

Integration von kompakter Zoomoptik, Navigation und Roboterassistenz in der mikrochirurgischen Neurochirurgie

J. Wahrburg¹, F. Ebner², J. Marquardt², M. Pfeifle², S. Sahm¹, O. Rehe³, D. Wellein⁴, M. Tatagiba², F. Duffner²

¹ Universität Siegen, Zentrum für Sensorsysteme, Siegen, Germany

² Universitätsklinikum Tübingen, Klinik für Neurochirurgie, Tübingen, Germany

³ Henke-Sass Wolf GmbH, Tuttlingen, Germany

⁴ Universität Leipzig, ICCAS, Leipzig, Germany

Kontakt: wahrburg@zess.uni-siegen.de

Abstract:

Der Beitrag stellt das Neuro-Comrade System für mikrochirurgische Eingriffe in der Neurochirurgie vor, das als flexible und ergonomische Alternative zu den bisher eingesetzten Operationsmikroskopen konzipiert ist. Seine wesentlichen Komponenten bestehen aus einer kompakten Zoomoptik mit hochauflösender HDTV-Kamera, einer Navigationskomponente zur Einbeziehung präoperativer Diagnostik und einem Assistenzroboter als Positionierungs- und Haltesystem. Diese neuartige Kombination bietet besondere Vorteile hinsichtlich der ergonomischen Arbeitsbedingungen sowie der erzielbaren Funktionalität. Sie werden anhand des im Rahmen des „Neuro-Comrade“ – Verbundprojektes aufgebauten Prototypsystems erläutert.

Schlüsselworte: Mikrochirurgie, Operationsmikroskop, Neuronavigation, Assistenzroboter

1 Problem

Mikrochirurgische Eingriffe mit Hilfe eines Operationsmikroskops stellen in der Neurochirurgie unverändert den Goldstandard dar. Doch trotz aller Errungenschaften bringt der Einsatz von Operationsmikroskopen auch Nachteile mit sich, vor allem im ergonomischen Bereich. Da die Optik des Mikroskops zwischen dem Patienten und dem Neurochirurgen positioniert ist, muss der Chirurg insbesondere bei Eingriffen im Bereich der hinteren Schädelgrube die Instrumente mit durchgestreckten Armen führen. Das kann bei Operationen über einen Zeitraum von mehreren Stunden überaus anstrengend werden. Mikrochirurgische Techniken durch endoskopische Operationsverfahren zu ersetzen brachte nur teilweise Erfolg. Die Endoskopie ermöglicht zwar bequemeres Operieren, die Übersicht im Bereich des Operationsfeldes fehlt jedoch.

Zur Vermeidung dieser Nachteile besteht die Zielsetzung bei der Entwicklung des hier vorgestellten Neuro-Comrade Systems in der Verwendung einer kompakten Zoomoptik, die in verschiedenen Modi mechatronisch geführt werden kann, sowie in einem hohen Integrationsgrad der verwendeten Komponenten, um dem Neurochirurgen eine möglichst ergonomische, intuitive Bedienung zu ermöglichen.

2 Methoden

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Systemkomponenten. Als Mikroskop wird eine vom Projektpartner HSW (Fa. Henke-Sass, Wolf GmbH, Tuttlingen) entwickelte variable Zoomoptik eingesetzt, die anhand des typischen neurochirurgischen Operationsspektrums spezifiziert wurde. Durch die digitale Aufnahme der Bilddaten entfällt das sonst bei Operationsmikroskopen zu findende optomechanische System mit Okularen, wodurch eine wesentliche Verringerung der Baugröße möglich wird. Da das ergonomische Problem des Umgreifens damit nahezu beseitigt wird und der Operateur das gelieferte Bild auf einem HD-Monitor statt durch das Okular betrachtet, wird eine deutlich ermüdungsfreiere Arbeitshaltung ermöglicht.

