

HNO 2010 · 59:470–479  
 DOI 10.1007/s00106-010-2237-0  
 Online publiziert: 22. Dezember 2010  
 © Springer-Verlag 2010

**Redaktion**

E. Biesinger, Traunstein

G. Strauß<sup>1,3</sup> · S. Schaller<sup>3</sup> · B. Zamminer<sup>2,4</sup> · S. Heininger<sup>2,4</sup> · M. Hofer<sup>1,3</sup> · D. Manzey<sup>5</sup> · J. Meixensberger<sup>3</sup> · A. Dietz<sup>1,3</sup> · T.C. Lüth<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/Plastische Operationen, Universität Leipzig

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Mikro- und Medizingerätetechnik (MiMed), Technische Universität München

<sup>3</sup> BMBF-Innovation Center Computer Assisted Surgery ICCAS, Universität Leipzig

<sup>4</sup> IMETUM – Zentralinstitut für Medizintechnik, Technische Universität München

<sup>5</sup> Institut für Arbeitspsychologie (FIGO), Technische Universität Berlin

# Klinische Erfahrungen mit einem Kollisionswarnsystem

## Instrumentennavigation in der endo- und transnasalen Chirurgie

### Instrumentennavigation

Die Instrumentennavigation ist in der endo- und transnasalen Chirurgie weitgehend verbreitet und akzeptiert [1]. Dabei wird typischerweise die Spitze eines Instruments im Verhältnis zu den planaren Schnittbildern angezeigt (■ **Abb. 1**). Dieses Vorgehen erfordert für eine richtige Einschätzung der Situation mehrere kognitive Leistungen des Chirurgen:

- Er muss erkennen, dass er sich in einer kritischen Situation befindet.
- Er muss den Blick vom Endoskopmonitor auf den Navigationsbildschirm wenden.
- Er muss die Daten richtig interpretieren.

Das richtige Erkennen der Situation, die sog. Situationsaufmerksamkeit ist ein wichtiges Qualitätskriterium von Assistenzsystemen [2, 3]. Es kann nach den vorliegenden Arbeiten im Bereich der chirurgischen Navigation davon ausgegangen werden, dass diese Situationsaufmerksamkeit für das dargestellte konventionelle Vorgehen nicht optimal ist. Der Chirurg ist immer wieder gefordert, die

angebotenen Informationen in ein eigenes 3-D-Modell zu übersetzen. Dieses Vorgehen ist aufwendig und fehleranfällig.

### Optimierte Darstellung

Die Zielstellung dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung der bisherigen Darstellungsform der Instrumentennavigation. Mit Hilfe einer zusätzlichen Abstandsanzeige und einer geeigneten Warnsystematik soll die Situationsaufmerksamkeit des Chirurgen verbessert und dadurch die Komplikationsrate bei der endo- und transnasalen Chirurgie gesenkt werden. Aufgabe dieser Arbeit ist, es, die erhofften Effekte zu evaluieren. Dazu werden folgende Positivthesen aufgestellt:

- Das Kollisionswarnsystem verbessert die Situationsaufmerksamkeit der Operateure im Laborversuch.
- Das Kollisionswarnsystem verringert die Komplikationsrate im klinischen Einsatz.
- Das Kollisionswarnsystem ist im klinischen Einsatz effizient einzusetzen.

