

Norman Geißler, Liane Schönwald, Gero Strauß, Jürgen Meixensberger, Werner Korb und Dirk Bartz

Bewertung visueller Signalgestaltung in der Chirurgie mittels Eye-Tracking

Assessment of Visual Signals in Surgery

Signalgestaltung_Modusbewusstsein_Augenbewegung_Aufmerksamkeit_Chirurgie

Zusammenfassung. Ziel der Studie ist es, die optimale Präsentationsart visueller Hinweisreize für chirurgische Assistenzsysteme zu bestimmen. Diese Hinweise können dazu dienen, dem Chirurgen verschiedene Statusinformationen zu präsentieren oder ihn an Gefahrenstellen zu warnen. Dafür müssen die Hinweise die Aufmerksamkeit des Chirurgen erregen, ohne vom eigentlichen Operationsgeschehen abzulenken. Die Studie wurde im Demonstrator-Operationssaal des Innovation Center Computer Assisted Surgery Leipzig (ICCAS) durchgeführt. Die 30 Studienteilnehmer sahen Videoausschnitte einer realen Operation aus dem Sichtfeld des Operateurs, in denen Landoltringe als Hinweisreize präsentiert wurden. Die Landoltringe wurden entweder statisch, blinkend, an- und abschwellend oder hüpfend dargestellt. Die primäre Aufgabe bestand darin, die Elemente zu zählen, die dem Situs hinzugefügt wurden. Während der Durchführung wurden die Augenbewegungen mit einem Eye-Tracker erfasst. Außerdem wurden die subjektive Einschätzung der Sichtbarkeit und der Störung durch die Landoltringe mittels strukturierter Interviews erhoben. Die blinkende Variante zeigte sich sowohl in den subjektiven Einschätzungen als auch in der Blickbewegungsanalyse als beste Wahl für einen Hinweisreiz.

Summary. The aim of the current study is to find the optimal presentation design for visual cues during surgery. Therefore, cue stimuli have to attract the surgeon's attention without distracting him from the surgery itself. The analysis of four different presentation designs included questionnaires and eyetracking. A flashing signal showed the best results in the eyetracking analysis and in the subjective rating results for visibility and distraction.

1. Einführung

1.1 Automation in der Chirurgie

Automation ist das Resultat einer Übertragung von einzelnen Funktionen oder ganzen Tätigkeiten vom Menschen auf die Maschine (Hauß & Timpe, 2000). Auch im modernen Operationssaal finden sich Beispiele für Automation. Angesichts des hohen Sicherheitsbedarfs und möglicher irreversibler Folgen ist es notwendig, Automationsfolgen auch im Bereich der Chirurgie zu analysieren. Zur

Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Erhöhung der Patientensicherheit ist es erforderlich, menschenzentrierte Automationskonzepte (Manzey, 2008) für das Design von Mensch-Maschine-Systemen (MMS) zu nutzen. Hierbei muss der Nutzer während des kompletten Prozesses der Anwendung des MMS die Fähigkeit haben, seine Funktion und Verantwortlichkeit wahrzunehmen. In der Chirurgie bedeutet dies, dass der Chirurg letztendlich immer die Verantwortung für die Patientensicherheit hat und immer über die Kontrolle des chirurgischen Prozesses verfügen muss. Diese Annahme ist auch für das Design von Alarmsignalen und Hinweisen relevant,

um fehlerhafte Reaktionen auf solche Meldungen zu vermeiden.

1.2 Alarm- und Hinweissysteme

In der Chirurgie müssen Hinweissysteme erkennbar sein, ohne gleichzeitig den Nutzer zu stark abzulenken. Relevante Einflussfaktoren für die Entscheidung, ob eine Warnung notwendig ist, sind nach Edworthy und Stanton (1995) u. a. die Dringlichkeit einer Situation und die Schwere der involvierten Risiken. Daraus ergeben sich die Herausforderungen für das Design von Hinweissystemen.

So sind auditive Alarme beispielsweise sehr effizient für visuelle Aufgaben (Iani & Wickens 2007; Wickens & McCarley 2008). Sie werden auch als Aufmerksamkeitsmagneten ("attention grabber") (Proctor & Proctor 2006, zitiert nach Wickens et al. 2008) bezeichnet. Ihre hohe Effizienz kann aber auch sehr aufdringlich wirken (Wickens & Colcombe 2007), was in einem Operationssaal unter Umständen nicht erwünscht ist. Eine möglichst geringe Beeinträchtigung der Konzentration des Chirurgen ist v. a. bei Aufgaben bedeutsam, für deren erfolgreiche Durchführung der Chirurg nur eine relevante Information benötigt, z. B. die Anzeige des Betriebszustands eines verwendeten Systems. Zudem gleichen sich im OP viele Signale und sind somit schwer zu unterscheiden (Finley & Cohen 1991). Eine Alternative könnte daher die Verwendung von visuellen Hinweisen sein, die in ein Mikroskop mit Blick auf das eröffnete Operationsgebiet (Situs) eingeblendet werden. Dies ist für die Arbeit mit einem Operationsmikroskop sinnvoll, damit der Operateur nicht gezwungen ist aufzublicken, um relevante Informationen von separaten Geräten abzulesen. Die in das Mikroskop augmentierten visuellen Hinweise sollten salient sein, d. h., sie müssen sich von ihrer Umgebung abheben und leicht entdeckt werden können.

Die Wahrnehmungsforschung zeigt, dass sich das visuelle System auf spezifische Aufmerksamkeitsmechanismen verlässt, um bestimmte Aspekte des visuellen Inputs hervorzuheben und auszuwählen. Wesentliche Faktoren für die Verarbeitung sind Farbe und Größe (Bartz et al. 2008). Wenn Farben sorgfältig ausgewählt sind, können sie genutzt werden, um bestimmte Informationen hervorspringen zu lassen ("Pop-Out"-Effekt; Treisman & Gelade 1980), und eine signifikant schnellere Entdeckung durch das menschliche visuelle System bewirken (Healey et al. 1999). Neben der Farbwahl ist die Präsentationsform relevant. Blinkende Signale gelten dabei als die wirksamste Form visueller Alarme (Wickens et al. 2008).

Das Ziel der Studie ist es, die beste Präsentationsart für visuelle Hinweisreize während einer Hals-Nasen-Ohren-Operation mit einem chirurgischen Assis-

tenzsystem, das über zwei Funktionszustände („Assistenz an“/„Assistenz aus“) verfügt, herauszufinden. Exemplarisch dafür steht das Prinzip von Navigated-Control (Lüth et al. 2001), bei dem das Arbeitsinstrument nur in einem vorab festgelegten Arbeitsbereich aktiv ist.

Der „Assistenz an“-Modus ist der sichere Modus, bei dem das chirurgische Assistenzsystem bei dem Erreichen bzw. Überschreiten eines vorab definierten Arbeitsraum den Fräser automatisch deaktiviert. Daher ist der Hinweis auf diesen Systemzustand statisch, damit er nicht zu stark ablenkt. Bei dem Systemzustand „Assistenz aus“ kann der Chirurg weiteroperieren, so dass der Chirurg weitere und andere Gebiete operieren kann, als vorher festgelegt wurden. Dies betrifft vor allem Arbeitsschritte während der OP außerhalb des vorher definierten Sicherheitsabstandes. In diesem Modus wird das System in der Nähe von Risikostrukturen nicht automatisch deaktiviert und der Chirurg auch nicht gewarnt. Daher muss dem Chirurgen in diesem Fall eindeutig symbolisiert werden, dass das System nicht automatisch abschaltet und er besonders vorsichtig sein muss. Aus diesem Grund ist eine auffälligere Anzeige notwendig, die aber nicht zu ablenkend sein darf, wie der alleinige Gebrauch uneindeutiger, auditiver Signale. Eine Verletzung von Risikostrukturen muss vermieden werden, weshalb diese Studie eine hohe Relevanz für die Erhöhung der Patientensicherheit hat.

