

# Mensch-Computer-Interaktion in der operativen Medizin

Werner Korb, Michael Stephan, Gero Strauss

Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS)  
Universität Leipzig  
Simmelweisstrasse 14  
04103 Leipzig  
werner.korb@iccas.de

**Abstract:** Die genaue Analyse von Fehlerfällen in der Medizin, zeigt die Häufigkeit von menschlichen Fehlern im Krankenhaus, insbesondere auch von Fehlern in der Mensch-Maschine-Interaktion. Daher nimmt die Erforschung der Mensch-Maschine Interaktion in der Medizin in den letzten Jahren immer mehr zu. Dieser einleitende Beitrag bietet einen Einstieg in die Methoden dieses Forschungsfelds anhand von Beispielen aus der Chirurgie und Anästhesie.

Damit bildet er eine Klammer für die Artikel zum Workshop „Mensch-Computer-Interaktion in der operativen Medizin“ (WS3) auf der Tagung „Mensch & Computer 2008“ in Lübeck. Neben den Bewertungsmethoden für die Mensch-Computer-Interaktion, werden auf dem Workshop auch geeignete Entwurfsmethoden, wie die szenariobasierte Entwicklung, vorgestellt. Solche Methoden führten auch zu neuartigen Interaktions-Systemen, die auf die Benutzung im Operationsaal zugeschnitten sind. Ziel des Workshops ist der Transfer der aktuellen Forschungsthemen in den klinischen Alltag sowie in die Entwicklungsabteilungen der Medizintechnik-Unternehmen.

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahren haben technologische Innovationen auch in der Medizin zur Einführung von Unterstützungssystemen mit zunehmend breiterem Funktionsumfang geführt, beispielsweise in der Anästhesie, Notfallmedizin oder Chirurgie. Die von technischen Systemen übernommenen Funktionen können die medizinischen Experten bei der Ausführung ihrer Tätigkeit unterstützen. Jedoch erzeugt eine hohe Funktionalität auch eine höhere Komplexität des technischen Systems, welche die Nutzung verkomplizieren und zu erhöhter kognitiver Beanspruchung der Nutzer führen kann.

Zusätzlich zur Mensch-Maschine-Interaktion auf horizontaler Ebene (*Nutzer/Therapeut – Maschine*) findet in der Medizin eine Interaktion auf vertikaler Ebene (*Patient – Maschine*) statt (**Mensch-Maschine-Interaktionsdreieck**). Dabei sind zwei Situationen zu unterscheiden. Zum einen gibt der Patient keine Rückmeldung über seinen Befindlichkeitszustand, da er beispielsweise narkotisiert ist. Zum anderen greift der Patient direkt in die Nutzer-Maschine-Interaktion ein und muss somit bei der Gestaltung des Interaktionskonzeptes bedacht werden. Dies verdeutlicht die besondere Relevanz von Mensch-zentrierten Gestaltungsparadigmen in der Medizintechnik.

Basis für die Mensch-zentrierte Gestaltung ist die Kenntnis der Wirkprinzipien der Maschine (oder des Computers) auf den Behandler (Anwender) sowie den Patienten und umgekehrt.

## **2 Methoden in der Literatur**

In diesem Abschnitt werden zunächst die Methoden aus der Literatur zusammengefasst, die zur Analyse der Mensch-Maschine-Interaktion im Operationssaal angewendet werden. Bewertet werden in diesem Zusammenhang einerseits die Ausgabekomponenten, die Rückmeldung über den Patienten- oder Systemzustand geben. Andererseits die Eingabekomponenten, die eine Veränderung oder Bedienung des Patienten- oder Systemzustandes erlauben. Das heißt, bewertet werden beispielsweise graphische Bedienoberflächen der steuernden Computer, Videosysteme in der Endoskopie, Eingabeknöpfe, Joysticks und Master-Manipulatoren in der Telechirurgie u.v.m. Aber auch Prozessparameter, wie die Verwendung von chirurgischen Instrumenten und die Medikamentengabe, können für die Analysen relevant sein, sofern sie den Patientenzustand und damit den Zustand des Gesamtsystems verändern.

Drei Klassen von Analysemethoden werden im Folgenden genauer erklärt.

### **2.1 Anwender- und Anwendungsforschung**

Für die Analyse wenig strukturierter und unscharfer Problemfelder, insbesondere bei neuen Systemen oder Interaktionsprinzipien, eignen sich qualitative Methoden wie die *Befragung* oder die *Beobachtung*.

Ein Beispiel dafür ist die Befragung zur Gestaltung des Operationssaales per Fragebogen [KM04] oder Telefon [Pa03].