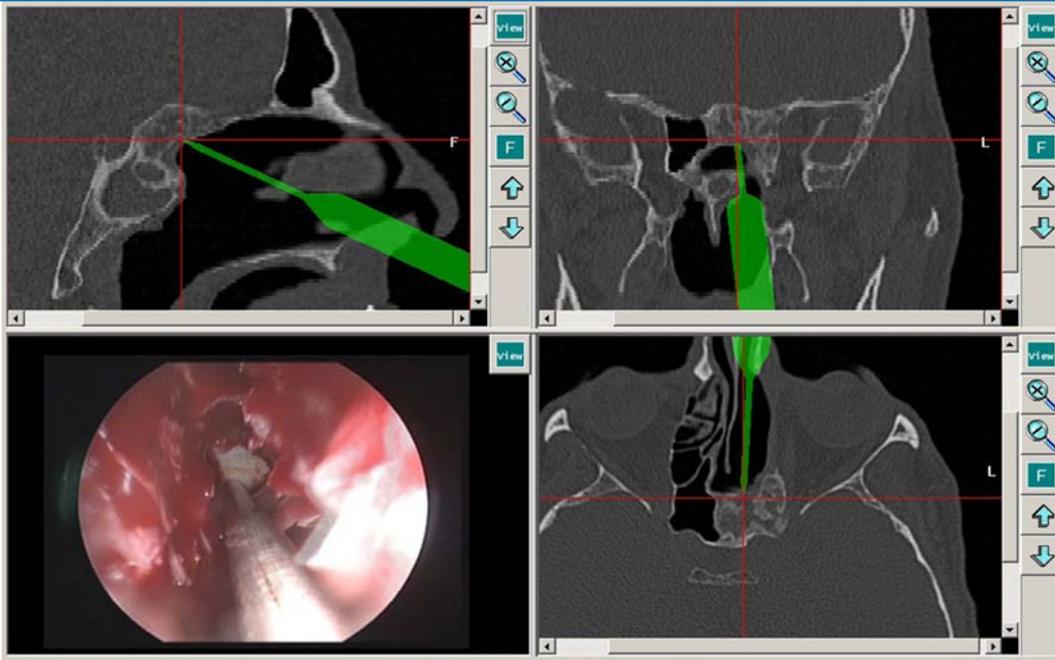
### Material und Methoden

#### Kollisionswarnsystem

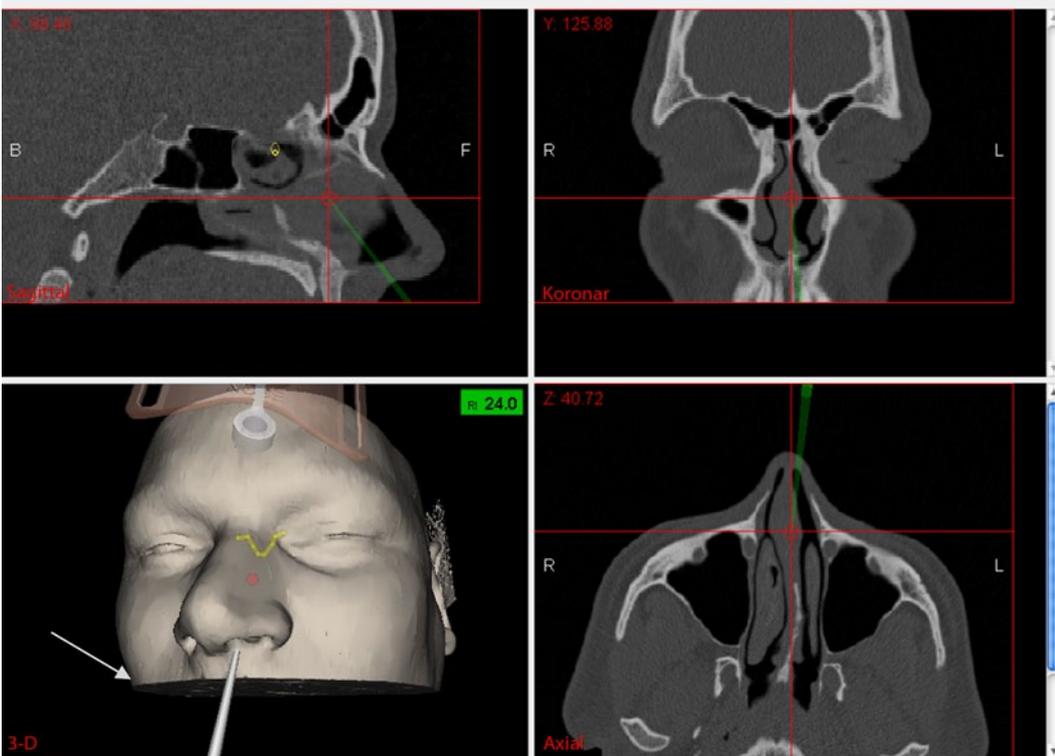
Das Kollisionswarnsystem („distance control system“, DCS) wurde am Lehrstuhl Mikro- und Medizingerätetechnik der Technischen Universität München entwickelt und in die bestehende Instrumentennavigation integriert (Navigation Panel Unit ab Version 4.0.0, Fa. Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen). Es erlaubt die Definition einer Risikostruktur durch einfache manuelle Segmentierung. Dabei wird mit Hilfe von Stützpunkten eine schlauchförmige Struktur mit einem Durchmesser von 2 mm in die planaren CT-Bilder gelegt. Im Betrieb der Instrumentennavigation zeigt das System auf dem Navigationsbildschirm zusätzlich die verbleibende Distanz zur Risikostruktur an (■ **Abb. 2, 3**). Je nach Voreinstellung wird dieser Wert und das eingesetzte Instrument bei Erreichen einer kritischen Distanz farbig hervorgehoben (Ampelfarbenprinzip, ■ **Abb. 4**). Bei Erreichen einer Minimaldistanz ertönt zusätzlich ein akustisches Signal im OP. Die Reaktion auf diese Information bleibt –

Hier steht eine Anzeige.





**Abb. 1** ◀ Konventionelle Instrumentennavigation in der endonasalen Chirurgie



**Abb. 2** ◀ Funktionsprinzip des Kollisionswarnsystems bei einer endonasalen Duraplastik. Die Fovea ethmoidalis wurde präoperativ segmentiert. Der Abstand der Instrumentenspitze beträgt im Moment dieser Aufnahme 24 mm

im Unterschied zu einem automatischen Kollisionsvermeidungssystem („navigated control“) – allein dem Chirurgen vorbehalten.

### Bestimmung der Situationsaufmerksamkeit

Die Situationsaufmerksamkeit beschreibt die Fähigkeit eines Operateurs, zu einem

bestimmten Zeitpunkt die Op.-relevante Gesamtsituation richtig einzuschätzen [2]. Für die transnasale Chirurgie ist dabei die korrekte Zuordnung der aktuellen Position des Instruments zur individuellen Anatomie von Bedeutung. Der Chirurg sollte möglichst immer genau wissen, wo er sich im Situs befindet. Vor allem der Bezug zu den relevanten Risikostrukturen ist dabei von Bedeutung.

Um den Einfluss des Kollisionswarnsystems auf die situative Aufmerksamkeit zu untersuchen, wurde ein Laborversuch mit einem Nasennebenhöhlen-(NNH-) Phantom konzipiert (◻ **Abb. 5**; Fa. Phacon GmbH, Leipzig). Das nachfolgend beschriebene Vorgehen entspricht dabei den bereits etablierten Verfahren zur Bestimmung der chirurgischen Genauigkeit von Navigationssystemen [1, 4, 5]. Die

G. Strauß · S. Schaller · B. Zaminer · S. Heininger · M. Hofer · D. Manzey · J. Meixensberger · A. Dietz · T.C. Lüth

### Klinische Erfahrungen mit einem Kollisionswarnsystem. Instrumentennavigation in der endo- und transnasalen Chirurgie

#### Zusammenfassung

**Ziel.** Die Zielstellung dieser Arbeit ist die Erweiterung der bisherigen Instrumentennavigation um eine Funktion der Kollisionswarnung mit Hilfe einer zusätzlichen Abstandsanzeige und einer Warnsystematik.

**Material und Methoden.** Das Kollisionswarnsystem (DCS) ist eine Erweiterung eines optoelektrischen Navigationssystems (NPU, Fa. Karl Storz, Tuttlingen). Die Messungen zur Situationsaufmerksamkeit erfolgten an Trainingsmodellen der Nasennebenhöhlen (NNH; Fa. Phacon, Leipzig). Zur Analyse der Genauigkeit des Abstands des Instruments von der Risikostruktur (Frontobasis, Lamina papyracea, A. carotis interna) standen 450 Wertepaare zur Verfügung. Der Einfluss auf den klinischen Verlauf wurde an insgesamt 104 Patienten mit endoskopischen

NNH-Eingriffen (FESS) anhand einer prospektiven Analyse der intraoperativen Komplikationen ermittelt. Dafür wurden eine Gruppe nur mit Navigation (NAV) mit 56 und eine Gruppe NAV+DCS mit 48 Patienten gebildet. Die Effizienz wurde anhand der Zeiten für die Vorbereitung des Systems und die intraoperative Anwendung beurteilt.