In der vorliegenden Studie wurden vier verschiedene Hinweissysteme miteinander verglichen, unter der Hypothese, dass in vorherigen Studien hinsichtlich ihrer Farbe und Darstellungsform analysierte, visuelle Hinweise adäquat informieren, ohne zu stark abzulenken. Denn auch das konzentrierte Operieren mit deaktivierter Assistenz („Assistenz aus“) muss ohne zu starke Beeinträchtigung möglich sein.

Für die Darstellung des „Assistenz aus“-Modus wurden daher verschiedene Darstellungsformen (statisch, blinkend, auf- und abschwelldend sowie hüpfend) kontrastiert. Die gewählten Darstellungsformen orientieren sich an die in der Usability-Forschung angewandten Optionen für Hinweise (Wickens & Mc-

Carley, 2008). Hierbei wird für die blinkende Darstellungsform postuliert, dass sie die geeignetste Darstellungsform darstellt, da sie im Vergleich zu den anderen Darstellungsformen (hüpfend, an- und abschwelldend, statisch) bei einer vertretbaren Ablenkung des Chirurgen diesem ausreichende Information über den Modus „Assistenz aus“ liefert.

Zur Überprüfung der ausreichenden Information mussten die Teilnehmer die richtige Öffnung von Landoltringen angeben. Als Variable zur Überprüfung der Ablenkung mussten die Teilnehmer als Sekundäraufgabe die Tupfer im OP-Video zählen. Eine falsche Angabe der Zahl verwendeter Tupfer wurde als Indikator für eine zu starke Ablenkung definiert. Die Kontrolle von Augenbewegungen spielte hierbei eine wichtige Rolle, da diese mit der selektiven Aufmerksamkeit verbunden sind. In der Untersuchung von Hoffmann und Subramaniam (1995) hatten Probanden Schwierigkeiten, ihre Augen an einen Ort zu bewegen und gleichzeitig ihre Aufmerksamkeit an einem anderen zu belassen. Außerdem zeigte Posner (1980), dass die Aufmerksamkeit der Augenbewegung vorausgeht. Vor diesem Hintergrund sollte herausgefunden werden, wie lange und wie oft die Aufmerksamkeit der Studienteilnehmer auf den Warnsignalen verweilte und wie sich diese Anzeige auf die Konzentration und die Fokussierung auf die weiteren relevanten Aspekte im Situs auswirkte. Daher wurden die Anzahl und die Dauer der Augenbewegungen auf die Landoltringe sowie die Selbstauskunftfragebögen als Variablen der Aufmerksamkeitsbeanspruchung interpretiert.

Diese Studie diene daher der Replizierung bekannter Aspekte aus der Psychologie und der Analyse dieser Befunde unter den bislang nicht erforschten spezifischen Herausforderungen in der Chirurgie, insbesondere für die Usability. Die besondere Situation in der Chirurgie ist die, dass dem Operateur viele Informationssysteme zur Verfügung stehen, die er für seine komplexe Tätigkeit benötigt. Die Systeme haben aber nicht alle permanent die gleiche Priorität. Aus diesem Grund müssen die Informationen je nach Situation in ihrer Aufmerksamkeitsbeanspruchung variieren.

2. Methode

2.1 Vorstudien

Im Vorfeld der Eyetrackinganalyse wurde zunächst eine Analyse passender Farben für Operationsvideos und die Simulationsumgebung, basierend auf einer Farbraumanalyse mit einem spezifischen Color-Space CAD Plug-in für Photoshop, durchgeführt. Die Studie mit 30 Studenten der Humanmedizin der Universität Leipzig ergab, dass ein Rotton außerhalb des Farbraums der jeweiligen Videos am besten zu erkennen war ($p < .001$) (Geißler et al. 2010).

Basierend auf dieser Analyse wurde ein direkter Vergleich auditiver versus visueller Hinweise in der Simulationsumgebung im Demonstrations-OP des ICCAS mit einem Operationsmikroskop (Pentero, Zeiss Oberkochen) durchgeführt. In dieser Studie wurde eine blinkende Darstellung eines Ausrufezeichens und dem Hinweis „NC Off“ („Assistenz aus“) sowie eine Präsentation „NC On“ („Assistenz an“) verwendet. Die Studie mit 28 Studenten der Humanmedizin der Universität Leipzig ergab bei paarweisen adjustierten Vergleichen der NASA-TLX Skalen, dass der intermittierende Ton im Vergleich zum visuellen Hinweisreiz als zeitlich beanspruchender ($p < .05$) eingeschätzt wurde und zu weniger Zufriedenheit bei den Probanden ($p < .01$) führte. Zudem wurden der intermittierende Ton ($p < .001$) und der durchgehende Ton ($p < .05$) frustrierender als die visuellen Hinweisreize wahrgenommen (Geißler et al. 2010).

Diese Studien bildeten die Grundlage für eine detaillierte Analyse der variierenden Darstellungsformen mit einem Eyetrackingsystem (Schönwald, 2010). Landoltringe wurden als Stimuli gewählt, um die Befunde explizit auf die Darstellungsform eingrenzen zu können.

2.1.1 Hypothese

Die Darstellung eines Warnhinweises in blinkender Form ist, im Vergleich zu den anderen Darstellungsformen (statisch, hüpfend, an- und abschwelkend), die beste Darstellungsform für ein chirurgisches Assistenzsystem. Es wird für diese Darstellungsform die beste Erkennbarkeit und die zweitniedrigste Ablenkung

(nach der statischen Darstellungsform) postuliert.

Zusätzlich werden die Anzahl und die Dauer der Augenbewegungen auf die Landoltringe sowie die durch Selbstauskunftsfragebögen gewonnenen subjektiven Einschätzungen der Aufmerksamkeitsbeanspruchung interpretiert.

2.2 Stichprobe

Als Probanden dienten Studierende der Humanmedizin der Universität Leipzig. Alle Probanden nahmen freiwillig und gegen eine Aufwandsentschädigung an der Studie teil. Insgesamt wurden 30 Probanden in die Studie eingeschlossen. Darunter befanden sich drei männliche und 27 weibliche Teilnehmer. Der Altersdurchschnitt betrug 24 Jahre. 11 Probanden benutzten während des Versuchs Kontaktlinsen. Die Fehlsichtigkeiten der Probanden wurden abgefragt und nur Teilnehmer, die mit Sehhilfen der Aufgabe entsprechend adäquat sehen konnten, durften teilnehmen. 24 Datensätze der Blickbewegungsdaten konnten analysiert werden. Bei den restlichen Daten traten Artefakte auf, wie z.B. vermehrtes Blinzeln und Retrospiegelung der Retina, sodass die Blickbewegung nicht in ausreichendem Umfang erfasst werden konnte.