Neben der Befragung, die ausschließlich die subjektiven Einschätzungen analysieren kann, wird die Beobachtung unter klinischen Bedingungen eingesetzt. Diese ermöglicht die Bewertung der Interaktion von Gerät(en) und Operateuren in deren gewohnten Umfeld. Die Aufnahme der Beobachtungsdaten erfolgt per Video oder per Erhebungsbogen [Bo05, KM04]. Der entscheidende Nachteil bei Videos oder Erhebungsbögen liegt darin, dass die Daten zur Analyse arbeitsintensiv codiert bzw. in den Computer eingegeben werden müssen. Daher wurde im *Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS)* die chirurgische Workflow-Analyse entwickelt, bei welcher die Daten während der Beobachtung direkt am Touchscreen eines Tablet-PCs eingegeben werden können [Ne06, Ne07]. Die Analyse der Daten kann somit ohne personalintensiven Zwischenschritt erfolgen. Voraussetzung für diese effiziente Aufnahme des chirurgischen Workflows ist die Vorbereitung der zu erwartenden Merkmale. D.h. in einigen Probeaufnahmen werden für den chirurgischen Ablauf typische Instrumente, anatomische Strukturen, handelnde Personen und andere interessierende Faktoren auf dem Tablet-PC „zurechtgelegt“.

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse und Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion ist eine Kombination aus Beobachtung und Befragung. Dabei wird der Operateur nach einer durchgeführten Operation (mit Workflow-Analyse) über die verschiedenen, für die Interaktion relevanten, Faktoren befragt [St06]. Dabei wurde auch die Zufriedenheit der Benutzer mit den chirurgischen Navigationssystemen, sowie deren (subjektives) Vertrauen in das System erhoben.

Ziel der Anwendungs- und Anwenderforschung ist neben der Einzelfallanalyse, die Herleitung von quantifizierbaren *Kriterien*.

## 2.2 Gerätetests und experimentelle Systemstudien

Sind quantifizierbare Kriterien gefunden, kann in experimentellen und klinischen Studien eine *quantitative* Bewertung erfolgen. In experimentellen Studien wird dafür eine typische Situation für die Bedienung eines Gerätes simuliert und das interessierende Kriterium gemessen.

Einige beispielhafte Szenarien für solche Messkriterien und zugehörige Tests sollen im Folgenden aufgeführt werden:

- Am simulierten *Endoskopiearbeitsplatz* können unter anderem Wahrnehmungs- und Effizienzkriterien bei der Nutzung von Videobildern gemessen werden, beispielweise 2D- im Vergleich zu 3D-Darstellung [Fa01, Pi96]. Auch die Auswirkungen einer möglichen Einschränkung der Hand-Auge-Koordination [Cr99, Ma98] oder des Sichtfeldes [De06] durch das endoskopische Videobild im Unterschied zur offenen Chirurgie, können am Endoskopiearbeitsplatz analysiert werden.

- In einem anderen Szenario können verschiedene Faktoren bei der Durchführung von chirurgischen Schritten (beispielsweise Nähen oder Knoten binden) am *Telemanipulator* bewertet werden. Dort werden akzeptable Latenzzeiten in der Hand-Auge-Koordination [Pe07] oder ergonomische Faktoren bei unterschiedlichen Positionen der Hand an der Steuerkonsole [Go07] vermessen.
- Ein mögliches Szenario für die computerassistierte Chirurgie ist die Durchführung einer Mastoid-Ohrenoperation am *elektronischen Phantom*. Dieses Phantom stellt die anatomische Situation korrekt dar und meldet Verletzungen während des Fräsprozesses durch elektronische Sensorik. Bereits durchgeführte Messungen umfassen die Arbeitsbelastung des Chirurgen [We08], weitere Analysen sollen in einem ähnlichen Szenario durchgeführt werden.

Auch bei experimentellen Studien können Fragebögen zur detaillierten Analyse herangezogen werden [Ja07, Ma03, Me08]. Im Unterschied zu den in Abschnitt 2.1 erwähnten Fragebögen werden hier nicht ausschließlich subjektive Kriterien über die Zufriedenheit oder Selbsteinschätzung der Nutzer erhoben, sondern auch objektive Kriterien. Ein solches objektives Kriterium könnte beispielsweise Wissen bei einer Lernstudie [Me08] sein, welches durch einen Wissenstests abgefragt und von einem unabhängigen Experten ausgewertet wird. Eine andere Möglichkeit ist ein Fragebogen, den unabhängige Beobachter eines Interaktions-Experiments ausfüllen [Ma03].

Die wesentliche Herausforderung bei experimentellen Studien liegt in der Erstellung geeigneter Szenarien, in denen die Interaktionen in gewünschter Detaillierung durchgeführt werden können. Schwierig stellt sich dabei die Simulation des Patienten dar. Dennoch sind bereits einige Patienten-Simulatoren für die Anästhesie (bspw. HANS, der *Heidelberger Anästhesie und Notfall Simulator*) und Chirurgie (z.B. das elektronische Ohrphantom, siehe Abb. 1) entwickelt worden.

