

# Immersives Laparoskopie-Training mit Hand-Tracking im virtuellen Operationssaal

**Tom Wunderling<sup>1</sup>, Tobias Huber<sup>2</sup>, Markus Paschold<sup>2</sup>, Werner Kneist<sup>2</sup>, Christian Hansen<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Arbeitsgruppe Computerassistierte Chirurgie, Institut für Simulation und Graphik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Deutschland*

*<sup>2</sup>Klinik für Allgemein-, Viszeral und Transplantationschirurgie, Universitätsmedizin der  
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Deutschland*

Kontakt: christian.hansen@ovgu.de

## Abstract

In dieser Arbeit wird eine neue Methode des Laparoskopie-Trainings vorgestellt, dass die Vorteile etablierter Simulatoren mit der Immersion moderner Head-Mounted-Displays (HMDs) kombiniert. Die Komponenten dieses Systems und ihr Zusammenspiel werden beschrieben. Eine komplette, virtuelle Nachbildung eines Operationssaals wurde geschaffen, inklusive interaktiven laparoskopischen Instrumenten und Monitor. Mit dem Ziel, die Interaktion mit den Eingabegeräten in der virtuellen Realität (VR) zu verbessern, wurde im Zuge dieser Arbeit ein optisches Hand-Tracking mit dem Leap Motion Sensor realisiert. Das Hand-Tracking wurde im Rahmen einer Nutzerstudie mit 12 Teilnehmern evaluiert. Die Ergebnisse zeigen eine steile Lernkurve bei der Nutzung des Systems, die grundsätzliche Eignung als Hilfe für erfahrene Nutzer, aber auch Defizite bei der Verlässlichkeit und Usability des optischen Hand-Trackings.

Schlüsselworte: Chirurgische Ausbildung, Virtuelle Realität, Laparoskopische Chirurgie, Mensch-Maschine Interaktion, Visualisierung

## 1 Problemstellung

Virtuelle Realität (VR) wird bereits seit vielen Jahren in medizinischen Anwendungen erfolgreich eingesetzt, unter anderem für die Simulation laparoskopischer Operationen [1]. Dabei werden ohne Risiko für den Patienten wichtige psychomotorische Fähigkeiten, wie Hand-Auge-Koordination, räumliche Orientierung und Fulcrum-Effekt, trainiert [2][3]. Die damit angeeigneten Fertigkeiten sind vergleichbar mit den Lernergebnissen beim Einsatz mechanischen Boxtrainer-Simulatoren und konnten nachweislich mit Erfolg in den OP übertragen werden [4][5]. Auch ein kurzzeitiges Aufwärmen an einem VR-Simulator vor einer Operation kann die Leistung im OP verbessern [6]. Die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Trainingsaufgaben für laparoskopische Simulatoren ist über die Zeit stetig gewachsen. Heute sind sowohl abstrakte Trainingsaufgaben als auch prozedurale Operationen simulierbar. Darüber hinaus hat sich die Qualität von Gewebeinteraktion und Visualisierung gegenüber früheren Versionen deutlich verbessert. Trotzdem sind VR-Simulatoren in der alltäglichen klinischen Routine nur begrenzt einsetzbar [7][8].

Die Nutzer solcher Systeme nehmen durch einen konventionellen Monitor einen Ausschnitt einer virtuellen Umgebung wahr, in diesem Fall das Körperinnere. Es handelt sich also um eine Form der virtuellen Realität, allerdings nur in einen kleinen Bereich des menschlichen Sichtfeldes. Auch die Interaktion mit virtuellen Objekten (Organe, Gewebe, etc.) ist auf spezielle Eingabegeräte beschränkt, die realen laparoskopischen Werkzeugen nachempfunden sind. Der Grad an Immersion, also das Gefühl des Eintauchens in die virtuelle Welt, ist aus diesen Gründen begrenzt. Die zur Verfügung stehenden Trainingsszenarien sind meist auf die wesentlichen Arbeitsschritte vereinfacht. Die Nutzer sind sich dabei stetig bewusst, dass sie sich in einer Trainingsumgebung befinden und keine echte chirurgische Situation erleben. Das Gefühl von Präsenz in der virtuellen Realität fehlt. Realistische Szenarien zur Erhöhung der Präsenz während der VR-Simulation sind nur bei der Durchführung von Team-Trainingseinheiten möglich, die mehr Zeit, Infrastruktur und Personal benötigen [9]. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit die Entwicklung eines neuen Systems angestoßen, dass die Vorteile etablierter Laparoskopie-Simulationen mit der Immersion moderner Head-Mounted-Displays (HMDs) kombiniert. Dadurch kann eine komplette, audiovisuelle Simulation eines Operationssaals geschaffen werden, inklusive interaktiven laparoskopischen Instrumenten und Monitor.

