

Aus der Klinik für Neurochirurgie
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. mult. Mario Brock

Habilitationsschrift

**SENSOR-BASIERTE ELEKTROMAGNETISCHE
NAVIGATION IN DER KRANIELLEN
NEUROCHIRURGIE**

zur Erlangung der Venia legendi
für das Fach

NEUROCHIRURGIE

vorgelegt von
Dr. med. Olaf Süß
eingereicht im Mai 2006

Dekan: Prof. Dr. med. M. Paul
1. Gutachter: Prof. Dr. med. V. Rohde/Göttingen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Ch. Strauss/Halle, Saale

Gedruckt mit Genehmigung der Charité-Universitätsmedizin Berlin,
Campus Benjamin Franklin

Datum der Habilitation: 22. Januar 2007

1	Einleitung.....	3
2	Positionsbestimmung im Raum: Was ist Navigation?.....	6
3	Sensor-basierte elektromagnetische Navigation: Grundlagen.....	11
3.1	Hard- und Software.....	12
3.1.1	Basiskomponenten und PC Arbeitsstation.....	12
3.1.2	Elektromagnetisches Positionsmess-System.....	13
3.1.3	Sensor und Stylus.....	15
3.2	Vorbereitung der Navigation.....	16
3.2.1	Auswahl des Schnittbildverfahrens.....	17
3.2.2	Künstliche Landmarken.....	18
3.2.3	Erstellung des Bilddatensatzes.....	19
3.2.4	Bilddatentransfer.....	20
3.2.5	Bilddatenbearbeitung und Erstellung des Navigations-Plans.....	21
3.3	Intraoperativer Ablauf.....	22
3.3.1	Einrichten des Navigations-Systems im Operationssaal.....	23
3.3.2	Bilddatenregistrierung.....	24
3.3.2.1	Navigation mit starrer Kopffixierung.....	25
3.3.2.2	Navigation mit dynamischer Schädelreferenzierung.....	26
3.3.3	Kontrolle der Applikationsgenauigkeit.....	29
3.3.3.1	Genauigkeit der Bilddaten.....	30
3.3.3.2	Systemgenauigkeit.....	30
3.3.3.3	Registrierungsgenauigkeit.....	31
3.3.3.3.1	Fiducial Localization Error (FLE).....	31
3.3.3.3.2	Fiducial Registration Error (FRE).....	32
3.3.3.3.3	Target Registration Error (TRE).....	32
3.3.3.4	Intraoperative Positionsgenauigkeit	33
3.3.4	Start des Navigationsmodus.....	35
4	Sensor-basierte elektromagnetische Navigation: Klinische Anwendung.....	37
4.1	Patienten.....	38
4.2	Diagnosen.....	39
4.3	Einsatzgebiete und Indikationen.....	41
4.3.1	Bestimmung des Zielpunktes und des Zugangsweges.....	43
4.3.2	Bestimmung des Resektionsausmaßes.....	53
4.3.3	Navigations-geführte Biopsien.....	61
4.3.4	Transspenoidale / Transnasale Zugänge.....	70
4.3.5	Eingriffe an der Schädelbasis und am Neurokranium.....	79
4.3.6	Funktionelle Neuronavigation.....	87
4.3.7	Navigation bei Wachoperationen.....	97

5	Diskussion.....	108
5.1	Vom Röntgenbild zum Operationsroboter: Navigationstechniken in der Neurochirurgie.....	109
5.2	Sensor-basierte elektromagnetische Navigation: Pro und Kontra.....	122
5.3	Einsatzgebiete und Indikationen.....	128
5.4	Probleme, Fehlerquellen und Genauigkeiten.....	145
5.5	Ausblick.....	157
6	Schlussfolgerungen.....	160
7	Technische Begriffe und Abkürzungen.....	164
8	Literaturverzeichnis.....	167
9	Anhang.....	185
	• Patienteninformation (zu Kapitel 4.1).....	186
	• Patienteneinverständniserklärung (zu Kapitel 4.1)	188
	• Erklärung zum Datenschutz (zu Kapitel 4.1)	189
	• Statistische Ergebnisse zu den Klinischen Anwendungen (zu Kapitel 4.3)	190
	• Legende zu den Navigationsprotokollen (zu Kapitel 4.3)	191
10	Danksagung.....	193