**Ergebnisse.** Die Annäherung zwischen angenommenen und tatsächlichen Werten des Abstands zwischen Instrumentenspitze und Risikostruktur bei Verwendung des DCS nahm signifikant um durchschnittlich 76% zu. In Bezug auf Komplikationen zeigte sich ein Vorteil für die Gruppe NAV+DCS. Die Vorbereitungszeit des Navigationssystems stieg bei der Anwendung des DCS um durchschnittlich 48% oder 1,2 min. Das rela-

tive Verhältnis zwischen Vorbereitungs- und Nutzungszeit war mit 53,5% in Gruppe NAV und 57,4% in Gruppe NAV+DCS annähernd gleich.

**Fazit.** Diese Arbeit belegt den klinischen Nutzen und die Effizienz eines Kollisionswarnsystems als Ergänzung für die Instrumentennavigation in der endo- und transnasalen Chirurgie. Die verwendete Segmentierung eignet sich für die klinischen Anforderungen der bekannten Risikostrukturen.

#### Schlüsselwörter

Kollisionswarnsystem · Navigation · Endoskopisches Operieren · Nasennebenhöhlen · Transnasale Chirurgie

### Clinical experiences with an automatic collision warning system. Instrument navigation in endoscopic transnasal surgery

#### Abstract

**Problem.** The goal of this work is the extension of instrument navigation with a collision warning function. With the help of an additional distance display and warning system the performance of surgical navigation systems should be improved.

**Material and Methods.** The collision warning system (DCS) is an extension of an optoelectric navigation system (NPU, Karl Storz GmbH&Co.KG, Tuttlingen, Germany). The measurement of situation awareness was performed on phantom models of functional endoscopic surgery of the paranasal sinuses (FESS; Phacon, Leipzig). Altogether 450 measurement pairs for the analysis of surgical accuracy to the risk structure (frontal skull base, lamina papyracea, internal carotid artery)

were available. To examine the influence on the clinical process, a prospective analysis of intraoperative complications was carried out. Of the 104 FESS patients, two groups, one of 56 patients with only navigation (NAV) and one of 48 patients (NAV+DCS), were examined. Efficiency was evaluated on the basis of times for system preparation and intraoperative application.

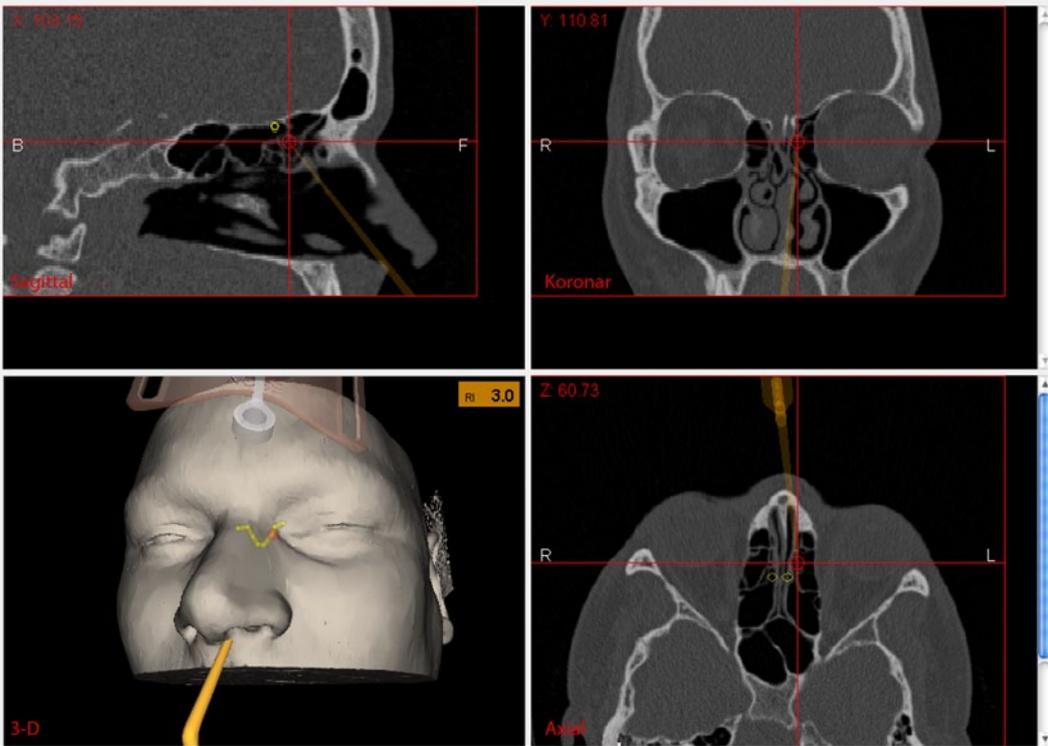
**Results.** A significant increase in the assumed and actual distance values between instrument tip and risk structure using the collision warning system was seen at 76%. The complication rate was more favorable for the NAV+DCS group. The time needed for preparation of the navigation system with the application of the collision warning sys-

tem increased on average by 48%, or 1.2 min. However, the relation between preparation time and utilization time was approximately the same at 53.5% in the NAV group and 57.4% in the NAV+DCS group.

**Conclusions.** This work supports the clinical use and efficiency of a collision warning system as an addition to well-known instrument navigation in endo- and transnasal surgery. The segmenting algorithm is suitable for clinical requirements.