2.3 Studiendesign

Die Studiendurchführung erfolgte als Einzeltestung im Demonstrator-Operationssaal des Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS). Die Probanden sahen Videos auf einem 20 Zoll großen Computermonitor, der ca. 50cm von ihnen entfernt stand. Insgesamt wurden vier verschiedene Operationsvideos, die je zweimal wiederholt wurden, in die Analyse eingeschlossen. Bei den anonymisierten OP-Videos handelte es sich um Mitschnitte einer Mastoidektomie (Operation des Mittelohrs). Der Patient war auf diesen Videos nicht erkennbar. Die präsentierten OP-Videos wurden bereits in früheren Untersuchungen verwendet (Geißler et al. 2009). Im OP-Video wurde der Kontrast nicht variiert, es ging vielmehr um den **eingeschätzten Kon-**

trast der variierenden Darstellungsformen der Landoltringe in den Videos. Der Proband sah die Videos aus der Perspektive des Operateurs, mit Blick durch ein binokulares Operationsmikroskop (Carl Zeiss Meditec, Oberkochen).

2.3.1 Die Landoltringe

In die Operationsvideos wurden Landoltringe eingeblendet (Bild 1). Landoltringe sind Ringe mit einer variierenden Öffnung, die zur Bestimmung der Sehschärfe (Bach 2007), aber auch für wissenschaftliche Zwecke genutzt werden (Zwahlen et al. 2002). Landoltringe wurden als Stimuli gewählt, um die Befunde explizit auf die Darstellungsform eingrenzen zu können. Die Öffnung der Landoltringe befand sich entweder oben, unten, rechts oder links. Die Landoltringe wurden im unteren rechten Rand eingeblendet und hatten einen Durchmesser von 36 Pixeln (bei einer Videogröße von 720 x 576 Pixel). Die Öffnung der Landoltringe war sieben Pixel groß. Im OP-Video wurde der Kontrast nicht variiert, da das Forschungsinteresse dem **eingeschätzten Kontrast** der variierenden Darstellungsformen der Landoltringe in den Videos galt.

Es wurden vier neue Varianten für die Landoltringe, die den „Assistenz aus“-Modus symbolisierten, konzipiert:

- statisch
- blinkend – mit einer Frequenz von einer Sekunde
- aufwärts hüpfend – 75 Pixel von der Ausgangsposition und mit einer Frequenz von zwei Sekunden
- an- und abschwelkend – mit einer Frequenz von 2s bei einer vollständigen Sichtbarkeit von 40 ms.

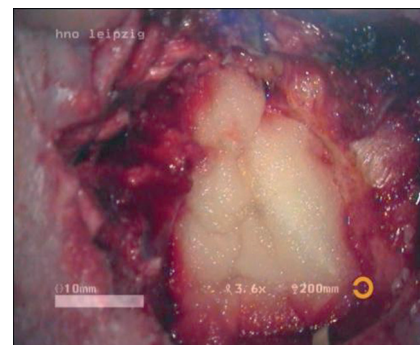


Bild 1: OP-Video mit Landoltring (linksseitige Öffnung) als Warnsignal.

Alle Bewegungseffekte wurden mit Adobe Premiere Pro 2.0 erstellt. Die Landoltringe, die den „Assistenz an“-Modus symbolisierten, waren alle statisch.

2.3.2 Eye-Tracking

Während der Untersuchung wurden die Augenbewegungen mit dem Eye-Tracking-Gerät iViewX HED (Version 2.3) von SensoMotoric Instruments (Teltow, Deutschland) erfasst. Bei dem am Kopf befestigten Eye-Tracking-System wurde das „Dark-Pupil“-Verfahren angewendet. Hierbei wurde das Auge mit einer Infrarotlichtquelle ausgeleuchtet; anschließend wurde die Pupille über Bildverarbeitungsprogramme erkannt. Die Lage der Pupille wurde in Augenbewegungsdaten transformiert. Es wurde außerdem der Kornealreflex (Lidschlussreflex) erfasst, um Veränderungen der Positionen der Kamera relativ zum Kopf zu kompensieren. Die Probanden setzten einen Helm auf, an dem die Kameras zur Messung der Blickbewegung befestigt waren. Es waren zwei Kameras installiert. Eine Kamera erfasste das Sichtfeld der Versuchsperson. Dabei wurde eine Linse mit einer Brennweite von $f = 3,6\text{ mm}$ und einem Winkel von $\varphi = -33^\circ$

bis $+33^\circ$ verwendet. Die zweite Kamera zeichnete das Auge mit Hilfe von Reflexion über einen Spiegel auf.

Der Eye-Tracker wurde mit einer statischen 5-Punkt-Kalibrierung auf die Augenbewegungen der Probanden eingestellt. Das Gerät wies eine räumliche Genauigkeit von $\pm 0,5^\circ$ auf. Alle 20 ms wurde ein Positionsdatum erstellt, was einer Abtastrate von 50 Hz entspricht.

2.3.3 Versuchsablauf

Die Probanden bekamen die Instruktion, sich auf das OP-Video zu konzentrieren und auf die Mitte des Bildschirms zu schauen. Sie hatten die primäre Aufgabe, die dem Operationsbereich im Video hinzugefügten Tupfer zu zählen. Das Zählen der im Patienten verwendeten Tupfer, Tücher und Instrumente ist auch im OP eine notwendige Aufgabe. Zur Unterstützung dieser Tätigkeit werden verstärkt Checklisten eingesetzt, um Fehler wie beispielsweise das Zurücklassen von Tupfern im Patienten zu minimieren (Lessing et al. 2010).

Die Probanden wurden nicht explizit instruiert, auf die Landoltringe zu achten, da die eigentliche Primäraufgabe in dem Erkennen der Öffnung während

einer anderen Tätigkeit bestand. Sie wurden nach jedem Block direkt zu der präsentierten Öffnung befragt. Dieses Erkennen sollte nicht zu stark von der anderen Tätigkeit ablenken, daher beinhaltete die Instruktion nicht explizit das beobachten der Landoltringe, um die Situation während einer OP zu simulieren, bei der auch vielfältige Informationsquellen existieren und die Informationsverarbeitung dieser Signale teilweise neben der direkten Intervention am Patienten erfolgen muss.