VR-Anwendungen mit HMDs sind ein aktuell schnell wachsender Bereich auf dem Gebiet der Informations- und Multimedia-Technologie. Sie werden zum Beispiel in der Unterhaltungsindustrie, der Militär- und Luftfahrtausbildung eingesetzt. In der Literatur wurden medizinische Anwendungen für psychologische Interventionen für Phobien und zur Schmerzbehandlung von Brandopfern beschrieben [10]. Eine Kombination aus laparoskopischer Simulation und einem HMD mit einem relativ kleinem 45-Grad-Sichtfeld wurde erstmals von Sankaranarayanan et al. als Teil eines virtuellen Szenarios verwendet, das aus einer Ringtauschaufgabe in einem generischen, virtuellen Raum bestand [11]. Die erste klinische Pilotstudie mit einem HMD mit mehr als 100° weiten Sichtfeld zeigte ein hohes Maß an Immersion und Präsenz bei der Kombination eines laparoskopischen Simulators mit einem aktuellen hoch-immersiven HMD VR-Systems [12]. Mit dem Ziel, die Interaktion mit den laparoskopischen Eingabeinstrumenten beim Tragen des HMDs zu verbessern, wurde dem von Huber et. al. bereits beschriebenen System ein optisches Hand-Tracking hinzugefügt. Nachfolgend werden die Komponenten dieses Systems vorgestellt und der Einfluss des optischen Hand-Trackings auf die Handhabung der laparoskopischen Instrumente beim Tragen des HMDs mittels einer Usability-Studie mit 12 Teilnehmern evaluiert.



Abb. 1: Links: HTC Vive VR-Brille mit Leap Motion Sensor und ein Vive Controller (davor). Rechts: Simball-Eingabegeräte mit Greifwerkzeugen (ohne Kameramodul in der Mitte).

## 2 Material und Methoden

Die Grundlage unseres Setups ist ein VR-Laparoskopie-Simulator (LapSim) ohne haptisches Feedback der Firma Surgical Science. Es besteht aus einem Windows-PC, einem LCD-Monitor, Tastatur und Maus, sowie drei Simball 4D Joysticks und einem Fußschalter. Die Simball-Eingabegeräte sind mit je einem Greifinstrument links und rechts ausgestattet. In der Mitte kann ein Werkzeug montiert werden, das einer laparoskopischen Kamera nachempfunden ist. Während unserer Tests wurde diese aber nicht benötigt. Der mitgelieferte Computer verfügt über proprietäre Software von Surgical Science. Damit können grundlegender Trainingsaufgaben wie Ringtausch oder Musterschnitt, aber auch komplexe und realistischere Szenarien wie Cholezystektomie oder Appendektomie simuliert werden. Im Vergleich zum konventionellen Monitor bieten HMDs ein breiteres Sichtfeld und liefert in Kombination mit dem raumfüllenden Tracking und dem stereoskopischen Tiefeneffekt in jeder Richtung eine virtuelle Ansicht der künstlich erzeugten Umgebung. Zwei HMDs aus dem Endkundenbereich wurden in Erwägung gezogen, um das bestehende LapSim-System mit zusätzlicher Hardware und neuen Inhalten zu erweitern: Die Oculus Rift CV1 und die HTC Vive. Die Entscheidung fiel auf die HTC Vive, da sie ein weiteres Sichtfeld und einen großen Trackingbereich bietet, der raumfüllende VR-Anwendungen ermöglicht. Ein separater VR-fähiger Computer war notwendig, um das HTC Vive System zu betreiben und um die vorhandene LapSim Software und Hardware nicht zu beeinträchtigen. Dafür wurde ein Laptop gewählt, um die Mobilität des Systems zu erhalten.