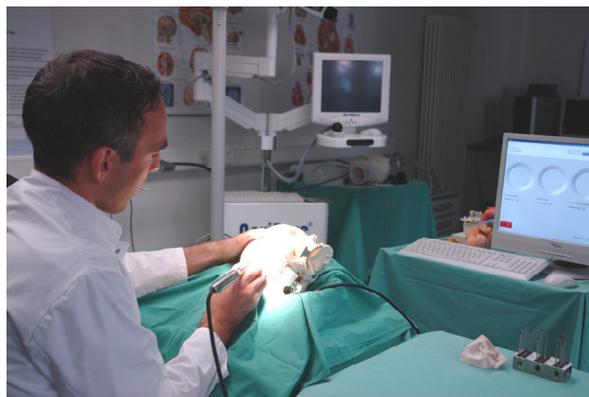


Abbildung 1: Simulationssystem für die Analyse der Mensch-Computer-Interaktion in der Ohrchirurgie. Das Phantom ist anatomisch korrekt und Verletzungen von kritischen Strukturen können elektronisch detektiert werden. [Mö07]

### 2.3 Fehleranalyse

Für Geräte, die bereits im klinischen Umfeld etabliert sind, werden seit mehreren Jahren neben den subjektiven Daten aus Befragungen und den klinischen Beobachtungen auch kritische und unerwünschte Ereignisse, Fehler sowie Beinahe-Schäden analysiert. Dabei handelt es sich um die so genannte „Critical Incident Analysis“ [Ak08, Sh04]. Voraussetzung für eine solche Ereignis-Analyse [Ny05, Sh04] ist ein funktionierendes Critical Incident Reporting System (CIRS), in dem zunächst die Fehlerfälle gesammelt, zugänglich gemacht und aufbereitet werden. Die Critical Incident Analysis liefert damit entscheidende Erkenntnisse über ungünstige Systementwürfe und Interaktionsprinzipien. Insbesondere in der Anästhesie und Notfallmedizin sind solche Systeme (CIRSmedical, PaSOS, PaSIS<sup>1</sup>) bereits in verschiedenen Kliniken eingeführt worden.

## 3 Prototyping von neuartigen Bedienkonzepten

Basierend auf den Analysen (siehe Abschnitt 2) können horizontale Prototypen erstellt werden. Solche horizontalen Prototypen enthalten die wesentlichsten Systemschichten, bspw. die Benutzerschnittstelle (Bedienkonzept), um in weiteren Probandentests das System zu optimieren. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Produkt- und Industriedesignern sowie Spezialisten im Interaktionsdesign kann an dieser Stelle zu Geräten führen, die für Nutzer sowohl intuitiv als auch ästhetisch ansprechend sind. Die Bedeutung von Ästhetik für die Akzeptanz sowie für die Bedienbarkeit von medizinischen Systemen wird beispielsweise von Kossack und Kollegen ausgeführt [Ko07].

## 4 Aktuelle Forschungsfelder

Die Themen des Workshops zeigen die aktuellen Forschungsfelder für die Mensch-Computer-Interaktion in der Anästhesie und Chirurgie auf. Diese umfassen

- (1) neuartige Testumgebungen für experimentelle Tests, die nahe an der klinischen Realität sind,
- (2) szenario-basierte Entwicklungsmethoden, die zielgerichtet klinische Nutzeranforderungen in die Systeme integrieren (siehe Artikel von *Preim/Cordes*),

---

<sup>1</sup> Webseiten der angegebenen CIRS-Systeme (Zugriff am 20. Juni 2008): [www.cirsmedical.de](http://www.cirsmedical.de), [www.pasos-ains.de](http://www.pasos-ains.de), [www.d-i-p-s.de/pasis](http://www.d-i-p-s.de/pasis).

- (3) die Entwicklung von neuartigen Interaktionskonzepten für die Chirurgie (siehe Artikel von *Leiner/Chojewski* sowie von *Penne et al.*) sowie von innovativen Entscheidungs- und Unterstützungssystemen für die Anästhesie (siehe Artikel von *Schulz/Kindsmüller*).

Durch die systematische Erforschung der Mensch-Maschine-Systemtechnik in der Medizin, ist in Zukunft zu erwarten, dass auch die Automatisierung weiter voranschreiten wird. Bisher ist die Automatisierung von Klinikern meist aufgrund des zu großen Risikos im Einsatz zurückgewiesen worden. Allerdings können sowohl durch das Verständnis von möglichen Risiken von Maschinen als auch durch Mensch-zentrierte Gestaltungsparadigmen, in Zukunft automatisierte Entscheidungs- und Handlungssysteme entworfen werden, die mit heute allgegenwärtigen Systemen, beispielsweise aus der Luftfahrt, vergleichbar sind.