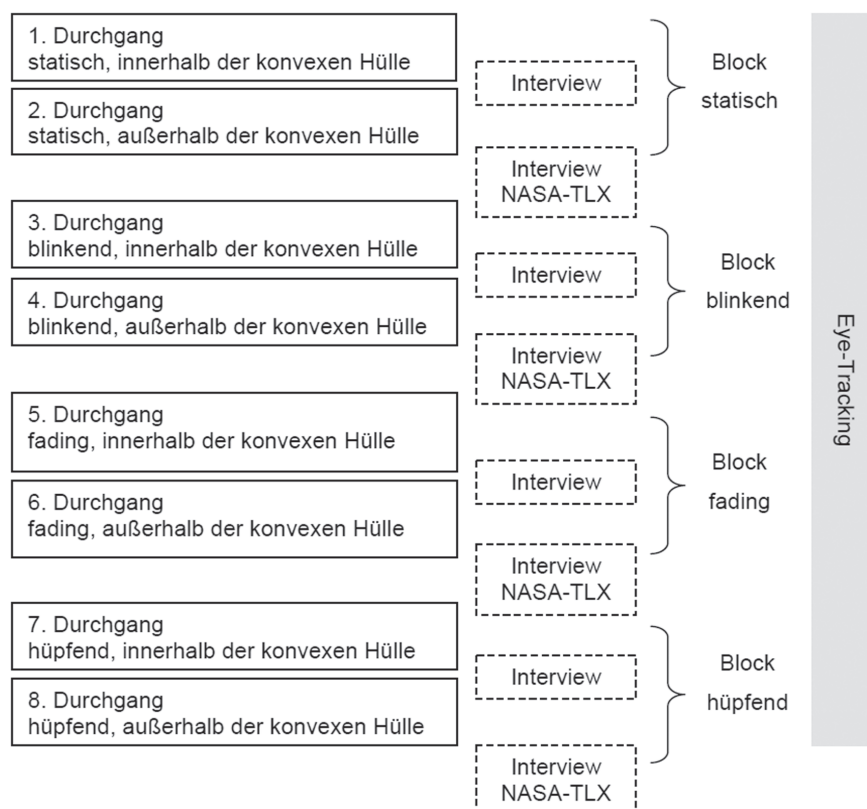
Es wurden vier Blöcke durchgeführt; ein Block bestand aus der Darbietung jeweils einer Bewegungsart der Hinweisreize (entweder statisch, blinkend, hüpfend oder an- und abschwellend). Die Durchgänge wurden über die vier Blöcke randomisiert. Nach jedem Durchgang wurden strukturierte Interviews durchgeführt, bei denen u. a. Fragen zu den Landoltringen gestellt wurden. Die verwendeten Landoltringe variierten in ihrer Farbe entweder innerhalb oder außerhalb der konvexen Hülle (gebildet durch die in der Darstellung auftretenden Farben und deren möglichen Kombinationen). In dieser Arbeit werden nur die jeweils 2. Landoltringe (außerhalb der konvexen Hülle) berücksichtigt, da Geißler et al. (2010) zeigte, dass die Landoltringe außerhalb der konvexen Hülle in den verwendeten Videos als besser sichtbar eingeschätzt wurden. Es wurden Einzeltestungen von jeweils ca. einer Stunde durchgeführt, an deren Ende die Probanden adäquat aufgeklärt wurden. Alle Daten wurden anonymisiert.

2.3.4 Selbstauskunft

Folgende Kriterien wurden mittels eines strukturierten Interviews im geschlossenen Antwortformat (fünfstufige Likert Skala; Bortz & Döring 2006) erhoben:

- Sichtbarkeit („Wie schätzen Sie die Sichtbarkeit des Landoltringes ein?“)
- Kontrast zum Situs („Wie schätzen Sie den Kontrast des Landoltringes ein?“)
- Störung durch die Landoltringe („Wie empfanden Sie den Landoltring beim Erkennen der restlichen Umgebung?“).

Die Ablenkung („Fühlten Sie sich durch den Landoltring von der Bearbeitung



der eigentlichen Aufgabe abgelenkt?“) wurde dichotom („Ja“/„Nein“) erhoben. Weiterhin wurden, als objektiver Indikator für die Ablenkung durch die Landoltringe, die Antworten auf die Zählauflage der in das Video hinzugefügten Elemente erhoben und mit dem korrekten Ergebnis verglichen. Außerdem sollten die Versuchspersonen nach den jeweiligen Durchgängen die Positionen der Öffnungen der Landoltringe bestimmen, was ebenfalls mit den korrekten Ergebnissen verglichen wurde.

2.4 Datenanalyse

Die Videos der Augenbewegungen der Probanden wurden mit der Software „INTERACT“ (Version 8, Mangold, Arnstorf) kodiert (Anzahl der Blicke und Dauer der Blicke in Sekunden). Alle Daten wurden mit Hilfe der Software „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS 15.0) für Windows ausgewertet. Es handelt sich um ein within-subjects-Design, bei dem jeder Teilnehmer alle Varianten durchführt (Bortz & Döring, 2006). Zudem war eine Normalverteilung sowie ein metrisches Datenniveau der Daten gegeben. Ausnahmen bildeten die dichotome Variable „Ablenkung“ und die Zählauflage. Daher wurde für die Analyse von Unterschieden auf deren Signifikanz bei mehr als 2 Variationen, die direkt miteinander verglichen werden, eine Varianzanalyse mit Messwiederholung verwendet. Die Variable „Ablenkung“ und die Richtigkeit der Zählauflage wurden aufgrund des nominalen Datenniveaus mit dem Cochran-Test auf Signifikanz geprüft.

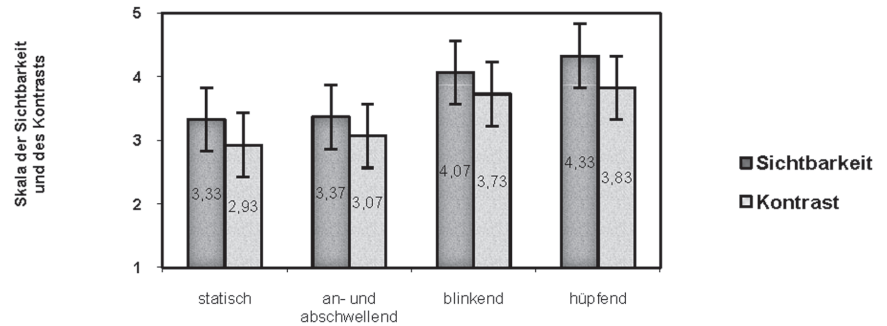


Bild 2: Mittelwerte der eingeschätzten Sichtbarkeit und des Kontrasts der Varianten der Landoltringe (N = 30) auf einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut).

3. Ergebnisse

3.1 Sichtbarkeit und Kontrast der Landoltringe

Bei der Überprüfung der Variable „Sichtbarkeit der Landoltringe“ mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigten sich signifikante Effekte des Faktors „Bewegung“ ($p < .001$). Der blinkende Landoltring wurde als besser sichtbar eingeschätzt als der statische ($p < .05$) und der an- und abschwelkende Landoltring ($p < .01$). Der hüpfende Landoltring wurde ebenfalls als besser sichtbar eingeschätzt als der statische ($p < .001$) und der an- und abschwelkende Landoltring ($p < .001$).

Bei der Überprüfung der Variable „Kontrast der Landoltringe“ mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigten sich ebenfalls signifikante Effekte des Faktors „Bewegung“ ($p < .001$). Der blinkende und der hüpfende Landoltring wurden als kontrastreicher eingeschätzt als der statische ($p < .01$) und der an- und abschwelkende Landoltring ($p < .01$) (Bild 2).

3.2 Störung und Ablenkung durch die Landoltringe

Bei der Überprüfung der Variable „Störung durch die Landoltringe“ mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigten sich signifikante Effekte des Faktors „Bewegung“ ($p < .001$). Der hüpfende Landoltring wurde als störender eingeschätzt als die anderen Varianten der Landoltringe ($p < .05$) (Bild 3).

Bei der Überprüfung der Variable „Ablenkung durch die Landoltringe“ mittels Cochran-Test mit Messwiederholung zeigten sich signifikante Effekte des Faktors „Bewegung“ ($p < .001$). Der statische Landoltring wurde als weniger ablenkend eingeschätzt als die Landoltringe, die sich bewegten (Bild 4).