#### Keywords

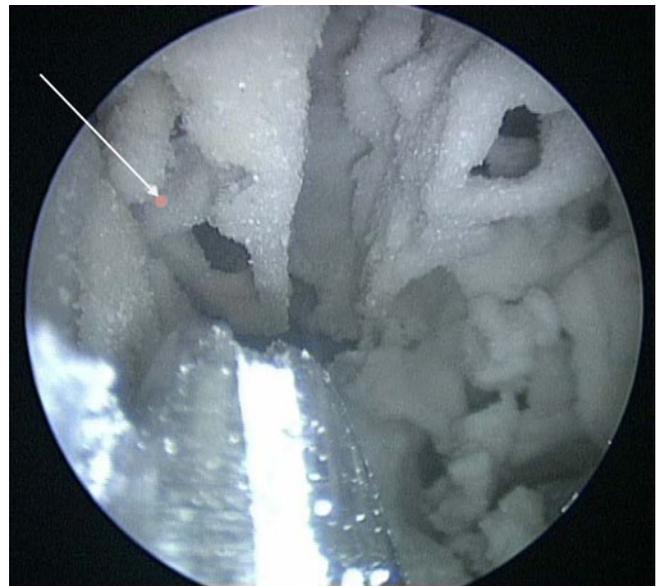
Collision warning system · Navigation · Endoscopic surgical procedure · Paranasal sinuses · Transnasal surgery



**Abb. 3** ◀ Annäherung des navigierten Instruments an die segmentierte Risikostruktur auf einen Abstand von 3 mm. Die orange-gelbe Farbe von Instrument und Abstandsanzeige warnt vor dem geringen Abstand

	<b>Sichere Zone</b>
	<b>Kritische Distanz -&gt; gelbe Warnfarbe</b> • variabel einzustellen Leipzig: 5 mm (Distanz zur Risikostruktur: 7 mm)
	<b>Minimalabstand -&gt; rote Warnfarbe</b> • fest definiert: maximale Fehlertoleranz des Systems x2 Leipzig: 2 mm

**Abb. 4** ▲ Definition der Abstandszonen. Ampelfarbenprinzip des Kollisionswarnsystems: grün sichere Zone, gelb kritischer Abstand, rot Minimalabstand



**Abb. 6** ▲ Farbmarkierung eines Messpunkts (zur besseren Sichtbarkeit bearbeitet, Pfeil) im vorderen Siebbein



**Abb. 5** ▲ NNH-Phantom zur Messung der Genauigkeit und chirurgischen Situationsaufmerksamkeit

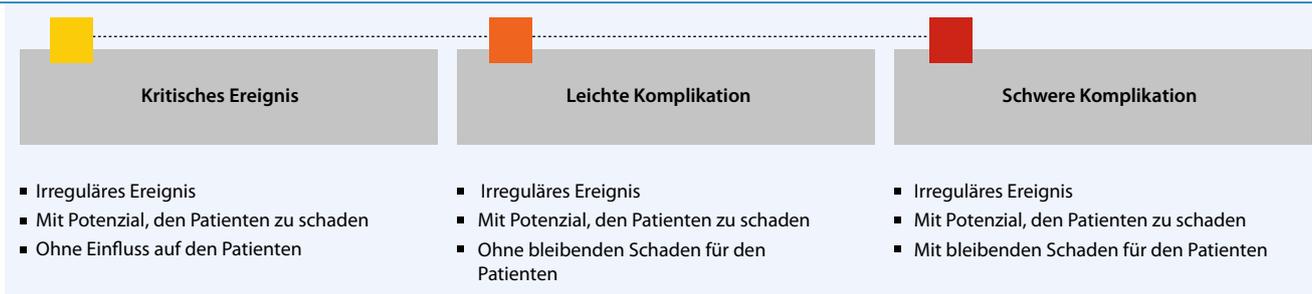


Abb. 7 ▲ Einteilung der Komplikationen. (Mod. nach WHO; [7])

NNH-Modelle basieren auf CT-Daten von realen Patienten und weisen eine hohe anatomische Detailtreue auf. Als Messpunkte dienen 2-mal 5 farbig markierte Punkte im Siebbeinschicht, deren exakte Position durch den Computer-aided-Design-(CAD-)Datensatz des Phantommodells bekannt ist. Diese Position entspricht somit dem wahren Wert der nachfolgenden Vergleichsmessung. Das NNH-Phantom wurden mit einem optischen Navigationssystem registriert (Navigation Panel Unit, Version 4.0.0, Fa. Karl Storz, Tuttlingen).

Einige Punkte, wie in **Abb. 6** in bearbeiteter Form dargestellt, gelten als Messpunkte, an denen der Operateur Auskunft über die verbleibende Distanz zu den Risikostrukturen Auskunft geben soll. Die exakte Position dieser Punkte (insgesamt 5) ist bekannt und dient als wahrer Wert der Vergleichsmessung. Dabei wird der Operateur jeweils nach der geringsten Distanz zu den Risikostrukturen Lamina papyracea, Frontobasis und A. carotis interna gefragt. Der Operateur konnte in Gruppe (NAV) die Information des Navigationssystems und in Gruppe (NAV+DCS) die Information des Navigationssystems, erweitert um die Funktion des Kollisionswarnsystems, benutzen.

In die Studie waren 5 Probanden einbezogen. Der Ausbildungsstand dieser Probanden entsprach zum Zeitpunkt der Untersuchung einer absolvierten Fallzahl von >15 und <50 endoskopischen NNH-Eingriffen („functional endoscopic sinus surgery“, FESS) und damit dem Niveau eines erfahrenen Anfängers. Nach Erreichen der vordefinierten Punkte wurden jeweils folgende Angaben protokolliert: einerseits die durch den Operateur geschätzte Entfernung zu den 3 Risikostrukturen, andererseits die Angaben des Kollisionswarnsystems (Gruppe NAV+DCS).

