

# Der Einsatz chirurgischer Navigation zur Beschreibung von Arbeitsräumen bei FESS Operationen

---

R. Westphal<sup>1</sup>, K.W. Eichhorn<sup>2</sup>, C. Last<sup>1</sup>, M. Rilk<sup>1</sup>, F. Bootz<sup>2</sup>, F.M. Wahl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Braunschweig, Institut für Robotik und Prozessinformatik, Braunschweig, Germany

<sup>2</sup> Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde/Chirurgie, Universitätsklinikum Bonn, Germany

Kontakt: [ralf.westphal@tu-bs.de](mailto:ralf.westphal@tu-bs.de)

## Abstract:

*Die Funktionell-endoskopische Nasennebenhöhlenchirurgie ist eine der am häufigsten durchgeführten Operation in Deutschland. Der Nachteil dieser Methode ist die Einschränkung des Chirurgen, mit einer Hand das Endoskop führen zu müssen und somit nur eine Hand für die Führung chirurgischer Instrumente zur Verfügung zu haben. Die Entwicklung robotischer Assistenzsysteme zur Führung des Endoskops erscheint daher ein sinnvoller und hilfreicher Ansatz zu sein, das beidhändige Operieren zu ermöglichen. In der unmittelbaren Umgebung zu Risikostrukturen wie der Arteria Carotis oder der Orbita ist allerdings eine präzise und zuverlässige Beschreibung des Roboterarbeitsraums zwingend erforderlich. Darüber hinaus wird von einem solchen Robotersystem eine intuitive und erwartungskonforme Bewegungsplanung erwartet. Im Rahmen dieses Papers wird ein selbstentwickeltes Navigationssystem vorgestellt, mit dem die Endoskop- und Instrumentenbewegungen während realer Operationen aufgezeichnet und anschließend analysiert wurden. Es konnten dabei ein typischer Arbeitsraum in Form einer Sanduhr sowie ein Pivotpunkt identifiziert werden.*

*Schlüsselworte: Navigation, Computerassistierte Chirurgie, FESS, Pivotpunkt, Endoskopie*

## 1 Problemstellung

3-dimensionale Arbeitsraummodelle stellen eine wesentliche Komponente für die Steuerung endoskopführender Roboter im Bereich der Nasennebenhöhlen sowie der vorderen Schädelbasis dar und ermöglichen den sicheren Einsatz von Robotern bei chirurgischen Anwendungen [3]. Seit den 1970er Jahren hat die Endoskopie im Bereich der Sinuschirurgie stetig an Bedeutung gewonnen [6]. Die sogenannte Funktionell-endoskopische Nasennebenhöhlenchirurgie (FESS: Functional Endoscopic Sinus Surgery) hat sich heute als Standard im Bereich der interventionellen Medizin der Nasennebenhöhlen etabliert und ist eine der am häufigsten durchgeführten Operation in Deutschland<sup>1</sup>.

Der Nachteil dieser Methode ist die Einschränkung des Chirurgen, mit einer Hand das Endoskop führen zu müssen und somit nur eine Hand für die Führung von chirurgischen Instrumenten zur Verfügung zu haben [2]. Ein Ansatz, diese Problematik langfristig zu vermeiden, ist die roboterassistierte FESS, bei der die Endoskopführung durch einen Roboter übernommen wird. Für die sichere Steuerung eines solchen Roboters sind präzise und zuverlässige Beschreibungen des vorhandenen Arbeitsraums zwingend erforderlich. Um diese Arbeitsraumbeschreibungen effizient aus patientenspezifischen CT-Aufnahmen generieren zu können, ist es hilfreich, vorab die Arbeitsräume manuell durchgeführter FESS-Operationen zu analysieren. Dies ist Gegenstand des vorliegenden Papers.