Bei der Überprüfung der Zählauflage mittels Cochran-Test mit Messwiederholung zeigte sich ein signifikanter Effekt des Faktors „Bewegung“ ($p < .01$). Die Einzelvergleiche wurden jedoch nicht signifikant, somit ist nur festzustellen, dass die Bewegung einen signifikanten Einfluss auf die Bewältigung der Zählauflage hat. Es sind aber keine Aussagen

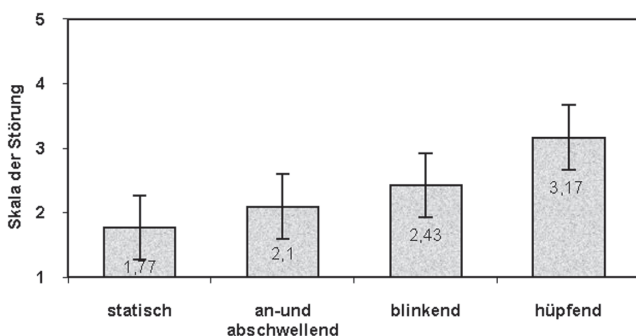


Bild 3: Mittelwerte der eingeschätzten Störung durch den Landoltring (N = 30) von 1 (nicht störend) bis 5 (sehr störend).

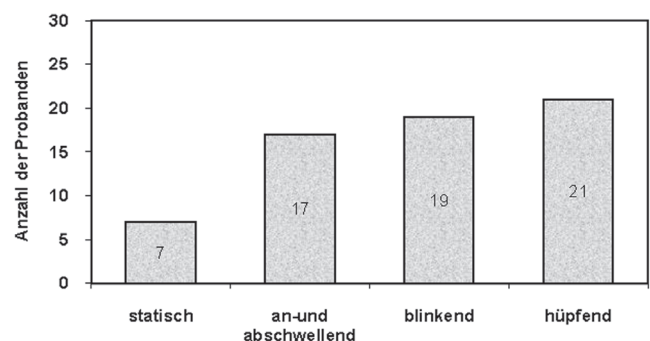


Bild 4: Zahl der Probanden (N = 30), die berichteten, durch die jeweiligen Varianten der Landoltringe abgelenkt worden zu sein.

über einzelne Unterschiede zwischen den vier Bedingungen möglich.

3.3 Blickbewegungsanalyse

Aufgrund von Artefakten konnten nur 23 der 30 Datensätze analysiert werden. Die Blickbewegung wurde über zwei Variablen mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert, zum einen über die Anzahl der Blicke auf den Landoltring und zum anderen über die jeweilige Dauer dieser Blicke (in Sekunden).

Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen in der Variable „Anzahl der Blicke“ ($p < .05$). Die Probanden schauten häufiger

auf den an- und abschwellenden Landoltring als auf den blinkenden Landoltring (Bild 5).

Weiterhin zeigte sich ein signifikanter Effekt für die Varianz der Blickdauer auf die verschiedenen Varianten der Landoltringe ($p < .05$). Bei den Einzelvergleichen zeigte sich, dass die Probanden im Mittel länger auf den an- und abschwellenden Landoltring schauten als auf die anderen Varianten des Landoltrings (Bild 6).

Eine Überprüfung der Korrelationen zwischen den subjektiven Wahrnehmungseinschätzungen und den Eyetrackingdaten ergab fast keine signifikanten Korrelationen. Eine Ausnahme sind die Korrelationen bei der hüpfenden Variante:

- subjektive Wahrnehmungseinschätzungen der Sichtbarkeit mit Eyetrackingdaten zur Anzahl (.50; $p = .05$) und Dauer (.47; $p = .051$) der Blicke sowie
- subjektive Wahrnehmungseinschätzungen des Kontrastes mit Eyetrackingdaten zur Anzahl der Blicke (.67; $p = .005$).

Es zeigten sich erwartbare hochsignifikante Korrelationen bei allen Darstellungsformen zwischen den Eyetrackingdaten zur Anzahl und Dauer (zwischen $p = .001$ und $p = .01$).

In Tabelle 1 sind abschließend die signifikanten Effekte dieser Studie dargestellt.

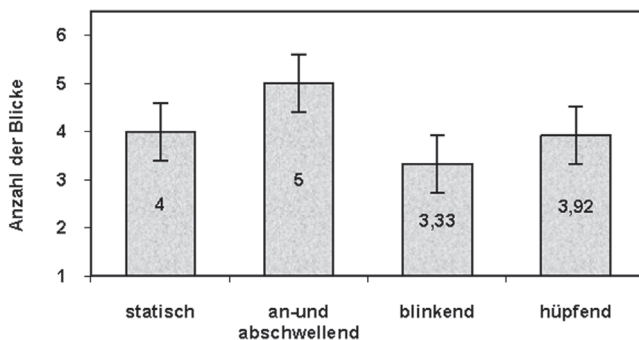


Bild 5: Mittelwert der Blickanzahl ($N = 23$) auf die vier Varianten der Landoltringe.

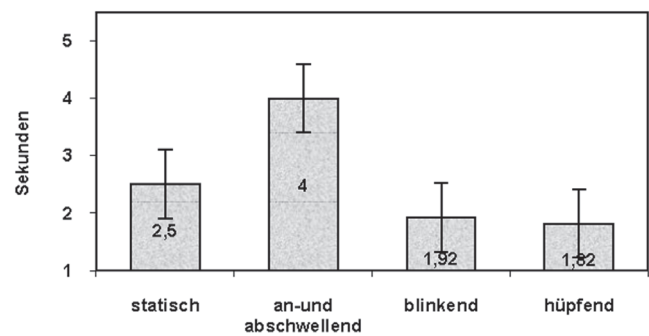


Bild 6: Mittelwert der Blicklänge ($N = 23$) auf die vier Varianten der Landoltringe.

Variable	Signifikanter Effekt für die Differenzen zwischen allen 4 Varianten	Signifikante Einzelvergleiche
Sichtbarkeit der Landoltringe (Selbstauskunft)	$p < .001$	blinkender und hüpfender Landoltring besser sichtbar als: statischer und an- und abschwellender Landoltring
Kontrast (Selbstauskunft)	$p < .001$	blinkender und hüpfender Landoltring kontrastreicher als: statischer und an- und abschwellender Landoltring
Störung (Selbstauskunft)	$p < .001$	hüpfender Landoltring störender als die anderen Bewegungsvariationen der Landoltringe
Ablenkung (Selbstauskunft)	$p < .001$	statischer Landoltring weniger ablenkend als die anderen Bewegungsvariationen der Landoltringe
Zählaufgabe (Selbstauskunft)	$p < .01$	keine signifikanten Einzelvergleiche
Anzahl der Blicke (Eye-Tracker)	$p < .05$	auf den an- und abschwellenden Landoltring wurde häufiger als auf den blinkenden Landoltring geschaut
Dauer der Blicke (Eye-Tracker)	$p < .05$	am längsten wurde auf den an- und abschwellenden Landoltring geschaut

Tabelle 1: Signifikante Effekte der einzelnen Variablen.

4. Diskussion

Fehler in der Chirurgie können teilweise irreversible Folgen haben. Während in der Luftfahrt Standards zur Fehlervermeidung definiert sind, können Erkenntnisse aus diesen Bereichen nicht ohne vorhergehende Prüfung für die Chirurgie übernommen werden. Erfolgreiche Leistungen in der Chirurgie erfordern vom Chirurgen eine hoch konzentrierte und kontinuierliche Aufnahme visueller Informationen in einem komplexen und dynamischen Arbeitsfeld (Anastakis et al. 2000; Cuschieri 1995). Eine visuelle Wahrnehmungsillusion kann bei laparoskopischen Operationen eine primäre Ursache für Verletzungen des Patienten sein (Way et al. 2003). Fehler in der Chirurgie sollen reduziert werden (Rattner & Park 2003), daher müssen die Trainings auch den dynamischen und technologisch anspruchsvollen Operationsumgebungen angepasst werden (Taffinder et al. 1999). Hierfür sind Simulationsumgebungen (Aggarwal et al. 2004), wie sie in der vorliegenden Studie verwendet wurden, sehr relevant.