Abb. 8 ► Ausschnitt aus dem Qualitätsreport für die Gruppe C-NAV. C Komplikationen, NAV Navigation ohne DCS

Date	procedure & description of dissonant event	CI	CO	LOF	total
FESS					
3	XXXXXX CSFL: damage of the fovea ethmoidalis L		1		
4	XXXXXX mismatch in instrument navigation > 3 mm	1			
5	XXXXXX postoperative bleeding with re-package		1		
6	XXXXXX suction out of work	1			
7	XXXXXX CSFL: damage of the fovea ethmoidalis L		1		
8	XXXXXX red flush in endoscop	1			
9	XXXXXX intraoperative hypertension due to insufficient anaesthesia level	1			
10	XXXXXX fracture of lamina papyracea			1	
11	XXXXXX non successfull registration for instrument navigation	1			
12	XXXXXX massive fibrin postop				
13	XXXXXX wrong patients name in surgical dashboard	1			
14	XXXXXX Shaver blade is broken ex situ	1			
15	XXXXXX intraoperative hypertension due to insufficient anaesthesia level	1			
16	XXXXXX insufficient result at FEX		1		
17	XXXXXX wrong patients name in surgical dashboard	1			
18	XXXXXX non successfull registraion for instrument navigation	1			
19	XXXXXX SUM	10	4	0	56
20	XXXXXX RATE OF IRREGULAR EVENTS (IE)	17.86%	7.14%	0.00%	
21	16.01.2010				

Diese Angaben wurden mit dem bekannten wahren Wert verglichen.

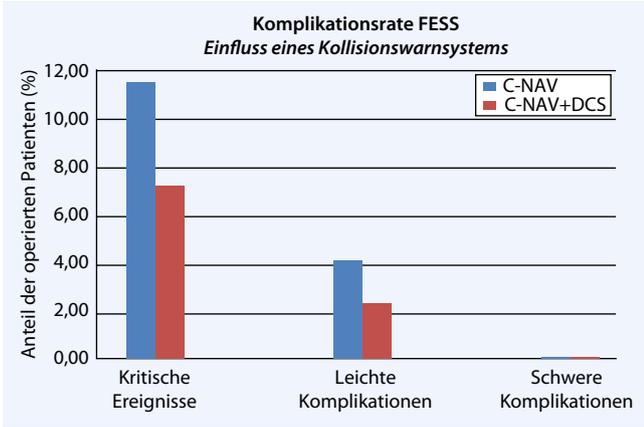
Jeder Proband musste an 3 unterschiedlichen Tagen die Messungen an den insgesamt 10 Punkten in beiden Siebbeinregionen wiederholen. Somit standen pro Messpunkt jeweils 3 Wertepaare (Messpunkt × 3 Messungen an unterschiedlichen Tagen) zur Auswertung zur Verfügung. Pro Risikostruktur standen 150 Wertepaare (10 Messpunkte × 3 Messungen × 5 Probanden), insgesamt 450 Wertepaare (150×3 Risikostrukturen) zur Analyse bereit. Die verfügbaren Daten wurden im Hinblick auf eventuelle Unterschiede in der Interpretation der verfügbaren Navigationsinformationen ausgewertet.

### Vergleich der klinischen Komplikationsrate

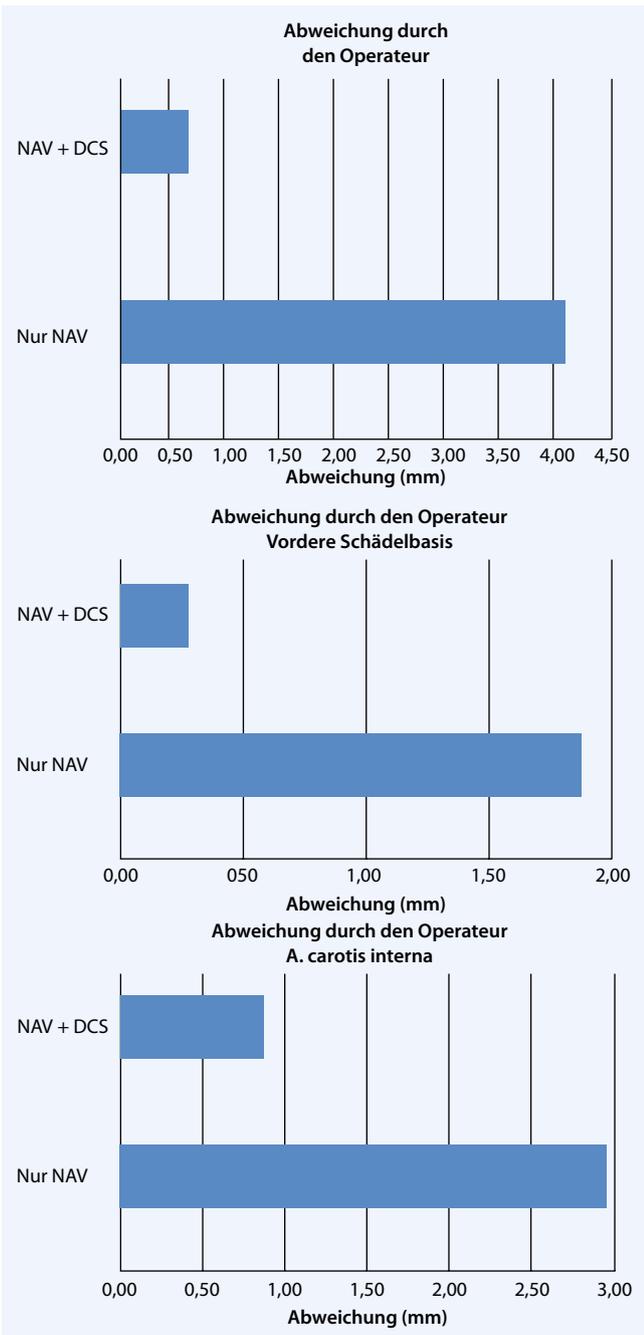
Um einen Einfluss auf den klinischen Verlauf zu untersuchen, erfolgte an insgesamt 104 FESS-Patienten eine prospektive Analyse der intraoperativen Komplikationen. Dazu wurden die Patienten in 2 Gruppen unterteilt: die Gruppe C-NAV mit 56 Patienten nutzte zur Op. ausschließlich ein

Navigationssystem zur Instrumentenavigation (Navigation Panel Unit Version 3.8.1, Fa. Karl Storz, Tuttlingen). Die Gruppe NAV+DCS verwendete an 48 Patienten zusätzlich die Funktion des Kollisionswarnsystems (Navigation Panel Unit ab Version 4.0.3, Fa. Karl Storz, Tuttlingen).