Zur Führung der Zoomoptik wird das interaktive modiCAS Assistenzrobotersystem [1,2] eingesetzt. Seine Besonderheit liegt darin, dass es zwei Betriebsmodi realisieren kann:

a) passiver Modus (haptische Führung)

Hier wird der Roboterarm über einen Handgriff am Roboterarm manuell so bewegt, dass das Mikroskop in gewünschte Stellungen gebracht wird. Die vom Operateur aufgebrachtene Kräfte und Momente werden von einem Kraft-/Momentensensor im Roboterflansch gemessen und in der Robotersteuerung in Bewegungen des motorisch angetriebenen Roboterarms umgesetzt. Der Roboterarm verhält sich für den Bediener wie ein passiv bewegtes konventionelles Operationsmikroskop.

b) aktiver Modus

Die Motoren der Gelenke des Roboterarms werden so angesteuert, dass die Zoomoptik autonom in vorprogrammierten Stellungen positioniert wird, die z.B. aus der präoperativen Bildgebung errechnet wurden. Da das Robotersystem auch ein optisches 3D-Digitalisiersystem (Polaris der Fa. NDI) umfasst, ist damit die Kombination mit Neuronavigation und Augmented Reality möglich.

Durch geschickte Umschaltung zwischen diesen Betriebsmodi wird dem Operateur während des Einsatzes ein bisher nicht erreichtes Maß an Flexibilität und Unterstützung bei Optikführung geboten. So ist es beispielsweise möglich, den Roboter im passiven Modus durch haptische Führung in bestimmte Stellungen zu bringen, diese zu speichern und später im aktiven Modus automatisch exakt reproduzierbar erneut anzufahren.