## 2 Material und Methoden

Bei fünf Patienten wurden während beidseitiger FESS-Operationen mithilfe eines selbstentwickelten optischen Navigationssystems die Posen eines 30°-Endoskops sowie von vier unterschiedlichen chirurgischen Instrumenten (grader Sauger, grade Zange nach Blakesley, gebogene Zange nach Blakesley, Rückwärtsstanze nach Stammberger) gemessen und aufgezeichnet. Dazu wurden Endoskop und Instrumente mit ebenfalls selbstentwickelten planaren optischen Markern ausgestattet (siehe Abbildung 1). Insgesamt wurden über 179 OP-Minuten aufgezeichnet. Die gemessenen 3D Posendaten wurden automatisch vorverarbeitet, um Ausreißer und Messungen außerhalb des Körpers, der vorab manuell im CT-Datensatz segmentiert wurde, zu eliminieren. Präoperativ wurden CT-Aufnahmen der Patienten mit einem Philips 16 Mehrschicht-Spiral-CT angefertigt. Die CT-Datensätze im DICOM-Format haben einen Schichtabstand zwischen 1 mm und 2 mm und einen Pixelabstand zwischen 0,3 mm x 0,3 mm und 0,6 mm x 0,6 mm. Die geometrischen

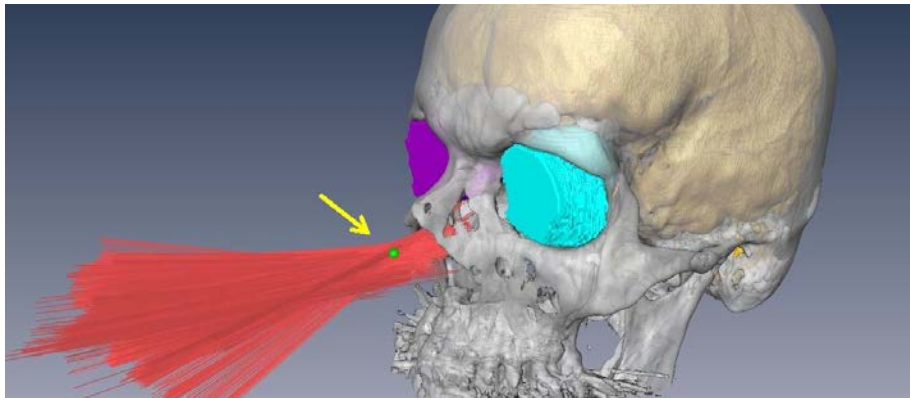
---

<sup>1</sup> Datenveröffentlichung für 2011/2012 gem. § 21 KHEntgG unter <http://www.g-drg.de>

Beschreibungen/Modelle der an den Nasenraum angrenzenden Strukturen wurden aus den DICOM-Daten teils mittels selbstentwickelter Software teils mittels Standardsoftware (Amira, VSG – Visualization Sciences Group, Merignac Cedex, France) generiert.



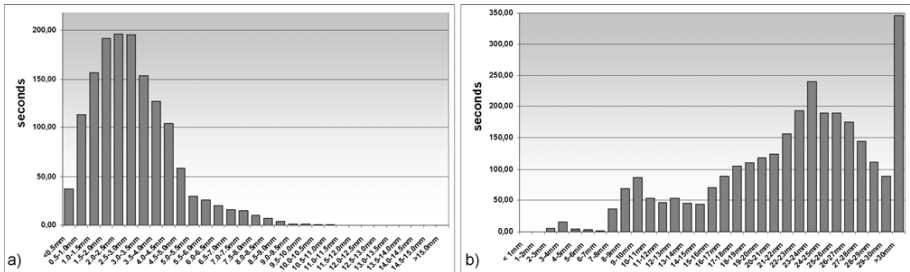
**Abbildung 1:** Messaufbau. Links: Selbstentwickelte planare Marker des optischen Navigationssystems. Rechts: OP-Aufbau mit Kamerasystem und planaren Markergeometrien an unterschiedlichen chirurgischen Instrumenten.



**Abbildung 2:** Alle endonasalen Endoskopachsenposen (Positionen und Orientierungen) mit der Form einer Sanduhr und dem Pivotpunkt nahe dem Naseneingang.