Ein Verständnis der Augenbewegungen bei Chirurgen, z. B. durch Verhaltensanalysen basierend auf Eyetrackingdaten (Sodergren et al. 2010, Sodergren et al. 2012) während einer Operation, sind ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung des Trainings (Sodergren 2011) und der Technik, insbesondere der Displays (Goldberg & Kotval 1999). Weiterhin ist die Analyse der Vigilanz von Chirurgen ein relevantes Forschungsgebiet in der Medizin (Zheng et al. 2011; Zheng et al. 2012). Die vorliegende Studie kann hierbei durch die Gestaltung von effizienten und gleichzeitig nicht zu stark ablenkenden, visuellen Hinweisen einen Beitrag leisten. Die Analyse von Eyetrackingdaten bei Beobachtungen von Videos stellt zudem einen relevanten Forschungsaspekt dar (Tien et al. 2012; Atkins et al. 2012; Nicolaou 2004). Richstone et al. (2010) zeigten, dass Eyetracking Daten, wie z. B. auch die in der vorliegenden Studie erhobenen Fixationsdaten, als objektive Messdaten chirurgischer Fertigkeiten genutzt werden können. Zudem können die Daten der vorliegenden Studie auch dazu dienen, Chirurgen darin zu trainieren, wohin sie blicken sollen. Dies kann

hilfreicher sein als verbales Feedback (Wilson et al. 2011).

Atkins et al. (2012) beschreiben das Eyetracking in chirurgischen Umgebungen als Herausforderung und nutzten u. a. auch head-mounted-Eyetracking-Systeme im simulierten Operationssaal zur Analyse der Beobachtung der auf einem Monitor dargestellten Vitalzeichen. Die Genauigkeit reichte jedoch nicht für eine detaillierte Analyse der einzelnen beobachteten Informationen aus, daher nutzten sie im Folgenden eine hochauflösende stationäre Variante. Für weitere Studien nutzten Atkins et al. (2012) zudem eine modifizierte, mobile Variante für die Analyse einer Operation. Eine vergleichbare modifizierte mobile Variante des Eyetracking-Systems stand den Autoren dieser Studie zum Zeitpunkt der Durchführung nicht zur Verfügung.

Weitere Eyetracking-Analysen von Anästhesisten in Simulations-OPs zeigten, dass Pupillengröße und Herzrate mit dem Workload zusammenhängen (Schulz et al. 2011). Der Workload soll durch adäquate Hinweisreize, die in der Studie analysiert wurden, verringert werden. Eyetracking wurde zudem erfolgreich bei der Unterstützung von Entscheidungen bei Radiologen eingesetzt (Dempere-Marco et al. 2002).

Die Augenbewegungen von Experten und Novizen in der Chirurgie sollten in einer weiteren Studie verglichen werden, da Studien hier Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen feststellen konnten (Richstone et al. 2010, Law et al. 2005).

Somit ist die Gestaltung von Hinweisssystemen in der Chirurgie eine besondere Herausforderung, da zunächst in Zusammenarbeit mit medizinischen Experten in Anlehnung an Edworthy und Stanton (1995) die Dringlichkeit einer gezeigten Situation und die Schwere der involvierten Risiken definiert werden müssen. In vielen Fällen müssen die Informationen registriert werden, ohne den Chirurgen zu stark von seinen primären Aufgaben während einer OP abzulenken. Deshalb wurde in dieser Studie ein solches Hinweisssystem für die visuelle Modalität entwickelt. Als Stichprobe wurden Studierende der Humanmedizin gewählt, da die Verwendung von erfahrenen Chirurgen in ausreichen-

der Anzahl im Umfang dieser Studie, v. a. aufgrund der geringen zeitlichen Kapazitäten der Experten, nicht realisierbar gewesen wäre. Dieses Vorgehen, sowie das gesamte Studiendesign, wurden durch erfahrene Chirurgen (GS) als valide bewertet. Dennoch wäre es sinnvoll, diese Effekte mit Chirurgen in multizentrischen Studien zu replizieren, um Stichprobeneffekte auszuschließen.

Die Evaluation beinhaltete sowohl subjektive (Einschätzung der Sichtbarkeit, Störung und Ablenkung) als auch objektive Methoden (Augenbewegungsanalyse, Zählaufgabe). Im Ergebnis zeigte sich, dass die blinkenden und hüpfenden Hinweisreize besser sichtbar sind als die statischen und an- und abschwellenden Varianten, vermutlich, weil sie sich aufgrund ihrer Bewegung besser vom Hintergrund abheben. Dabei wurde das hüpfende Signal als sehr ablenkend und störend eingeschätzt. Der hüpfende Landoltring hat in einem größeren Ausmaß von der Aufgabe abgelenkt als die anderen Bewegungsarten, einschließlich der blinkenden Variante. Bei der Bearbeitung der primären Aufgabe (Zählaufgabe) gab es einen signifikanten Effekt, jedoch keine signifikanten Einzelvergleiche, wenngleich sich bei der hüpfenden Variante 33,3 % der Probanden verzählten, bei der blinkenden Variante jedoch nur 15,4 %. Dieser Befund könnte auf die unzureichende Zahl an Probanden zurückgeführt werden. Daher sollte dieser Aspekt mit einer größeren Stichprobe noch einmal analysiert werden. Außerdem könnten die verwendeten Varianten basierend auf den vorliegenden Befunden optimiert werden, um trennschärfere Befunde zu erzielen.

In den objektiven Blickbewegungsanalysen stellte sich heraus, dass der Blick am seltensten und am kürzesten bei den blinkenden und hüpfenden Landoltringen verweilte. Dies könnte folgendermaßen erklärt werden: Da die visuelle Aufmerksamkeit mit der Augenbewegung verbunden ist (Hoffmann & Subramaniam 1995), kann man aus den Blickbewegungsanalysen schlussfolgern, dass auch die Aufmerksamkeit nur kurz auf diese Signale gerichtet war. Allerdings kann sich die Aufmerksamkeit auch an einem peripheren Ort befinden, ohne dass die Augen sich bewegen. Die-

ser Teil der Aufmerksamkeitsorientierung wird als verdeckte Orientierung bezeichnet (Müller & Krummenacher 2008). Aufgrund der starken Ablenkung und Störung durch den hüpfenden Hinweisreiz, aber der gleichzeitig nur geringen Ausprägung in den Augenbewegungen, kann von einer verdeckten Orientierung auf das hüpfende Signal ausgegangen werden.

