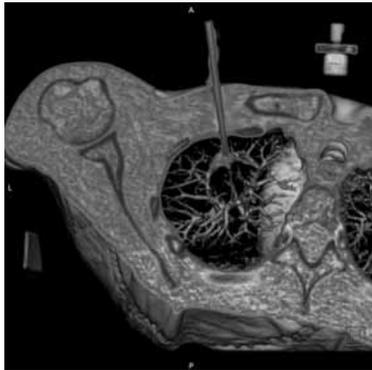


Aus dem
Institut für Medizinische Physik
Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. W. A. Kalender

Bildbasierte, computerunterstützte Navigation für die interventionelle Radiologie



Inaugural–Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg
(Dr. rer. biol. hum.)

vorgelegt von
Markus Nagel
aus Nürnberg



**Gedruckt mit Erlaubnis der
Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**

- Dekan:** Prof. Dr. B. Fleckenstein
- Referent:** Prof. Dr. W. A. Kalender
Institut für Medizinische Physik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- 1. Korreferent:** Prof. Dr. G. Greiner
Lehrstuhl für Graphische Datenverarbeitung
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- 2. Korreferent:** Prof. Dr. W. Bautz
Radiologisches Institut
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Tag der mündlichen Prüfung:** 01.02.2006

Berichte aus dem Institut für Medizinische Physik
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Band 17

Dr. Markus Nagel

**Bildbasierte, computerunterstützte
Navigation für die Radiologie**

D29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2007

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6795-7

ISSN 1616-0142

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

**Bei der Eroberung des Weltraums sind zwei Probleme zu lösen:
die Schwerkraft und der Papierkrieg.
Mit der Schwerkraft wären wir fertig geworden.**

*(Wernher von Braun (23.03.1912 - 16.06.1977)
dt. - US-amerik. Raketenforscher und -Ingenieur)*

Für meine Eltern Gabriele und Heinz Nagel

Vorwort des Herausgebers

Bildgestützte bzw. bildgeführte Eingriffe am Patienten, d.h. diagnostische und therapeutische Interventionen, die direkt auf der Basis von 3D-Bilddatensätzen durchgeführt werden, erlangen aktuell immer größere Bedeutung. Sie ermöglichen jeweils, den Zielpunkt und den Zugangsweg für die Intervention, z.B. die Entnahme einer Gewebeprobe, genau und für den Patienten schonend zu planen. Die Umsetzung erfolgte allerdings bisher meist ohne technische Unterstützung.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, dem Untersucher oder Therapeuten eine Führungshilfe, ein "Navigationssystem", an die Hand zu geben. Die Analogie zu Navigationssystemen in modernen Kraftfahrzeugen ist dabei gegeben. Es waren aber viele Fragen der praktischen Umsetzung, der erreichbaren Genauigkeit, der Kosten etc. offen. Die vorliegende Dissertation von Markus Nagel bietet für den Einsatz von optischer Navigationstechnologie im Bereich der interventionellen Radiologie gute Antworten. Der Erfolg ist inzwischen auch dadurch belegt, dass das in seiner Arbeit vorgestellte Navigationssystem und das Nachfolgesystem mit elektromagnetischem Tracking heute bereits zertifizierte Medizinprodukte sind.

Der Einsatz von Navigationssystemen im Bereich der interventionellen Radiologie war bisher eher als experimentell anzusehen. Er erfreut sich wachsenden Interesses. Seit der Fertigstellung der vorliegenden Arbeit im Januar 2006 hat sich die Anzahl der klinischen Fälle deutlich erhöht und ebenso das Interesse der medizintechnischen Industrie. Es ist zu erwarten, dass das gesamte Feld weiter wachsen wird und die Eingriffe mit Navigationshilfe zu höherer Ergebnisqualität, größerer Patientensicherheit und niedrigerer Dosis für Patient und Untersucher führen werden.

Willi A. Kalender, PhD

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Medizinischer Hintergrund	3
2.1 Biopsien von Kopf bis Fuß	3
2.2 Periradikuläre Therapie	4
2.3 Vertebroplastie	5
2.4 Klinischer Workflow	5
2.5 Alternative Zielvorrichtungen für Interventionen	6
3. Computerunterstützte Chirurgie: Grundlagen und Stand der Technik	9
3.1 Anforderungen an computerunterstützte Navigationssysteme	11
3.2 Trackingsysteme	13
3.2.1 Optische Trackingsysteme	14
3.2.2 Elektromagnetische Trackingsysteme	16
3.3 Patienten-zu-Bild-Registrierung	18
3.3.1 Mathematische Grundlagen der Registrierung	18
3.3.2 Bestimmung der Registrierungspunkte	19
3.4 Stand der Technik	22
3.4.1 Computerunterstützte Interventionen in der Medizin	22
3.4.2 Computerunterstützte Interventionen im Bereich der IR	23
3.4.3 Roboterunterstützte Intervention in der Medizin	24
3.4.4 Roboterunterstützte Interventionen im Bereich der IR	25
3.5 Zusammenfassung und Diskussion	25
4. Entw. von Verfahren zur Minim. und Überwa. von Patientenbewegungen	27
4.1 Hintergrund und Problematik	27
4.2 Patientenfixierung mit einem Doppel-Vakuum-System	29

4.3	Material und Methoden	31
4.3.1	Trackingsystem und verwendete Komponenten	31
4.3.2	PC und Software	32
4.3.3	Versuchsaufbau	33
4.4	Ergebnis	37
4.4.1	Ergebnis: Atmungskurven	37
4.4.2	Ergebnis: Bewegungsminimierung	38
4.4.3	Ergebnis: Interne Bewegung	38
4.5	Zusammenfassung und Diskussion	39
5.	Entwicklung und Evaluierung einer Navigationsstation für die IR	43
5.1	Einführung	43
5.2	Material und Methoden	43
5.2.1	Systemübersicht und Systemarchitektur	43
5.2.2	Kommunikationsarchitektur	45
5.2.3	Kalibrierungs- und Evaluierungssoftware	46
5.2.4	Navigationskomponenten	49
5.2.5	Einmessen der Nadel	51
5.2.6	Graphisches User Interface (GUI)	52
5.2.7	Einbindung von CAPPa IRAD in den klinischen Workflow	53
5.3	Analyse und Evaluierung des CAPPa IRAD Systems	54
5.3.1	Bestimmung der technischen Genauigkeit	57
5.3.2	Bestimmung der Nadelpositionierungsgenauigkeit (Labor)	59
5.3.3	Bestimmung der Nadelpositionierungsgenauigkeit (Klinik)	63
5.4	Zusammenfassung und Diskussion	68
6.	Zusammenfassung	71
	Abkürzungen	73
	Literatur	74
	Danksagung	85