### 3 Ergebnisse

Nach manueller Segmentierung der relevanten Operationsabschnitte, Ausreißerreduktion und Eliminierung von Messungen, bei denen die Marker verdeckt wurden, verblieben 72,6% der Messungen für die weitere Analyse. Die Menge aller gemessenen Endoskopposen ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Endoskopachsen bilden dabei die Form einer Sanduhr. Im Naseninneren, nah des Naseneingangs befindet sich der Bereich, in dem diese Sanduhrstruktur den kleinsten Durchmesser aufweist. Hier befindet sich auch der Pivotpunkt, den wir als den Punkt mit dem geringsten quadratischen Abstand zu allen Endoskopachsenposen definiert haben. Um die Verteilung der Endoskopachsenposen zu analysieren, haben wir den Abstand der Achsen zu dem berechnet Pivotpunkt bestimmt. Diese sind in Form eines Histogramms für eine beispielhafte Operation in Abbildung 3a dargestellt. Insgesamt haben 79,5% (zwischen 64,29% und 92,77%) der Endoskopposen einen Abstand von weniger als 4 mm zum Pivotpunkt, was dem Durchmesser eines üblichen 4-mm-Endoskops entspricht. Der mittlere Abstand des Endoskops zur vorderen Schädelbasis mitsamt der Arteria Carotis betrug 34,58 mm und zur jeweiligen Orbita 24,96 mm. Ein Histogramm einer exemplarischen Operation mit den Abstandsverteilungen ist in Abbildung 3b zu sehen.



**Abbildung 3:** Ergebnis der Abstandsanalysen. a) Histogramm einer exemplarischen Operation über die Abstände des Endoskops zum berechneten Pivotpunkt. b) Histogramm einer exemplarischen Operation mit den Abständen zur linken Augenhöhle.

#### 4 Diskussion

Computerassistierte Chirurgie ist nach wie vor ein wachsender Bereich in der HNO [1]. Die Navigation erhält zunehmend Einzug in die Nasennebenhöhlenchirurgie insbesondere in die FESS. Die dominierende Technologie ist dabei derzeit die optische Navigation im infraroten Bereich [10]. Wir haben ein optisches Trackingsystem entwickelt, das mit einfach herzustellenden optischen Markern arbeitet, dabei sehr flexibel ist und mit dem eine Vielzahl von Instrumenten simultan getrackt werden können. Der Anteil sichtbarer Markerposen lag bei etwa 70%. Durch die geringe Größe der Markergeometrien und deren Robustheit gegenüber teilweisen Verdeckungen ist dieser Anteil im Vergleich zu konventionellen optischen Systemen relativ hoch. Im Vergleich zu elektromagnetischen Systemen hat das vorgestellte optische Verfahren den Vorteil, keine speziellen Instrumente zu erfordern und unempfindlich gegenüber ferromagnetischen Objekten im Arbeitsraum zu sein. Insbesondere der Einfluss ferromagnetischer Objekte auf die Messgenauigkeit elektromagnetischer Trackingsysteme stellt ein großes Problem im realen Einsatz solcher Systeme dar, da spezielle Instrumente erforderlich werden und auftretende Messfehler unter Umständen nur schwierig zu detektieren bzw. vorherzusehen sind. Aktuelle Entwicklungen unserer Arbeitsgruppe realisieren noch kleinere und kubische Markergeometrien, durch die eine weitere Steigerung des Anteils sichtbarer Messungen ermöglicht wird.