Der Schweregrad der Entzündung, die radiologische Ausprägung nach Lund Mackay und die Geschlechter waren zwischen beiden Gruppen nahezu gleichverteilt [6]. Bei allen Patienten in der Gruppe NAV+DCS wurden die Schädelbasis, die Lamina papyracea und die Keilbeinhöhlenhinterwand als Risikostruktur festgelegt und eingezeichnet. Die Operationen wurden von 4 HNO-Chirurgen mit großer bzw. sehr großer Erfahrung in der FESS durchgeführt. Zur Einteilung nach kritischen Ereignissen („critical incidents“, CI), leichten („complications“, CO) und schweren Komplikationen („loss of function“, LOF) diente die modifizierte WHO-Klassifikation (**Abb. 7**; [7]). Die unerwünschten Ereignisse wurden in einem Qualitätsreport (**Abb. 8**) unmittelbar postoperativ, 3 Tage, 3 Wo-



**Abb. 9** ▲ Vergleich der Komplikationsraten. Gruppe Instrumentenavigation (C-NAV) vs. Kollisionswarnsystem (C-NAV+DCS). C Komplikationen, NAV Navigation, DCS Kollisionswarnsystem, FESS endoskopische NNH-Eingriffe („functional endoscopic sinus surgery“)



**Abb. 10** ◀ Ergebnisse der vergleichenden Messung zur Situationsaufmerksamkeit in den Gruppen NAV und NAV-DCS für die 3 unterschiedlichen Risikostrukturen. NAV Navigation, DCS Kollisionswarnsystem

chen und 3 Monate nach Op. erfasst. Die kürzeste Follow-up-Zeit nach Op. betrug 87 Tage, die längste 208 Tage. Die Komplikationen wurden von 5 verschiedenen Ärzten erfasst, die mindestens über eine HNO-Erfahrung von 3 Jahren verfügten (■ **Abb. 9**).

### Effizienz des Einsatzes

Um zu beurteilen, wie effizient der Einsatz des Kollisionswarnsystems ist, wurde die Zeit protokolliert, die vom Chirurgen für die Segmentierung aufgewandt wurde. Diese Zeit wurde der Nutzungszeit der Navigation nach dem Workflowprotokoll gegenübergestellt und eine sog. „preparation/in-use ratio“, ein Vorbereitungs-Nutzungs-Verhältnis, gebildet. Die Nutzungszeit des Navigationssystems ist die kumulierte Zeit des Blicks des Chirurgen auf den Navigationsmonitor. Diese wurde durch die Videoaufnahmen der Domkamera nach der Op. ausgewertet.

### Ergebnisse

#### Situationsaufmerksamkeit

Die Abweichung des geschätzten Abstands der Instrumentenspitze zur Risikostruktur von der tatsächlichen Position zeigte signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen (■ **Tab. 1**, ■ **Abb. 10**). In der Gruppe NAV mit ausschließlicher Nutzung der Instrumentenavigation lag die durchschnittliche Abweichung des angegebenen Werts bei 4,2 (Standardabweichung, „standard deviation“, SD: 0,91) mm (Lamina papyracea); 1,9 (SD: 0,2) mm (vordere Schädelbasis) und 3,0 (SD: 0,49) mm (A. carotis interna). Die Gruppe NAV+DCS zeigte deutlich geringere Abweichungen von 1,31 (SD: 0,22) mm; 0,20 (SD: 0,10) mm und 0,82 (SD: 0,08) mm. Das entspricht einer Zunahme der Genauigkeit des durch den Chirurgen angegebenen Werts um durchschnittlich 76,6%.

#### Klinische Komplikationsrate

Bei der Auswertung der Komplikationen zeigte sich in der Gesamtübersicht der Komplikationen ein Vorteil für die Gruppe NAV+DCS (■ **Tab. 2**). Hier wurden

insgesamt 7% kritische Ereignisse (im Vergleich zu 11,3% in der Gruppe C-NAV) und 2,12 leichte Komplikationen (3,9% in Gruppe NAV) dokumentiert. Schwere Komplikationen traten in beiden Gruppen im Beobachtungszeitraum nicht auf. Bei der isolierten Betrachtung von Komplikationen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Schwierigkeiten bei der anatomischen Orientierung zurückzuführen sind (■ **Tab. 3**), wird dieser Unterschied noch deutlicher: 16,07% Komplikationsrate (inklusive kritischer Ereignisse) in der Gruppe C-NAV gegenüber 4,17% in der Gruppe NAV+DCS.

## Effizienz

Die notwendige Zeit für die Vorbereitung des Navigationssystems stieg bei der Anwendung des Kollisionswarnsystems (Gruppe NAV+DCS) um durchschnittlich 48% oder 1,2 min. Diese Zeit wurde für die Segmentierung der Risikostrukturen verwendet. Die Funktionalität „Navigation“ wurde in der Gruppe NAV+DCS deutlich häufiger während der Operationen genutzt als in der Gruppe NAV. Das Verhältnis zwischen Vorbereitungszeit und eigentlicher Nutzungsdauer betrug in der Gruppe NAV 138/258 s, in der Gruppe NAV+DCS 210/366 s. Damit war das relative Verhältnis zwischen beiden Zeiten mit 53,5% in Gruppe NAV und 57,4% in Gruppe NAV+DCS annähernd gleich (■ **Tab. 4**, ■ **Abb. 11**).

## Diskussion

Das automatische Kollisionswarnsystem hat die Erwartungen der vorliegenden Studie erfüllt.