5 Diskussion

- 5.1 Vom Röntgenbild zum Operationsroboter:
Navigationstechniken in der Neurochirurgie
- 5.2 Sensor-basierte elektromagnetische Navigation: Pro und Kontra
- 5.3 Die Kombination der sensor-basierten Navigation mit intraoperativen
neurophysiologischen Untersuchungstechniken
- 5.4 Probleme, Fehlerquellen und Genauigkeiten
- 5.5 Ausblick

6 Schlussfolgerungen

7 Technische Begriffe und Abkürzungen

8 Literaturverzeichnis

9 Anhang

- Patienteninformation - Seite 1 und 2 (zu Kapitel 4.1)
- Patienteneinverständniserklärung (zu Kapitel 4.1)
- Erklärung zum Datenschutz (zu Kapitel 4.1)
- Statistische Ergebnisse zu den Klinischen Anwendungen (zu Kapitel 4.3)
- Legende zu den Navigationsprotokollen (zu Kapitel 4.3)

10 Danksagung

10 Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn *Prof. Dr. med. Dr. h.c. mult. Mario Brock*, Direktor der Neurochirurgischen Klinik der Charité-Universitätsmedizin Berlin, meinem Lehrer und Förderer, für die mir entgegengebrachte fachliche und persönliche Unterstützung. Ebenso möchte ich mich bei ihm für den jederzeit zur Verfügung gestellten und dennoch wohlwollend überwachten Freiraum bedanken, der es mir ermöglichte die eigenen Vorstellungen und Projekte umsetzen zu können.

Meinem Kollegen und Freund, Herrn *PD Dr. med. Theodoros Kombos* bin ich nicht erst seit meiner durch ihn mühevoll betreuten Doktorarbeit im Jahre 1999 sehr verbunden. Seine unersetzbare und wertvolle Unterstützung auch in den Folgejahren eröffnete erst den Weg zur Habilitation.

Den Mitgliedern und Doktoranden der Arbeitsgruppen „Neuronavigation“ und „Neuromonitoring“, Frau *Dr. med. D. Wachter*, Herrn *B. Kühn*, Herrn *S.O. Mularski* und Herrn *Dr. med. Th. Picht* danke ich für die engagierte und freundschaftliche Hilfe bei der Durchführung der Untersuchungen sowie für die jederzeit kritische Diskussion der Projekte und Ergebnisse.

Des weiteren möchte ich mich herzlich bei allen *Kolleginnen und Kollegen der Neurochirurgischen Klinik der Charité am Campus Benjamin Franklin*, dem *Pflegepersonal des Neurochirurgischen OPs und der Neurochirurgischen Station 014* sowie den *ärztlichen und nicht-ärztlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Radiologischen und Anästhesiologischen Kliniken des CBF* für ihre hilfreiche Unterstützung bei der Realisierung der einzelnen Projekte, ihr Verständnis und die vielen wertvollen Hinweise bedanken, welche zu einer stetigen Verbesserung der Technik führten.

Zu besonderem Dank bin ich Herrn *Dr. S. Schönherr* und Herrn *U. Warschewske* verpflichtet, ohne deren technisches Wissen und deren uneingeschränkte Unterstützung eine klinische Anwendung der beschriebenen Sensortechnik nicht möglich gewesen wäre. In diesem Zusammenhang möchte ich

es nicht versäumen, Herrn *Dr. med. Th. Hoell* zu erwähnen und zu danken, der noch vor meinem Arbeitsbeginn in der Neurochirurgischen Klinik des CBF im Jahre 1996 die Grundlagen für die klinische Entwicklung der sensor-basierten Navigation legte. Sie haben mir den Start in dieses hoch interessante Gebiet der Medizintechnik unsagbar vereinfacht.

Die zu dieser Arbeit notwendige Energie verdanke ich meiner Familie, insbesondere meiner Ehefrau *Dr. med. Silke Süß*. Ihr gebührt mein tiefer Dank für ihre Geduld, ihre aufmunternde Unterstützung und nicht zuletzt ihre umsichtigen Korrekturen der Arbeit in Sprache und Form.

ERKLÄRUNG

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, **Dr. med. Olaf Süß** (geb. am 06.10.1969 in Leverkusen), daß

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wird bzw. wurde,
- welchen Ausgang ein durchgeführtes Habilitationsverfahren hatte,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfaßt, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden.
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

*Ohne Originalunterschrift, da
elektronisches Dokument.*

Berlin, den....**09.05.2006**.....

.....
(Dr. med. Olaf Süß)