Die meisten endoskopführenden Robotersysteme basieren entweder auf dem Telemanipulatorprinzip oder fahren fest vorgegebene, bzw. vorab geplante Punkte oder Bahnen im OP-Situs ab [4, 5, 7, 9, 12]. Ein direkter Bezug zu realen Bewegungsmustern, wodurch eine intuitive autonome Bewegungsplanung ermöglicht würde, ist in der Regel nicht realisiert. Eine intuitive Bahn- bzw. Bewegungsplanung von instrument- oder endoskopführenden Robotersystemen ist ein Ziel der Forschung in der HNO [11] sowie in unserer Arbeitsgruppe. Die roboterassistierte Chirurgie bietet perspektivisch gegenüber z.B. einer 4-händigen OP-Durchführung zum einen ökonomische Vorteile, zum anderen durch die Integration von Sensorik und Navigation das Potential, die Sicherheit der Eingriffe zu erhöhen. Die Unterstützung durch ein Robotersystem soll den Chirurgen entlasten und muss daher intuitiv in der Bedienung sein bzw. intuitiv vorhersagbare Aktionen ausführen, damit der Chirurg sich auf die Manipulationen am Gewebe konzentrieren kann. Nahegelegene kritische Strukturen, wie die Arteria Carotis oder die Orbita sind dabei auf jeden Fall zu schützen. Die präzise Beschreibung des bei manuellen Operationen typischen Arbeitsraums ist dabei ein wichtiger Aspekt im Rahmen der Bewegungsplanung, den wir im Rahmen dieser Arbeit adressiert haben. So konnten unsere Untersuchungen zum Beispiel einen Pivotpunkt zeigen, der im Bereich des Naseneingangs liegt und einen Durchmesser aufweist, der dem eines standardmäßigen 4-mm-Endoskops entspricht. Unter Verwendung dieses Pivotpunkts kann die Steuerung eines Roboters auf drei rotatorische und einen translatorischen Freiheitsgrad reduziert und somit einfacher, schneller und sicherer realisiert werden. Dieser Pivotpunkt sollte relativ weit oben im Naseneingang platziert werden, um ausreichend Platz für zwei Instrumente zu schaffen, was auch durch unsere Messungen bestätigt wird.

Die Studie beschränkte sich zunächst auf die Verwendung einer 30° Endoskopoptik, da es sich dabei um die Standardoptik für FESS-Operationen im Bereich der Stirn- und Kieferhöhlen handelt. Die in anderen OP-Regionen häufig zum Einsatz kommenden 0°-Optiken würden vermutlich auf eine andere Form bzw. Lage des Arbeitsraums führen. Weiterhin haben wir uns bis zum jetzigen Zeitraum auf FESS-Operationen beschränkt. Die vorgestellten Technologien und Methoden sind jedoch auf andere Operationsmethoden, z.B. im Bereich der vorderen Schädelbasis oder etwa auch auf arthroskopische Operationen, erweiterbar. Form und Lage des Arbeitsraums würden sich dabei jedoch höchstwahrscheinlich unterscheiden. Eine weitere interessante Fragestellung ist die Abhängigkeit der Arbeitsraumformen vom aktuellen OP-Schritt. Je nach Region und ausgeführter Aufgabe sind unterschiedliche Arbeitsraumformen und -lagen wahrscheinlich. Eine solche Analyse wurde bislang noch nicht durchgeführt, wäre aber durch eine vorgeschaltete zeitli-

che Segmentierung des Operationsverlaufs bereits mit den vorliegenden Daten möglich und ist ein Aspekt zukünftiger Arbeiten.

Für die Bahnplanung eines robotergeführten Endoskops im Nasenraum wurden von unserer Gruppe bereits Verfahren basierend auf Geschwindigkeitsnebenbedingungen (velocity constraints) vorgestellt [8]. Durch Wahl geeigneter Parameter können die hier vorgeschlagenen Modelle an die patientenindividuelle Anatomie angepasst werden und so die Bewegungen des Roboters bzw. des Endoskops begrenzen. Dadurch können die erforderlichen Sicherheitsabstände zu kritischen Regionen wie der Orbita oder der Arteria Carotis eingehalten werden.