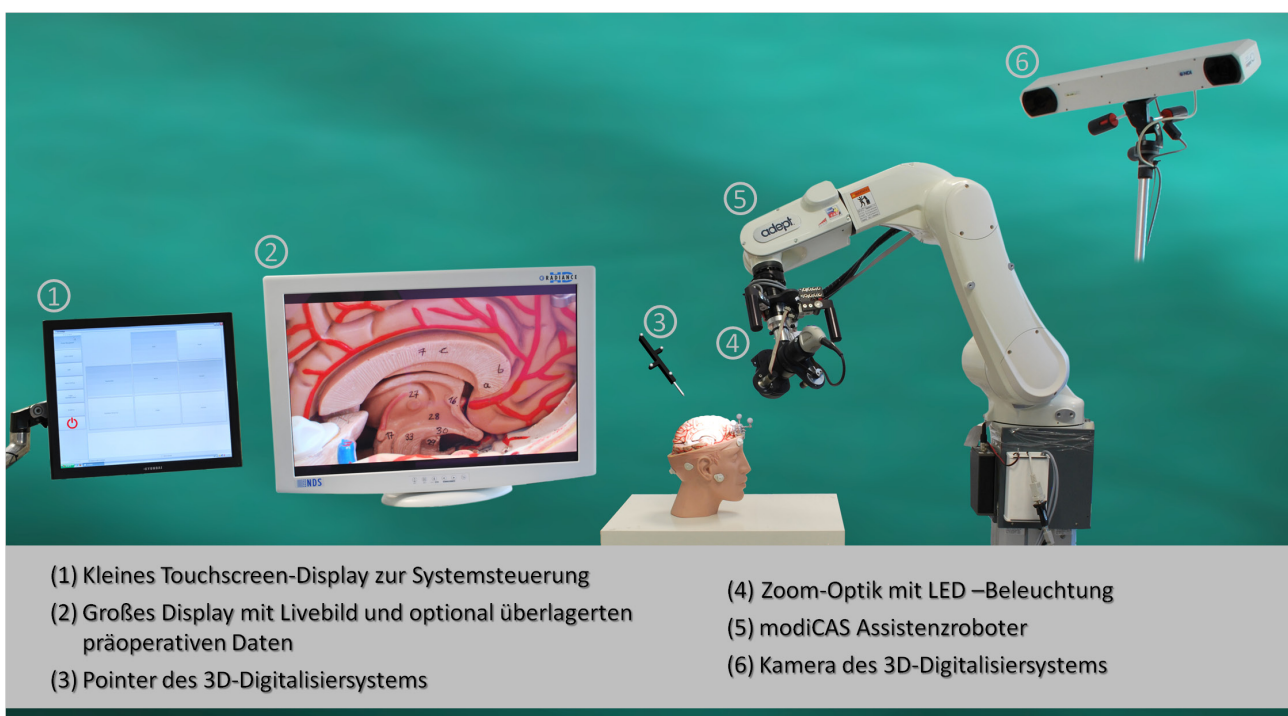


Abb. 1: Komponenten des Neuro-Comrade Systems

Zur Kombination mit präoperativen CT- oder MR-Bildern umfasst das Neuro-Comrade System eine Planungssoftware, die auf der Volv-Plattform für die medizinische Visualisierung beruht [3]. Damit können vor dem Eingriff die gewünschten Bilddaten ausgewählt und gegebenenfalls zueinander registriert werden. Die Planungssoftware umfasst verschiedene Segmentierungsmodule, welche kombiniert werden können, um bestmögliche Unterstützung bei der Segmentierung von Risikostrukturen und Tumoren zu bieten [4]. Der mittels bekannter Matching-Verfahren, z.B. Paired-Point-Matching über Fiducial Marker, im OP durchgeführte Abgleich mit der realen Patientenstruktur ermöglicht die Einblendung oder Überlagerung von präoperativem Bildmaterial in den Livebildern der Zoomoptik. Die Erfassung der für die Augmented-Reality Darstellung benötigten Kameraparameter erfolgt dabei durch die Auswertung eines aus mehreren Blickwinkeln aufgenommenen Kalibriermusters. Innerhalb des modiCAS Teilsystems wird der Abgleich zwischen Roboterarm und Navigationssystem durchgeführt. Die Beziehung zwischen Zoomoptik und Roboter kann über die Abmessungen der mechanischen Befestigung der Optik am Roboterflansch berechnet werden.

Die einfache Systembedienung und Übersichtlichkeit stellte eine besonders wichtige Zielsetzung für die Entwicklung dar. Bei Einsatz konventioneller Operationsmikroskope, Neuronavigationssysteme und gegebenenfalls weiterer Geräte muss der Chirurg wegen fehlender systemübergreifender Schnittstellen jede Komponente separat bedienen und den Blick durch das Okular zur Betrachtung eines oder mehrerer Monitore immer wieder unterbrechen. Bei dem Neuro-

Comrade System werden hingegen alle Informationen der unterschiedlichen bildgebenden Quellen zentral auf einem einzigen Display zur Verfügung gestellt. Hinzu kommt noch ein kleinerer Touchscreen-Monitor für Systemeinstellungen und Parameteränderungen, die in der Regel vom Assistenzpersonal vorgenommen werden. Der Operateur selbst bedient Roboter und Zoomoptik über die Handgriffe und Taster am Roboterarm.

3 Ergebnisse

Das aufgebaute Prototypsystem umfasst alle Komponenten und bietet die volle Funktionalität für erste präklinische Erprobungen. Die einzelnen Komponenten zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

Die Zoomoptik (etwa 6 cm Durchmesser, 16 cm Länge) stellt für die typischen Arbeitsabstände von 20 bis 40 cm ein bis zu 8-fach vergrößertes Bild nahezu zeichnungsfrei zur Verfügung. Für die Videoaufnahme und Darstellung des Bildes wird ein hochauflösender medizinischer Bildsensor (Full HD, 1920x1080 bei 60Hz) eingesetzt. Er gewährleistet eine Bildqualität, die - bis auf den Aspekt der im momentanen Entwicklungszustand noch fehlenden Stereoskopie - mit der des Operationsmikroskops vergleichbar ist. Die Veränderung des Zoom- und Fokuswertes erfolgt über zwei durch Taster am Handgriff schaltbare Mikromotoren, die getrennt voneinander geregelt werden. Für die Ausleuchtung des Operationsgebietes wurden statt einer konventionellen Xenon-Lichtquelle Hochleistungs-LEDs eingesetzt, welche wartungsfrei sind und mit deutlich weniger Leistungsaufnahme auskommen. Durch die geringere Wärmeentwicklung durch das LED-Licht wird das Operationsfeld weniger warm und trocknet somit weniger aus, was für die Anwendung außerordentlich wichtig ist.