## Literaturverzeichnis

- [Ak08] Aktionsbündnis Patientensicherheit e.V.: Aus Fehlern lernen. Informationsbroschüre, 2008.
- [Bo05] den Boer, Karen T. et al.: Evaluation of the Surgical Process. In: Dankelman, J. et al (ed.): Engineering for Patient Safety. Issues in Minimally Invasive Procedures. Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey, 2005; S. 20-43.
- [Cr99] Crothers, I. R. et al.: Experienced Laparoscopic Surgeons are Automated to the « Fulcrum Effect » : An Ergonomic Demonstration. *Endoscopy* 1999; 31(5); S. 365-369.
- [De06] DeLucia, Patricia R. et al.: Toward the Improvement of Image-Guided Interventions for Minimally Invasive Surgery: Three Factors That Affect Performance. *Human Factors* 2006; 48(1); S. 23-38.
- [Fa01] Falk, V. et al.: Influence of three-dimensional vision on surgical telemanipulator performance. *Surgical Endoscopy* 2001; 15; S. 1282-1288.
- [Go07] Golenberg, L. et al.: Hand position effect on precision and speed in telerobotic surgery. *Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 2007; 3; S. 217-223.
- [Ja07] Janß, A. et al.: Prospective Usability Assessment in Computer-Assisted Surgery (CAS). In: Rötting M. et al. (Hrsg.): Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine Systeme. VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 22, 2007; S.53-58.
- [KM04] Koneczny, S.; Matern, U.: Instruments for the evaluation of ergonomics in surgery. *Min Invas Ther & Allied Technol* 2004; 13(3); S. 167-177.
- [Ko07] Kossak, M. et al.: Industrial Design and Human Factors : Design Synergy for Medical Devices. In: Jacko, J. (Ed.): Human-Computer Interaction, Part IV, HCii 2007, LNCS 4553. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2007; S. 489-498.
- [Ma98] Macedo, Jose A. et al.: The Effect of Automated Compensation for Incongruent Axes on Teleoperator Performance. *Human Factors* 1998; 40(4); S. 541-553.
- [Ma03] Martelli, S. et al.: Criteria of interface evaluation for computer assisted surgery systems. *International Journal of Medical Informatics* 2003; 72; S. 35-45.
- [Me08] Mertes, C. et al.: Der Einfluss eines Navigationssystems auf das Lernverhalten von Novizen in der NNH-Chirurgie. 79. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Bonn, 2008.

- [Mö07] Möckel, H. et al.: ElePhant: Ein anatomisch-elektronisches Simulationssystem für die Evaluation computerassistierter Eingriffe und die chirurgische Ausbildung. *Biomedizinische Technik* 2007; 52 (6); S. 375-382
- [Ne06] Neumuth, T. et al.: Acquisition of Process Descriptions from Surgical Interventions. In: Bressan, S. et al. (eds.): *Database and Expert Systems Applications*. Springer: Berlin, 2006; S. 602-611.
- [Ne07] Neumuth, T. et al.: SWAN-Suite: The tool landscape for surgical workflow analysis. In: Troccaz, J., Merloz, P.: *Computer Assisted Medical and Surgical Interventions*, Sauramps Medical: Paris, 2007; S. 199-204.
- [Ny05] Nyst, Charles T.L.M.; van der Schaaf, Tjerk W.: The Use of Human Factors and Risk Analysis in Anesthesia in the Netherlands. *Proceedings of the 2005 Annual Conference of the European Association of Cognitive Ergonomics*, 2005; S. 205-211.
- [Pa03] Patkin, M.: What surgeons want in operating rooms. *Min Invas Ther & Allied Technol* 2003; 12(6); S. 256-262.
- [Pi96] von Pichler, C. et al.: The state of 3-D technology and evaluation. *Min Invas Ther & Allied Technol* 1996; 5; S. 419-426.
- [Pe07] Perez, M. et al.: Paradigms and experimental set-up for the determination of the acceptable delay in Telesurgery. *Proceedings of the 29<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Lyon, France, 2007; S. 453-456.
- [Sh04] Sheperd, M.: Identification of Human Errors During Device-Related Accident Investigations. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, May/June, 2004; S. 66-72.
- [St06] Strauss, G. et al.: Evaluation of a navigation system for ENT with surgical efficiency criteria. *Laryngoscope* 2006; 116(4); S. 564-572.
- [We08] Weyrauch, A. et al.: Untersuchung zur Streßbelastung des Chirurgen bei der Anwendung einer navigiertkontrollierten Fräse für die Mastoidektomie. 79. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Bonn, 2008.