## Situationsaufmerksamkeit verbessert

Es wurde nachgewiesen, dass mit Hilfe eines zusätzlichen Kollisionswarnsystems in der endonasalen Chirurgie das Bewusstsein über die augenblickliche Position im chirurgischen Situs gegenüber der Anwendung des einfachen Navigationssystems gesteigert werden kann. Die Annäherung an den tatsächlichen Wert des Abstands zur Risikostruktur stieg um durchschnittlich 76,6%. Dieses Ergebnis

**Tab. 1** Ergebnisse der vergleichenden Messungen zur Situationsaufmerksamkeit zwischen den Gruppen NAV und NAV+DCS

	Abweichung (mm)	SD (mm)	Abstand mit DCS (mm)	SD2 (mm)	Abstand mit CT-Messung (mm)
<b>Lamina papyracea</b>					
Nur NAV	4,20	0,91			8,10
NAV+DCS	1,31	0,22	9,00	0,15	8,10
<b>Vordere Schädelbasis</b>					
Nur NAV	1,90	0,20			2,00
NAV+DCS	0,20	0,10	1,55	0,12	2,00
<b>A. carotis interna</b>					
Nur NAV	3,00	0,49			5,25
NAV+DCS	0,82	0,08	5,00	0,12	5,25

NAV Navigation, DCS Kollisionswarnsystem, SD Standardabweichung, CT Computertomographie.

**Tab. 2** Vergleich der Komplikationen bei insgesamt 104 Patienten

	Kritische Ereignisse (%)	Leichte Komplikationen (%)	Schwere Komplikationen (%)
C-NAV	11,30	3,90	0,00
C-NAV+DCS	7,00	2,12	0,00

C Komplikationen, NAV Navigation, DCS Kollisionswarnsystem. In Gruppe C-NAV und Gruppe C-NAV+DCS nahezu Gleichverteilung der Fälle und des Schweregrads nach Lund Mackay.

**Tab. 3** Vergleich der Komplikationen (inklusive kritischer Ereignisse) zwischen den Gruppen C-NAV und C-NAV+DCS

Beschreibung	C-NAV	C-NAV+DCS
Liquorleckage	1	0
Orbitalhämatom	2	0
Verletzung der A. ethmoidalis	1	0
Verletzung der A. sphenopalatina	1	1
Frühes Polyprezidiv	3	1
Massive Verkrustung	1	0
<b>Komplikationen insgesamt</b>	<b>9</b>	<b>2</b>
<b>Fälle insgesamt</b>	<b>56</b>	<b>48</b>
<b>Risikoindex (%)</b>	<b>16,07</b>	<b>4,17</b>

C Komplikationen, NAV Navigation, DCS Kollisionswarnsystem.

**Tab. 4** Vorbereitungs- und Nutzungszeiten des Navigationssystems

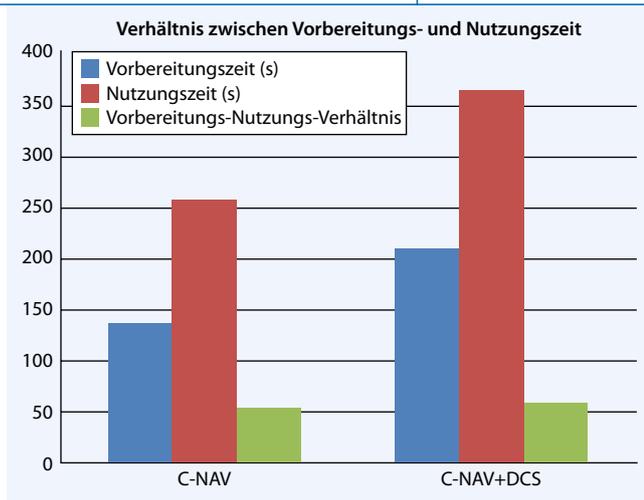
	Vorbereitungszeit (s)	Nutzungszeit (s)	Vorbereitungs-Nutzungs-Verhältnis (%)
C-NAV	138	258	53,5
C-NAV+DCS	210	366	57,4

ist beachtenswert, da die einfache Instrumentennavigation bislang als der Goldstandard für dieses Qualitätskriterium von chirurgischen Orientierungshilfen gilt [8, 9].

## Mensch-Maschine-Schnittstelle verbessert

Die relativ hohe Abweichung des geschätzten Abstands von der Risikostruktur

bei ausschließlicher Verwendung des Navigationssystems (Gruppe NAV) kann auch bedeuten, dass die Interpretationsleistung des Operateurs einen wesentlichen Einfluss auf die resultierende Genauigkeit des Navigationssystems hat. Dies lässt die Vermutung zu, dass selbst bei einer sehr hohen Genauigkeit der Instrumentennavigation die Interpretation der angezeigten Ergebnisse selbst eine bemerkenswerte Fehlerquelle darstellt.



**Abb. 11** ▶ Verhältnis zwischen Vorbereitungs- und Nutzungszeit des Navigationssystems ohne und mit Kollisionssystem (DCS)

Die Verbesserung der Übereinstimmung des angenommenen von dem tatsächlichen Abstand ist mit hoher Wahrscheinlichkeit allein auf die bessere Darstellung dieses Parameters in Form eines Zahlenwerts zurückzuführen. Möglicherweise bedeutet deshalb die zusätzliche numerische Anzeige des Abstands der Instrumentenspitze zur präoperativ gewählten Risikostruktur (Gruppe NAV+DCS) einen Beitrag zur Erhöhung der resultierenden Gesamtgenauigkeit. Ein systematischer Einfluss der Registrier- oder Messgenauigkeit des Navigationssystems kann aufgrund der diesbezüglich identischen Bedingungen des Versuchsaufbaus ausgeschlossen werden. Sowohl das verwendete Navigationssystem als auch die navigierten Instrumente und die Registrieralgorithmen stimmten in beiden Gruppen überein.

### Höhere effektive Genauigkeit in Bezug auf Risikostrukturen

Die vorliegende Arbeit zeigte ein durchschnittliches Abweichen der errechneten Abstände des DCS vom tatsächlichen Abstand zur Risikostruktur von 0,53 mm (Differenz zwischen angenommenem und wahren Wert). Dieser Wert setzt sich aus mehreren Fehlerquellen zusammen und spiegelt nicht allein den chirurgischen Registrierfehler wider. In jedem Fall kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die erreichbare chirurgische Genauigkeit des Navigationssystems plus Kollisionssystem nicht schlechter als ohne diese Erweiterung ist.