### 2.1 Integration von Audio-, Video- und Bewegungsdaten

Die LapSim-Software generiert Töne, wenn der Fußschalter betätigt wird, als Hinweis, dass Strom durch die laparoskopischen Instrumente geleitet wird. Um diese akustische Rückkopplung zu erhalten, wird die Audioausgabe des LapSim-Systems über ein analoges Kabel von der Kopfhörerbuchse des LapSim PCs an die Mikrofonbuchse des VR-Laptops übertragen. Zusätzlich können typische Hintergrundgeräusche eingespielt werden, um die akustische Atmosphäre im OP nachzustellen. Um die zuvor auf dem konventionellen Monitor angezeigte Videoausgabe in die virtuelle Umgebung zu integrieren, wurde ein Framegrabber verwendet. Dieses

Videoaufnahmegerät ist mit dem HDMI-Ausgang des LapSim-PCs verbunden und überträgt das Livebild über USB an den VR-Laptop. Ein HDMI-Splitter wurde vorgeschaltet, damit Betreuer und Zuschauer die laparoskopische Simulation wie gewohnt auf dem eingebauten LapSim-Monitor verfolgen und die Software mit Tastatur und Maus steuern können, während der Benutzer die HTC Vive trägt.

Aufgrund der Tatsache, dass die Simball-Eingabegeräte, siehe Abb.1, die einzige Möglichkeit sind, wie der Benutzer mit der virtuellen Welt interagieren kann, ist es wichtig, dass eine virtuelle Repräsentation dieser Instrumente beim Tragen des HMDs visualisiert wird. Dazu müssen die Eingabedaten der Simballs in Bewegungen umgesetzt werden, die dann auf virtuelle Objekte angewendet werden, welche die simulierten Instrumente darstellen. Da die komplette virtuelle Umgebung auf dem VR-System und nicht im LapSim-System erzeugt wird, müssen die Simball-Daten aus dem Simulator ausgelesen und an das VR System übertragen werden. Dies geschieht mit einem Hilfsprogramm, das im Hintergrund auf dem LapSim-PC läuft. Es zeichnet die Daten auf, ohne die LapSim-Software zu stören und überträgt sie über ein lokales Netzwerk zum VR-Laptop. Dort werden die Rotations- und Translationsbewegungen auf ein 3D-Instrumentenmodell angewendet.

## 2.2 Optisches Hand-Tracking mit Leap Motion

Der Leap Motion Sensor ist ein kleines USB-Peripheriegerät, das flach auf dem Tisch liegend vor einem Computerbildschirm positioniert werden kann, um aus dieser Position mittels zweier Infrarotkameras Handgesten zu erkennen. Dazu senden die drei integrierten LEDs durchgehend und musterlos Infrarotlicht aus, das von den Händen des Nutzers reflektiert wird. Dies resultiert in einem ca. 135° weiten und bis zu einem Meter hohen Kegel, innerhalb dessen die Leap Motion Software Lage, Rotation und Form menschlicher Hände ermitteln kann. Somit können verschiedene Handbewegungen und Gesten erkannt werden, z.B. um einen Computer berührungslos bedienen zu können [13]. Im Jahr 2016 wurde der Funktionsumfang des Leap Motion Sensors durch ein Software-Update erweitert um Hand-Tracking in Kombination mit HMDs zu ermöglichen. Dazu wird die Leap Motion an der Vorderseite der VR-Brille befestigt, siehe Abb. 1. Durch das Trackingsystem der HTC Vive ist die Position des Leap Motion Sensors jederzeit in Weltkoordinaten bekannt und somit kann die Lage der Hände berechnet werden.

Aufgrund inhärenter Probleme des optischen Trackings, wie Unterbrechungen der Sichtlinie, begrenztes Sichtfeld und schwer kontrollierbare Lichteinflüsse, ist diese Methode des Hand-Trackings nicht fehlerfrei. Kommt es zu einer Unterbrechung des Trackings, werden die 3D-Handmodelle ausgeblendet. Dies passiert zum Beispiel häufig wenn der Nutzer die Simball-Greifer in den Händen hält. Aus diesem Grund wurde die Option implementiert, das Hand-Tracking zu deaktivieren sobald die Simballs bewegt werden um störendes Flackern der virtuellen Hände zu verhindern (partielles Hand-Tracking).



Abb. 2: Links: Der virtuelle Operationsaal aus der Ego-Perspektive, wie man ihn durch das HMD mit aktiviertem Hand-Tracking sieht. Zwischen den Händen ist die virtuelle Repräsentation der Simball-Instrumente zu sehen, darüber befindet sich der virtuelle LapSim-Monitor.