Die Probanden fokussierten den statischen und den an- und abschwellenden Hinweisreiz häufiger und länger, vermutlich, weil diese Landoltringe eine geringere Salienz aufwiesen. Ein Stimulus ist salient, wenn er sich von seiner Umgebung abhebt und leicht entdeckt werden kann. Wegen der schlechteren Sichtbarkeit dieser beiden Signalvarianten mussten die Testpersonen länger den Landoltring fixieren, um die Richtung der Öffnung erkennen zu können. Fraglich ist, warum die an- und abschwellenden sowie die statischen Landoltringe nicht als störender und ablenkender empfunden wurden, da die Probanden mit ihrem Blick relativ lange und häufig auf ihnen verweilten. Auf dieser Datenbasis kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich an einem fixierten Objekt auch die Aufmerksamkeit befindet. Die Probanden könnten die Störung durch den Landoltring als gering eingeschätzt haben, da sich die Aufmerksamkeit verdeckt auf dem Situs befand, der Blick hingegen auf dem Signal ruhte.

Aufgrund der hohen Salienz des blinkenden Landoltringes konnte die Richtung der Öffnung möglicherweise leichter entdeckt werden, weshalb ihn die Probanden nur kurz fokussieren mussten. Das blinkende Signal konnte nicht übersehen werden, weil es aus dem Bild hervorsprang (Treisman & Gelade 1980). Damit erregte es genug Aufmerksamkeit, um den aktuellen Modus für den Chirurgen zu verdeutlichen. Der blinkende Warnhinweis scheint ein Aufmerksamkeitsmagnet zu sein, der die eigentliche Aufgabe jedoch wenig stört. In dieser Studie erwies sich diese Präsentationsform somit als am besten geeignet für die Darstellung relevanter Informationen im Sichtfeld des Chirurgen. Dieses Ergebnis bestätigt die Annahmen von Wickens und McCarley (2008), dass blinkende Reize die effektivsten visuellen

Alarme darstellen und auch für den vorgestellten Einsatz in der Chirurgie geeignet sind.

Augmentierte blinkende visuelle Warnsysteme sind adäquate Signale bei der Arbeit am Operationsmikroskop in der definierten Aufgabe und könnten, nach einer jeweils spezifischen Analyse der Informationsrelevanz und der spezifischen Arbeitsumgebung, die oft genutzten auditiven Warnungen in der Chirurgie ersetzen bzw. ergänzen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Informationen ohne Mühe von dem Beobachter registriert werden können, ohne ihn zu stark abzulenken. Die Relevanz der visuellen blinkenden Hinweisreize wurde zudem in einer späteren noch nicht publizierten Studie bestätigt, bei der 28 Studierende der Humanmedizin der Universität Leipzig beim Fräsen an einem Simulator unter Nutzung eines Operationsmikroskops visuelle gegen auditive Hinweisreize verglichen. Hierbei wurden zudem Verletzungen der Risikostrukturen registriert und angezeigt.

Der visuelle Hinweis für den „Assistenz aus“-Modus wurde mit einer höheren Gefahr ($p = .05$) und mit einer höheren Dringlichkeit ($p = .01$) assoziiert. Dies ist insbesondere in der Chirurgie notwendig, da die Arbeit des Arztes die effektive und effiziente Verarbeitung vielfältiger Informationen voraussetzt.

Danksagung

Wir möchten uns bei SensoMotoric Instruments (Teltow, Deutschland) für die technische Unterstützung und bei Anke Hoffmeier, Daniela Wellein, Lars Voitell, Ricardo Ewald, Inka El Khaooua und Anke Lubrich für die wissenschaftliche Unterstützung bedanken. Die Studie wurde unterstützt durch das BMBF im Rahmen von Unternehmen Region 03ZIK345.

Literatur

- Aggarwal, R.; Undre, S.; Moorthy, K.; Vincent, C.; Darzi, A.: The simulated operating theatre: comprehensive training for surgical teams. *Qual Saf Health Care* **13** (2004) 27–32
- Anastakis, D.J.; Hamstra, S.J.; Matsumoto, E.D.: Visual-spatial abilities in surgical training. *Am J Surg* **179** (2000) 469–471.
- Andre, A.; Degani, A.: Do you know what Mode you're in? An analysis of Mode error in every-

- day things. In: *Human-automation interaction: Research and practice*. (Hrsg. Mouloua, M.; Koonce, J. M.). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1997.
- Atkins, M.S.; Tien, G.; Khan, R.S.A.; Meneghetti, A.; Zheng, B.: What Do Surgeons See: Capturing and Synchronizing Eye Gaze for Surgery Applications. *Surg Innov* (2012).
- Atkins, M. S.; Jiang, X.; Tien, G.; Zheng, B.: Saccadic delays on targets while watching videos. *ACM Proceeding of Eye Tracking Research & Applications (ETRA '12)* (2012) 405–409.
- Bach, M.: The freiburg visual acuity test-variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* **245** (2007) 965–971.
- Bartz, D.; Cunningham, D.; Fischer, J.; Wallraven, C.: The role of perception for computer graphics. *Eurographics State-of-the-Art Report*, 2008.
- Bortz J. ; Döring N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer, 2006.
- Cuschieri, A. Visual displays and visual perception in minimal access surgery. *Semin Laparosc Surg* **13** (1995) 209–214.
- Dempere-Marco, L.; Hu, X.-P.; MacDonald, S. L. S.; Ellis, S. M.; Hansell, D. M.; Yang, G.-Z.: The use of visual search for knowledge gathering in image decision support. *IEEE Trans. On Medical Imaging* **21** (2002) 741–754.
- Edworthy, J.; Stanton N.: A user-centred approach to the design and evaluation of auditory warning signals: 1. methodology. *Ergonomics* **38** (1995) 2262–2280.
- Finley, A.G.; Cohen, A.J.: Perceived urgency and the anaesthetist: responses to common operating room monitor alarms. *Canadian Journal of Anaesthesia* **38** (1991) 958–964.
- Geißler, N.; Korb, W.; Wellein, D.; Voittel, L.; Neophytou, F.; Mueller, K.; Bartz, D.: Color design for an AR-enhanced advice system in surgery. *Proceedings of World Congress 2009, IFMBE Proceedings* **25/XIII** (2010) 954–957.
- Geißler, N.; Strauß, G.; Arnold, U.; Lubrich, A.; Ewald, R.; Korb, W.: Evaluation von auditiven versus visuellen Hinweissystemen in der Chirurgie. *Biomed Tech* **55** (2010) 1–4.
- Goldberg, H.J.; Kotval, X.P.: Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics* **24** (1999) 631–645.
- Hauß, Y.; Timpe, K.-P.: Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In: *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*