### Geringere intra- und postoperative Komplikationen

Die dokumentierten Komplikationsraten an 104 Patienten entsprachen den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen anderer Gruppen [10, 11, 12]. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen NAV und NAV+DCS ist mit 39% in der Kategorie der kritischen Ereignisse und 45% in der Kategorie der leichten Komplikationen signifikant (■ Tab. 2). Aufgrund der relativ geringen Anzahl von 104 in die Studie eingeschlossenen Patienten kann das Ergebnis noch nicht verallgemeinert werden. Es sollte jedoch Anlass für weiterführende, multizentrische Untersuchungen sein.

### Effizienter Einsatz des Kollisionssystems

Insgesamt betrug der Unterschied der kumulierten Nutzzeit der Navigation +41,9% oder 1,8 min mehr in der Gruppe NAV+DCS als in der Gruppe NAV. Daraus könnte eine höhere Akzeptanz des Navigationssystems mit Kollisionssystem geschlossen werden. Probleme mit der Bedienung des Navigationssystems können dagegen nahezu ausgeschlossen werden, da die Benutzer die (ohnehin kurze) Lernkurve vor dieser Studie bereits absolviert hatten und in den Studienprotokollen diese Frage verneint wurde.

Vorausgesetzt, die längere kumulierte Nutzdauer kann als Indikator für einen verbesserten klinischen Nutzen gewertet werden, kann die nahezu unveränder-

te Relation zwischen Vorbereitungs- und Nutzungszeit („preparation/in-use ratio“) von 53,5 und 57,4 als Beleg für die Effizienz des Kollisionssystems dienen.

Zusatzkosten für die Anschaffung des Systems fallen nach Kenntnis der Autoren nicht an, da die Funktion im Umfang eines kostenfreien Software-Upgrades enthalten ist.

### Fazit für die Praxis

- Mit Hilfe einer zusätzlichen Abstandsanzeige und einer Warnsystematik sollten die Einflüsse der Instrumentennavigation auf die chirurgischen Leistungsparameter Situationsaufmerksamkeit, Komplikationsrate und Nutzungseffizienz verbessert werden.
- In Zusammenschau aller vorliegenden Ergebnisse belegt diese Arbeit den klinischen Nutzen und die Effizienz eines zusätzlichen Kollisionssystems als Ergänzung für die bekannte Instrumentennavigation in der endo- und transnasalen Chirurgie.
- Die Autoren setzen das Verfahren inzwischen regelmäßig bei allen Eingriffen mit Navigationsunterstützung (bis 31.05.2010 insgesamt 110 Patienten) ein.
- Die verwendete Segmentierung eignet sich trotz (oder wegen) der einfachen Funktionsweise für die klinischen Anforderungen der bekannten Risikostrukturen.
- Die Kombination des Systems mit der Audioanlage des OPs verbessert nochmals die Situationsaufmerksamkeit.
- Nach Überzeugung der Autoren kann die Funktion der Kollisionswarnung in die tägliche Routine der Instrumentennavigation in der HNO-Chirurgie Einzug halten – mit Aussicht auf Erfolg.

## Korrespondenzadresse

### PD Dr. G. Strauß

Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/  
Plastische Operationen, Universität Leipzig  
Liebigstraße 10-14, 04103 Leipzig  
Gero.Strauss@medizin.uni-leipzig.de

### T.C. Lüth

Lehrstuhl für Mikro- und Medizingerätetechnik  
(MiMed), Technische Universität München  
Bolzmannstraße 15, 85748 München  
Tim.Lueth@tum.de

**Interessenkonflikt.** Zwischen Professor Lüth, der Fa. ErgoSurg Ismaning und der Fa. Karl Storz GmbH & Co. KG Tuttlingen, besteht ein wirtschaftliches Verhältnis zur Herstellung eines Navigationssystems. Es bestehen keine anderen wirtschaftlichen Beziehungen der anderen Autoren mit den Herstellern der beschriebenen medizintechnischen Geräte oder Systeme. Diese Arbeit wird durch Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (ICCAS) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt. Die Fa. Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, stellte die chirurgischen Systeme und technische Unterstützung zur Verfügung.

## Literatur

1. Caversaccio; Freysinger (2003) Computer assistance for intraoperative navigation in ENT surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 12:36–51
2. Ma R, Kaber DB (2007) Situation awareness and driving performance in a simulated navigation task. *Ergonomics* 50:1351–1364
3. Manzey D, Rottger S, Bahner-Heyne JE et al (2009) Image-guided navigation: the surgeon's perspective on performance consequences and human factors issues. *Int J Med Robot* 5:297–308
4. Lapeer R, Chen MS, Gonzalez G et al (2008) Image-enhanced surgical navigation for endoscopic sinus surgery: evaluating calibration, registration and tracking. *Int J Med Robot* 4:32–45
5. Strauss G, Spitzer C, Dittrich E et al (2009) Ein modifiziertes Verfahren zur bissschienenbasierten Patientenregistrierung für die HNO-Navigation. *HNO* 57:153–159
6. Mace JC, Michael YL, Carlson NE et al (2010) Correlations between endoscopy score and quality of life changes after sinus surgery. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 136:340–346
7. Wilson I, Walker I (2009) The WHO surgical safety checklist: the evidence. *J Perioper Pract* 19:362–364
8. Strauss G, Koulechov K, Rottger S et al (2006) Evaluation of a navigation system for ENT with surgical efficiency criteria. *Laryngoscope* 116:564–572
9. Strauss G, Meixensberger J, Dietz A, Manzey D (2007) Automation in der HNO-Chirurgie. *Laryngorhinootologie* 86:256–262
10. Cumberworth VL, Sudderick RM, Mackay IS (1994) Major complications of functional endoscopic sinus surgery. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 19:248–253
11. Hebert RL 2nd, Bent JP 3rd (1998) Meta-analysis of outcomes of pediatric functional endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope* 108:796–799
12. Mehrzad H, Irvine M, Kundu S, Bleach N (2007) A 5-year audit of rhinology procedures carried out in a district general hospital. *Ann R Coll Surg Engl* 89:804–807

# Hier steht eine Anzeige.