## 2.3 Virtuelle Umgebung in Unity

Die Cross-Plattform-Spiel-Engine Unity wurde verwendet, um die virtuelle Umgebung zu schaffen, in die der LapSim-Monitor, Simballs und das Hand-Tracking integriert wurden. Der Livestream vom Framegrabber wird mittels der WebCamTexture-Klasse der Unity-Engine auf eine Ebene gelegt, die dann als virtueller Monitor dient. Sound aus dem LapSim-System wurde integriert, indem ein AudioSource-Objekt in der Szene platziert wurde, das die über den Mikrofoneingang des Laptops eingespielte Töne wiedergibt. Der Rest des virtuellen Raumes kann via Drag-and-Drop mit diversen Medizinprodukten, Mobiliar und Geräten sowie animierten Charakteren, die das medizinische Personal und Patienten darstellen, gefüllt werden, siehe Abb. 2. Dafür wurde eine Sammlung von 3D-Modellen vom Entwicklerstudio Vertigo Games über den Unity Asset Store bezogen.

## 2.4 Evaluierung

Um den Effekt des optischen Hand-Trackings, als Erweiterung des Systems von Huber et al. [12], auf die Handhabung der laparoskopischen Instrumente beim Tragen des HMDs zu evaluieren, wurde eine Usability-Studie mit 12 Teilnehmern durchgeführt. Drei Versuchsteilnehmer trugen eine Brille, weitere drei Kontaktlinsen. Die restlichen Probanden trugen keine Sehhilfe unter dem HMD. Die Hälfte der Teilnehmer gab an, bisher nur sehr wenig bis keine Erfahrung mit VR-Brillen gesammelt zu haben. Keiner der Probanden hatte Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Laparoskopie. Drei Varianten wurden untersucht:

- Deaktiviertes Hand-Tracking
- Partielles Hand-Tracking
- Dauerhaftes Hand-Tracking

Die Reihenfolge wurde bei jedem Probanden gewechselt, um für Lern- und Gewöhnungseffekte zu kompensieren. Zur Quantifizierung der Usability wurden die Versuchsteilnehmer sowohl nach dem empfundenen Schwierigkeitsgrad befragt, als auch die Zeit gemessen, die benötigt wurde, um an den Simulator heranzutreten, nach den Geräten zu greifen und sie in eine vorgegebene Position zu bringen. Dieses Verfahren wurde sowohl auf die Simballs als auch auf die HTC Vive Controller angewandt, um die gemessenen Werte besser vergleichen zu können. Da es sich bei der Mehrheit der Probanden um medizinische Laien handelte, wurde auf die Durchführung einer laparoskopischen Trainingsaufgabe verzichtet, um unabhängige Aussagen über die Nützlichkeit des Hand-Trackings zu gewinnen. Stattdessen mussten die Probanden die Werkzeuge an der Spitze zu einem V zusammenführen und die Greifer bzw. Trigger am Vive Controller drücken. Zur nachträglichen Auswertung wurden bei den Versuchen, mit dem Einverständnis aller Teilnehmer, Video- und Tonaufnahmen angefertigt. Für jede der drei Varianten des Hand-Trackings wurden in zufälliger Reihenfolge drei Wiederholungen von wechselnden Startpositionen im Raum heraus ausgeführt, sowohl für die Simballs als auch für die Controller. Danach wurden die Zeiten vom Start der Bewegung, angekündigt durch einen Signalton, bis zum Ende, markiert durch das Einnehmen der vorgegebenen Pose, gemessen.

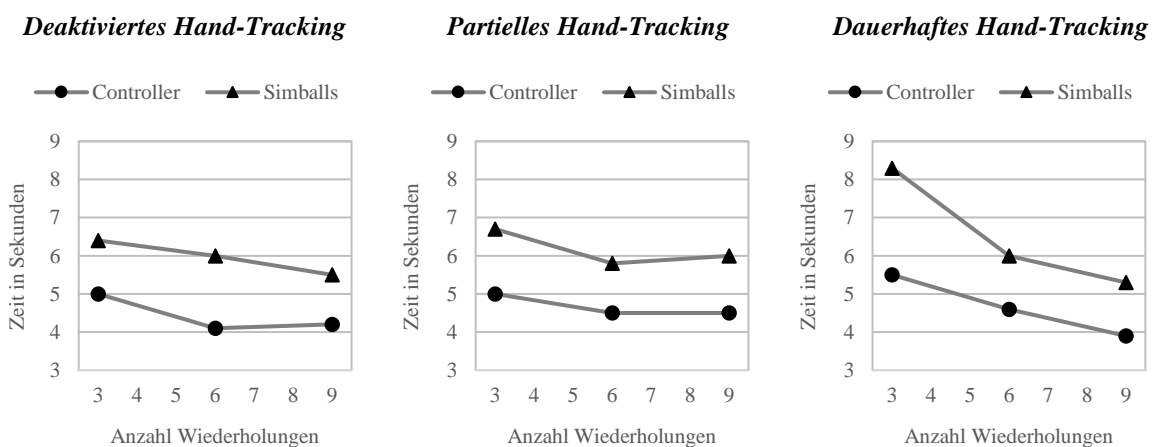


Abb. 3: Vergleich der Ausführungsdauer der getesteten Varianten über mehrere Wiederholungen.

