. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Behaviour Monitoring and Interpretation*, pp. 15-27, 2008.
- [11] D. A. Norman, "The psychopathology of everyday things", *Foundations of cognitive psychology: core readings*. MIT Press, Cambridge, S. 434-437, 2002.
- [12] S. G. Hart and L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, pp. 139-183, 1988.
- [13] M. Minge and L. Riedel. meCUE-Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In *Mensch & Computer*, pp. 89-98, 2013.
- [14] M. Sousa, A. Techmer, A. Steinhage, C. Lauterbach and P. Lukowicz. Human tracking and identification using a sensitive floor and wearable accelerometers. In *Pervasive Computing and Communications*, pp. 166-171, 2013.
- [15] J. Liu, L. Zhong, J. Wickramasuriya, and V. Vasudevan. uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(6), pp. 657-675, 2009.