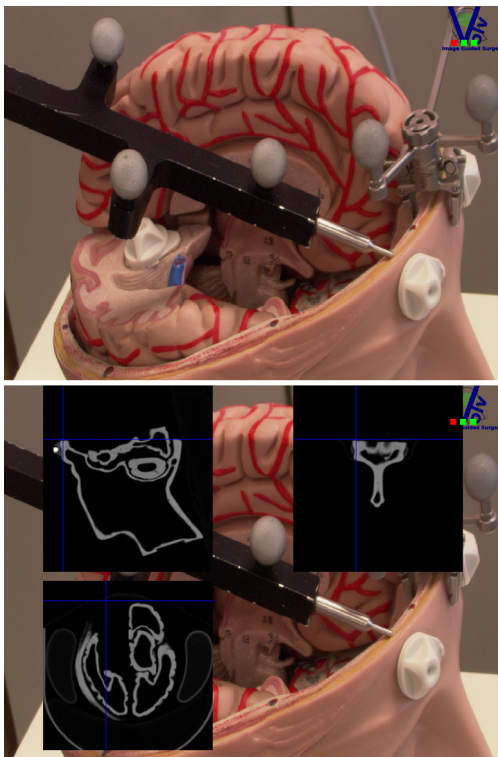


Abb. 2: Integration von präoperativer Bildgebung

Das von dem Bildsensor erfasste HD-Video bild wird mit Hilfe einer sehr leistungsfähigen Bilderfassungskarte in voller HD-Auflösung in das Visualisierungssystem eingespielt, aufgearbeitet und – um zusätzliche Informationen ergänzt, etwa aus der präoperativen Bildgebung – auf dem großen Bildschirm dargestellt. Die Überlagerung der Zusatzinformationen erfolgt dabei kontextsensitiv. So wird beispielsweise die integrierte Neuronavigation nur dann in das Videobild eingeblendet, wenn der Chirurg einen Pointer in die Nähe des Patienten hält und auf diese Weise schnell und einfach auf die gewünschten Informationen zugreifen kann (siehe Abb.2). Die Art der Darstellung, Anordnung und Größe kann dabei an die Wünsche des Chirurgen angepasst werden. Er kann während der Operation auswählen, welche Visualisierung für ihn momentan am besten geeignet ist. Da sämtliche Informationen in ein einziges Display eingeblendet werden, entfällt dadurch weitgehend das Wechseln der Blickrichtung.

Bei der haptischen Führung kann die Nachgiebigkeit des Assistenzroboters an die jeweils vorliegende Arbeitssituation angepasst werden. Bei großen Bewegungen, beispielsweise um die Zoomoptik zur Zielregion zu führen oder wieder von dort wegzubewegen, wird eine hohe Nachgiebigkeit eingestellt, um schnelle Bewegungen der am Roboterarm befestigten Zoomoptik zu ermöglichen. Wenn die zu operierende Zielstruktur auf dem Monitor sichtbar ist, wird auf eine geringe Nachgiebigkeit umgeschaltet. Damit sind auch sehr kleine Bewegungen der Zoomoptik, die hier aufgrund der bis zu 8-fachen Vergrößerung des Bildes typisch sind, vom Operateur sehr feinfühlig und genau durchführbar. Dabei erfolgt zudem eine automatische Anpassung der Nachgiebigkeit an den aktuell eingestellten Zoomwert, d.h. je

größer der Zoom-Faktor, desto steifer wird die Bewegung des Roboters.

Die Bewegungs-Freiheitsgrade des Roboters können bei der haptischen Führung gezielt eingeschränkt werden, beispielsweise so, dass nur noch translatorische Bewegungen entlang der optischen Achse oder in der Bildebene des Zoomoptik möglich sind, oder nur noch rotatorische Bewegungen, etwa bei der Pivotierung um den Fokuspunkt. Letzteres erlaubt die Änderung der Blickrichtung der Optik, ohne dass das betrachtete Objekt aus der Bildmitte wandert. Der Abstand des Fokuspunktes von der Optik, also die Lage des Rotationszentrums, wird im Steuerungscomputer aus der Zoom/Fokus-Kennlinie errechnet und automatisch aktualisiert. Diese Eigenschaften ermöglichen eine intuitive Führung der Optik, ohne dass Nachjustierungen durch den Benutzer erforderlich werden.

4 Diskussion

Die Funktionalität des aufgebauten Systems ist durch ausführliche Tests in der Klinischen Anatomie des Universitätsklinikums Tübingen an Alkohol- und Formalin-fixierten Präparaten untersucht worden. Im Vergleich mit einem konventionellen Operationsmikroskop wurden Operationen mit einem einen retrosigmoidalen Zugang bei halbsitzender Lagerung im Kleinhirnbrückenwinkel (KHBW) durchgeführt (siehe Abb. 3), an der Halswirbelsäule über einen Zugang nach Cloward bei Rückenlagerung sowie transspheoidal in der Sellaregion, ebenfalls bei Rückenlagerung.