## 4 Zusammenfassung

Durch den Einsatz unseres selbstentwickelten Trackingsystem basierend auf planaren optischen Markern war es uns möglich, die Bewegungen von Endoskop und Instrumenten während fünf realer FESS-Operationen aufzuzeichnen. Die kompakten Marker schränkten den Bewegungsspielraum der Instrumente deutlich weniger ein, als dies mit den Referenzbasen kommerzieller Navigationssysteme typischerweise der Fall ist. Dadurch konnten natürliche Bewegungsmuster erfasst werden, die nicht durch sperrige Referenzbasen beeinflusst wurden. Darüber hinaus ist auch das Problem der Verdeckung mit diesen Markern deutlich reduziert, sodass für einen großen Anteil der Operationszeit auswertbare Daten aufgezeichnet werden konnten. So war es uns möglich, den Arbeitsraum des Endoskops mit der Form einer Sanduhr zu charakterisieren und einen Pivotpunkt am Naseneingang zu identifizieren, um den herum mit einem Abstand von maximal 4 mm 79,6% der Endoskopachsen verlaufen.

## 5 Danksagungen

Diese Arbeit entstand im Rahmen des DFG-Projekts „Roboterunterstützte, erwartungskonforme Endoskopführung in der endonasalen Chirurgie“. Weiterhin wurde das Projekt finanziell durch Bonfor, einem Förderprogramm der Universität Bonn, unterstützt. Die Autoren bedanken sich darüber hinaus bei Prof. Dr. K. Schild der Radiologischen Klinik der Universität Bonn für das Anfertigen von CT-Aufnahmen.

## 6 Referenzen

- [1] Bell, B., Stieger, C., Gerber, N., Arnold, A., Nauer, C., Hamacher, V. et al.: *A self-developed and constructed robot for minimally invasive cochlear implantation*. Acta Otolaryngol, Apr;132(4):355-60 (2012)
- [2] Briner, H.R., Simmen, D., Jones, N.: *Endoscopic sinus surgery: advantages of the bimanual technique*. Am J Rhinol;19:269–273 (2005)
- [3] Eichhorn, K.W., Bootz, F.: *Clinical requirements and possible applications of robot assisted endoscopy in skull base and sinus surgery*. Acta Neurochir Suppl;109:237-40 (2011)
- [4] Federspil, P.A., Plinkert, P.K.: *Robotic surgery in otorhinolaryngology*. Otolaryngol Pol;58:237–24 (2004)
- [5] Fischer, M., Gröbner, C., Dietz, A., Lueth, T.C., Strauß, G.: *First Clinical Experiences with an Endoscope Manipulator System in Endo- and Transnasal*. Laryngo-Rhino-Otol.;91:487-493 (2012)
- [6] Messerklinger, W.: *Technics and possibilities of nasal endoscopy*. HNO; 20:133–135 (1972)
- [7] Park, S.Y., Choi, G.S., Park, J.S., Kim, H.J., Ryuk, J.P.: *Short-term clinical outcome of robot-assisted intersphincteric resection for low rectal cancer: a retrospective comparison with conventional laparoscopy*. Surg Endosc, Jun 30. [Epub ahead of print] (2012)
- [8] Rilk, M., Wahl, F.M., Eichhorn, K.W., Wagner, I., Bootz, F.: *Path Planning for Robot-Guided Endoscopes in Deformable Environments*. Advances in Robotics Research;8:263-274 (2009)
- [9] Strauss, G., Winkler, D., Jacobs, S., Trantakis, C., Dietz, A., Bootz, F., et al.: *Mechatronic in functional endoscopic sinus surgery. First experiences with the daVinci Telemanipulatory System*. HNO, Jul;53(7):623-30 (2005)
- [10] Strauss, G., Limpert, E., Strauss, M., Hofer, M., Dittrich, E., Nowatschin, S., et al.: *Evaluation of a daily used navigation system for FESS*. Laryngorhinootologie. Dec;88(12):776-81(2009)
- [11] Wagner, I., Tingelhoff, K., Westphal, R., Kunkel, M.E., Wahl, F.M., Bootz, F. et al.: *Ex vivo evaluation of force data and tissue elasticity for robot-assisted FESS*. Eur Arch Otorhinolaryngol 265:1335–1339 (2008)
- [12] Wurm, J., Bumm, K., Steinhart, H., Vogeel, M., Schaaf, H.G., Nimsky, C., Bale, R., Zenk, J., Iro, H.: *Development of an active robot system for multi-modal paranasal sinus surgery*. HNO, May 53(5):446-54 (2005)