- (Hrsg. Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H.). Düsseldorf: Symposion, 2000.
- Healey, C.; Enns, J.L.: Datasets at a glance: Combining textures and colors in scientific visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **5** (1999) 145–167.
- Hoffmann, J.E.; Subramaniam, B.: The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception and Psychophysics* **57** (1995) 787–795.
- Iani, C.; Wickens, C.D.: Factors affecting task management in aviation. *Human Factors* **49** (2007) 16–24.
- Law, B.; Atkins, M.S.; Kirkpatrick, A.; Lomax, A.J.; Mackenzie, C.L.: Eye gaze patterns differentiate skill in a virtual laparoscopic training environment. *ACM Proceedings of Eye Tracking Research and Applications (ETRA '04)* (2004) 41–47.
- Lessing, C.; Francois-Kettner, H.; Jonitz, G.; Bauer, H.; Schrappe, M. Checklisten im OP – ein sinnvolles Instrument zur Verbesserung der Patientensicherheit? *Perioperative Medizin* **2** (2010) 179–186.
- Lüth, T.; Bier, J.; Bier, A.; Hein, A.: *Verfahren und Gerätesystem zum Materialabtrag oder zur Materialbearbeitung*. Patent DE 101 17 403C2, 2001.
- Manzey, D.: Systemgestaltung und Automatisierung. In: *Human Factors-Psychologie sicherer Handelns in Risikobereichen*. (Hrsg. Badke-Schaub, P.; Hofinger, G.; Lauche, K.) Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- Monk, A. Mode errors: a user-centered analysis and some preventative measures using keying-contingent sound. *International Journal of Man-Machine Studies*, **24** (1986) 313–327.
- Müller, H.J.; Krummenacher, J.: Aufmerksamkeit. In: *Allgemeine Psychologie*. (Hrsg. Müsseler, J.) Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- Neophytou, N.; Mueller, K.: Color-Space CAD: Direct Gamut Edition in 3D. *IEEE Computer Graphics and Applications* (2008) 88–98.
- Nicolaou, M.; James, A.; Darzi, A.; Yang, G.Z.: A Study of Saccade Transition for Attention Segregation and Task Strategy in Laparoscopic Surgery. *MICCAI* **2** (2004) 97–104.
- Posner, M.I.: Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* **32** (1980) 3–25.
- Rattner, W.D.; Park, A.: Advanced devices for the operating room of the future. *Seminars Laparoscopic Surgery* **10** (2003) 85–89.
- Richstone, L.; Schwartz, M.J.; Seideman, C.; Cadeddu, J.; Marshall, S.; Kavoussi, L.R.: Eye metrics as an objective assessment of surgical skill. *Ann Surg* **252** (2010) 177–182.
- Schulz, C.M.; Schneider, E.; Fritz, L.; Vockeroth, J.; Hapfelmeier, A.; Wasmaier, M.; Kochs, E.F.; Schneider, G.: Eye tracking for assessment of workload: a pilot study in an anaesthesia simulator environment. *Br J Anaesthesia* **106** (2011) 44–50.
- Schönwald, L. Optimierung der visuellen Signalgestaltung in der Chirurgie. Diplomarbeit an der Universität Leipzig (2010, unveröffentlicht)
- Sodergren, M.H.; Orihuela-Espina, F.; Clark, J.; Teare, J.; Yang, G.Z.; Darzi, A.: Evaluation of orientation strategies in laparoscopic cholecystectomy. *Ann Surg* **252** (2010) 1027–1036.
- Sodergren, M.H.; Orihuela-Espina, F.; Froghi, F.; Clark, J.; Teare, J.; Yang, G.Z.; Darzi, A.: Value of orientation training in laparoscopic cholecystectomy. *Br J Surg* **98** (2011) 1437–1445.
- Sodergren, M.H.; Yang, G.Z.; Darzi, A.: Perception and Orientation in Minimally Invasive Surgery. *Arch Surg* **147** (2012) 210–211.
- Taffinder, N.; Smith, S.; Darzi, A.: Assessing operative skill. *BMJ* **318** (1999) 887–888.
- Tien, G.; Atkins, M.S.; Zheng, B.: Measuring gaze overlap on videos between multiple observers. *ACM Proceedings of Eye Tracking Research & Applications (ETRA '12)* (2012) 309–312.
- Treisman, A.; Gelade, G.: A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology* **12** (1980) 97–136.
- Vickers, J.N.: *Perception, Cognition, and Decision Training: The Quiet Eye in Action*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2007.
- Way, L.W.; Stewart, L.; Gantert, W.; Liu, K.; Lee, C. M.; Whang, K.; Hunter, J. G.: Causes and prevention of laparoscopic bile duct injuries: analysis of 252 cases from a human factors and cognitive psychology perspective. *Ann Surg* **237** (2003) 460–469.
- Wickens, C.D.; Colcombe, A.: Performance consequences of imperfect alerting automation associated with a cockpit display of traffic information. *Human Factors* **49** (2007) 839–850.
- Wickens, C.D.; McCarley, J.S.: *Applied attention theory*. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- Wilson, M.R.; Vine, S.; Bright, E.; Masters, R.S.; Defriend, D.; McGrath, J.S.: Gaze training enhances laparoscopic technical skill acquisition and multi-tasking performance: a randomized, controlled study. *Surg Endosc* **25** (2011) 3731–3739.
- Wogalter, M.S. (Hrsg.): *Handbook of warnings*. Mahwah: Erlbaum, 2006.
- Zheng, B.; Jiang, X.; Tien, G.; Meneghetti, A.; Panton, O.N.; Atkins, M.S.: Workload assessment of surgeons: correlation between NASA TLX and blinks. *Surg Endosc* **26** (2012) 2746–2750.
- Zheng, B.; Tien, G.; Atkins, M.S.; Swindells, C.; Tanin, H.; Meneghetti, A.; Qayumi, K.A.; Neely, O.; Panton, M.: Surgeon's vigilance in the operating room. *Am J Surg* **201** (2011) 667–671.
- Zwahlen, H.T.; Vatan, S.; Bardurdeen, F.F.; Oner, E.: *Daytime legibility of white landolt rings on green traffic sign backgrounds*. *Proceedings of 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board* (Hrsg. Transportation Research Board National Academy of Sciences Washington), 2003.

Dr. Norman Geißler arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt Innovative Surgical Training Technologies der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig. Bis Februar 2010 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) in der Arbeitsgruppe „Assessment of Surgical Automation Systems“. Diese Studie entstand in dieser Zeit.

E-Mail: geissler@istt.htwk-leipzig.de

Dipl.-Psych. Liane Schönwald promoviert im Graduiertenkolleg „Funktion von Aufmerksamkeit bei kognitiven Prozessen“ an der Universität Leipzig. Zuvor arbeitete sie als studentische Hilfskraft am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) der medizinischen Fakultät der Universität Leipzig. In dieser Zeit entstand auch ihre, in dieser Arbeit zitierte, unveröffentlichte Diplomarbeit.

PD Dr. med. Gero Strauß ist Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde/plastische Operationen am Universitätsklinikum Leipzig. Er forscht seit 1999 im Bereich der computer-assistierten Chirurgie, ist Geschäftsführer des Innovation Center Computer Assisted Surgery, sowie geschäftsführender Direktor des International Reference and Development Centre for Surgical Technology Leipzig.

E-Mail: Gero.Strauss@medizin.uni-leipzig.de

Prof. Dr. med. Jürgen Meixensberger ist Direktor der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum Leipzig. Prof. Meixensberger ist unter anderem Sprecher und Vorstand des Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS).

E-Mail: Juergen.Meixensberger@medizin.uni-leipzig.de

Dr. Werner Korb leitet zurzeit das interdisziplinäre Projekt Innovative Surgical Training Technologies der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig. Bis Februar 2010 leitete er die Arbeitsgruppe „Assessment of Surgical Automation Systems“ am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS). Diese Studie entstand in dieser Zeit.

E-Mail: korb@istt.htwk-leipzig.de

Prof. Dr. Dirk Bartz leitete die Forschungsgruppe Visual Computing am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) und war Mitglied des Vorstands († 03/2010). Er arbeitete gemeinsam mit anderen an dieser Studie und verstarb während der Entstehung des Artikels. Dieser Beitrag ist ihm gewidmet, da wir mit ihm einen überaus geschätzten Kollegen und hervorragenden Wissenschaftler verloren haben, ohne den viele Studien nicht möglich gewesen wären, insbesondere im Bereich des wahrnehmungsoptimierten Visual Computings in der Medizin und der Lebenswissenschaften.