Eine erste Auswertung dieser Versuche hat bereits ergeben, dass die Arbeitsposition der Operateure beim retrosigmoidalen Zugang mit halbsitzender Lagerung sowie bei der Halswirbelsäulen-OP nach Cloward bei dem Neuro-Comrade System ergonomisch deutlich vorteilhafter ist. Sie wurde von den Probanden durchweg als bequemer angegeben. Derzeit sind die Projektpartner dabei, die weiteren Erkenntnisse aus den Versuchen umzusetzen, um die Eigenschaften der Systemkomponenten zu optimieren und weitere Tests vorzubereiten.

Perspektivisch eröffnen sich Möglichkeiten, den Assistenzroboters nicht nur zur Führung der Zoomoptik einzusetzen, sondern auch von weiteren Instrumenten, etwa von Endoskopen. Damit kann eine bisher nicht erreichte Flexibilität zur integralen Unterstützung von mikrochirurgischen und endoskopischen Eingriffen erreicht werden. Ebenso ist die Führung von Instrumenten in der rahmenlosen Stereotaxie durch den navigierten Assistenzroboter denkbar.

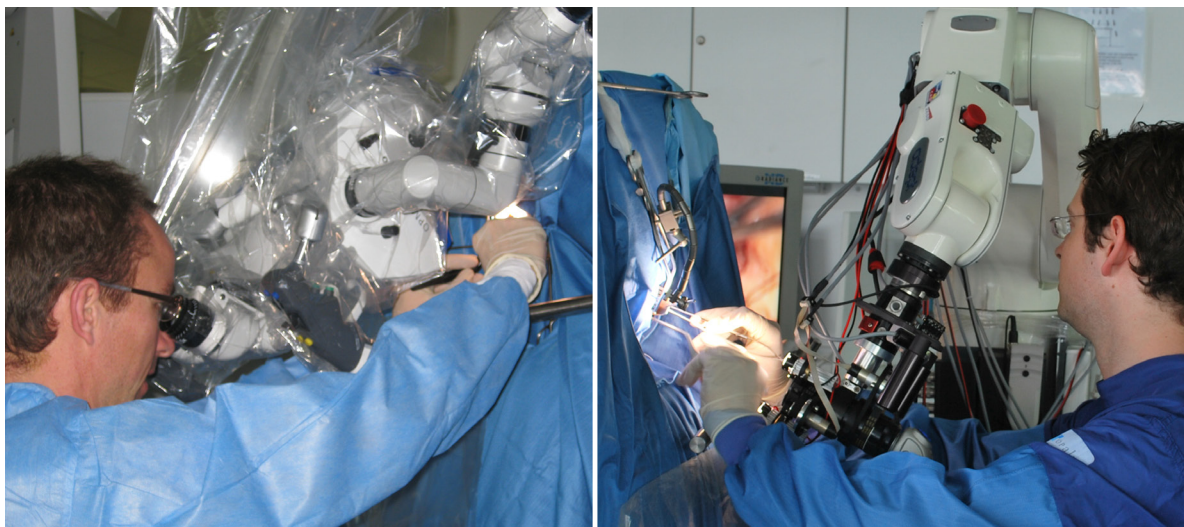


Abb. 3: Operationsmikroskop (links) und Neuro-Comrade (rechts) beim retrosigmoidalen Zugang und halbsitzender Lagerung im Vergleich

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Innovationswettbewerbs Medizintechnik und durch die Firma Henke-Sass, Wolf GmbH gefördert.

5 Referenzen

- [1] R. Castillo Cruces, H.C. Schneider, J. Wahrburg: Cooperative robotic system to support surgical interventions, in: Vanja Bozovic (Edt.), Medical Robotics, I-Tech Education and Publishing, Vienna/Austria 2008, pp. 481-490
- [2] J. Wahrburg: Entwicklung von Medizinrobotern zur Assistenz bei operativen Eingriffen, atp – Automatisierungstechnische Praxis, Bd. 51 (2009), Heft 7, S. 56-61
- [3] M. Pfeifle, S. Born, J. Fischer, F. Duffner, J. Hoffmann, und D. Bartz: VoIV - Eine OpenSource-Plattform für die medizinische Visualisierung, in: Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie e.V. (CURAC), Karlsruhe, 2007
- [4] S. Born, D. Wellein, P. Rhone, M. Pfeifle, J. Friedrich, D. Bartz: Neurosurgical Intervention Planning with VoIV, in: Electronic Proc. of IEEE VisWeek 2010 - VisContest, vol. , 2010