### 3 Ergebnisse

Im Vergleich der drei getesteten Hand-Tracking-Varianten zeigt sich folgendes Bild, siehe Abb. 3.: Während der ersten drei Wiederholungen waren die Probanden deutlich langsamer, wenn das Hand-Tracking dauerhaft aktiviert war. Auch der Schwierigkeitsgrad wurde am Anfang von den Probanden höher eingestuft, wenn sie mit eingeschalteten Hand-Tracking nach den Geräten greifen mussten. Beim partiellen Hand-Tracking ist dieser Unterschied allerdings nicht mehr so groß. Nach mehreren Wiederholungen nähern sich die Werte allerdings einander an. Bei der Bedienung der Simballs ist das dauerhaft eingeschaltete Hand-Tracking sogar leicht von Vorteil. Der Zeitgewinn beträgt aber nur wenige hundert Millisekunden und ist vernachlässigbar. Das partielle Hand-Tracking ist auf Dauer am schlechtesten und selbst nach vielen Wiederholungen ist kaum eine Verbesserung zu beobachten.

Bei allen Probanden wurde ein ausgeprägter Lerneffekt festgestellt. Mit jeder Wiederholung sanken die Ausführungszeiten, unabhängig von der getesteten Hand-Tracking-Variante und Geräteform. Auch der empfundene Schwierigkeitsgrad wurde mit zunehmender Anzahl der Wiederholungen als leichter eingestuft. Die Probanden brauchten im Durchschnitt 35% länger um nach den Simballs zu greifen als nach den Controllern. Die Bewertungen des Schwierigkeitsgrades spiegeln dieses Verhältnis ebenso wider. Durch den Lerneffekt nähern sich die Schwierigkeitsbewertung und Ausführungsdauer für Controller und Simballs mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen aber langsam an.

### 4 Diskussion

Die Hypothese, dass durch das Hand-Tracking mit der Leap Motion die Handhabung der Simballs beim Tragen eines HMD erleichtert wird, lässt sich anhand der gesammelten Daten nicht bestätigen. Für viele Nutzer ist die erste Erfahrung mit einem HMD ungewohnt und das relativ ungenaue optische Hand-Tracking mit seinen gelegentlichen Ausfällen stellt für VR-Novizen eine zusätzliche Quelle der Verwirrung da. Erfahrene Nutzer können durch das Hand-Tracking eher profitieren, allerdings sind sie durch ihre Vertrautheit mit dem System gar nicht mehr zwingend auf diese Hilfe angewiesen. Das optische Hand-Tracking in seiner heutigen Form kann aber gut eingesetzt werden um mit virtuellen Menüs oder Objekten zu interagieren, für die es keine physische Entsprechung in der Realität gibt, da dies einige Schwachstellen, wie das Problem der unterbrochenen Sichtlinie, vermeidet. Es ist auch gut vorstellbar, dem Nutzer die volle Kontrolle darüber zu geben, wann das Hand-Tracking eingeschaltet werden soll.

Unser Test zeigte auch, dass es einfacher ist nach den Vive Controllern zu greifen, weil diese eine einfachere Geometrie als die Simball-Instrumente besitzen und stabil auf der Tischoberfläche liegen, im Gegensatz zu den frei beweglichen und filigranen Simball-Instrumenten. Mehrere Probanden merkten außerdem an, dass es schwieriger ist, die laparoskopischen Instrumente aufzunehmen, weil diese in der VR nicht so realitätsgetreu modelliert sind wie die Vive Controller. Mit zunehmender Erfahrung erlangen die Probanden aber mehr Sicherheit im Umgang mit den Geräten und die Unterschiede in Form und Erscheinung spielen nur noch eine untergeordnete Rolle. Um Anfängern den Einstieg in den Umgang mit laparoskopischen Eingabegeräten in Verbindung mit HMDs zu erleichtern, sollte allerdings auf eine realitätsnahe Visualisierung der Instrumente in VR Wert gelegt werden.

### 5 Zusammenfassung

Eine neue Methode des immersiven Laparoskopie-Trainings mit einem HMD wurde vorgestellt. Die technischen Komponenten wurden beschrieben und ihr Zusammenspiel hinsichtlich der Usability evaluiert. Das optische Hand-Tracking mit dem Leap Motion Sensor ist noch unzureichend, um Einsteigern den Umgang mit virtuellen Simball-Eingabegeräten in VR zu erleichtern, könnte aber durch bessere, in das HMD integrierte Sensoren in Zukunft eine wichtigere Rolle spielen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Einblendung der realen Hände durch Nutzung der integrierten Kamera (Mixed Reality). Der Einsatz von Datenhandschuhe sollte zukünftig genauer betrachtet werden, um weitere Möglichkeiten der chirurgischen Interaktion in der virtuellen Realität zu explorieren.

## Referenzen

- [1] G. Riva, *Applications of virtual environments in medicine*, Methods Inf. Med., 42(5), S. 524-534 (2003)
- [2] R. Aggarwal, T.P. Grantcharov, J.R. Eriksen, D. Blirup, V.B. Kristiansen, P. Funch-Jensen, A. Darzi, *An evidence-based virtual reality training program for novice laparoscopic surgeons*. Ann. Surg., 244(2), S. 310-314 (2006)
- [3] J. Olasky, G. Sankaranarayanan, N.E. Seymour, J.H. Magee, A. Enquobahrie, M.C. Lin, R. Aggarwal, L.M. Brunt, S.D. Schwaitzberg, C.G. Cao, S. De, D.B. Jones, *Identifying Opportunities for Virtual Reality Simulation in Surgical Education: A Review of the Proceedings from the Innovation, Design, and Emerging Alliances in Surgery (IDEAS) Conference*, VR Surgery. Surg. Innov., 22(5). S. 514-521 (2015)
- [4] C.R. Larsen, J.L. Soerensen, T.P. Grantcharov, T. Dalsgaard, L. Schouenborg, C. Ottosen, T.V. Schroeder, B.S. Ottesen, *Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial*, BMJ, 338 (2009)
- [5] M. Nagendran, K.S. Gurusamy, R. Aggarwal, M. Loizidou, B.R. Davidson, *Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery*, Cochrane Database Syst Rev, No. 8 (2013)
- [6] M. Paschold, M. Schroder, D.W. Kauff, T. Gorbauch, M. Herzer, H. Lang, W. Kneist, *Virtual reality laparoscopy: which potential trainee starts with a higher proficiency level?*, Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg., 6(5), S. 653-662 (2011)
- [7] K.W. van Dongen, W.A. van der Wal, I.H. Rinkes, M.P. Schijven, I.A. Broeders, *Virtual reality training for endoscopic surgery: voluntary or obligatory?*, Surg. Endosc., 22(3), S. 664-667 (2008)
- [8] T. Huber, A. Kirschniak, J. Johannink, *Survey of Training in Laparoscopic Skills in Germany*, Zentralbl. Chir., 142(1), S. 67-71 (2017)
- [9] D. Earle, D. Betti, E. Scala, *Development of a rapid response plan for intraoperative emergencies: the circulate, scrub, and technical assistance team*, The American Journal of Surgery, 213(1), S. 181-186 (2017)
- [10] Y.S. Schmitt, H.G. Hoffman, D.K. Blough, D.R. Patterson, M.P. Jensen, M. Soltani, G.J. Carrougner, D. Nakamura, S.R. Sharar, *A randomized, controlled trial of immersive virtual reality analgesia, during physical therapy for pediatric burns*, Burns, 37(1), S. 61-68 (2011)
- [11] G. Sankaranarayanan, B. Li, K. Manser, S.B. Jones, D.B. Jones, S. Schwaitzberg, C.G.L. Cao, S. De, *Face and construct validation of a next generation virtual reality surgical simulator*. Surgical Endoscopy, 30(3), S. 979-985 (2016)
- [12] T. Huber, M. Paschold, C. Hansen, T. Wunderling, H. Lang, W. Kneist, *New dimensions in surgical training: immersive virtual reality laparoscopic simulation exhilarates surgical staff*, Surg. Endosc. (2017)
- [13] A. Mewes, B. Hensen, F. Wacker, C. Hansen, *Touchless interaction with software in interventional radiology and surgery: a systematic literature review*, Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg., 12(2), S. 291-305 (2017)