

Inhaltsverzeichnis

I	Grundlagen	1	4.8	Bewertung von Registrierungsverfahren	107
			4.9	Praktische Aspekte der Entwicklung von	
				Registrierungsverfahren	114
1	Bildgebung für computergestützte		4.10	Diskussion	116
	Operationen und Interventionen				
	Bernhard Preim und Georg Rose	3			
1.1	Einleitung	3	5	Computerassistierte Chirurgieplanung	
1.2	Übersicht über digitale		5.1	Stefan Zachow, Horst Hahn und Thomas Lange ..	119
	medizinische Bilddaten	4	5.2	Planung chirurgischer Eingriffe	119
1.3	Operationsplanung auf Basis			Computerassistierte Planung in	
	medizinischer Bilddaten	11	5.3	der Chirurgie	120
1.4	Intraoperative Bildgebung	12	5.4	Typische chirurgische Planungsaufgaben	129
1.5	Zusammenfassung	15	5.5	Bewertungskriterien für Planungssysteme ...	144
				Resümee und Ausblick	146
2	Visualisierung		6	Simulatoren für die Ausbildung	
	Peter Hastreiter, Dirk Bartzf und			Matthias Harders und Gábor Székely	151
	Bernhard Preim	17	6.1	Motivation	151
2.1	2D-Visualisierung	18	6.2	Struktur von Simulationssystemen	152
2.2	Direkte Volumenvisualisierung	20	6.3	Simulatoren: Überblick	157
2.3	Indirekte Volumenvisualisierung	27	6.4	Diskussion	159
2.4	Virtuelle Endoskopie	35			
2.5	Visualisierung von DT-MRT-Daten	41	7	Das Konzept der Navigation	
2.6	Gefäßvisualisierung	47		Dirk Mucha, Bartosz Kosmecki und	
2.7	Virtuelle und erweiterte Realität	52		Timo Krüger	163
2.8	Zusammenfassung	57	7.1	Geschichte der klinischen Navigation	163
			7.2	Grundlagen der Navigation	164
3	Bildsegmentierung		7.3	Anforderungen an Navigationssysteme	169
	Hans Lamecker und Tobias Heimann	63	7.4	Konzepte zur Erfüllung der Anforderungen ..	170
3.1	Einleitung	63	7.5	Grenzen und Fehlerquellen der Navigation ..	173
3.2	Pixelbasierte Verfahren	65	7.6	Zusammenfassung und Überleitung zu den	
3.3	Kantenbasierte Verfahren	66		speziellen Navigationskapiteln	174
3.4	Regionenbasierte Verfahren	68			
3.5	Modellbasierte Verfahren	71	8	Lokalisierungssysteme	
3.6	Praktische Aspekte der Entwicklung			Wolfgang Birkfellner	177
	von Segmentierungsverfahren	76	8.1	Einführung	177
3.7	Evaluation der Genauigkeit	80	8.2	Grundlagen der	
3.8	Diskussion	81		Positionsbestimmung im Raum	178
4	Bildregistrierung		8.3	Trackingtechnologien	178
	Nils Papenberg, Thomas Lange,		8.4	Charakteristika optischer Trackingsysteme ..	181
	Stefan Heldmann und Bernd Fischer	85	8.5	Charakteristika elektromagnetischer	
4.1	Einleitung	85		Trackingsysteme	184
4.2	Grundlagen der Registrierung	88	8.6	Tracking mithilfe von	
4.3	Registrierung mittels Merkmalen	93		Bildgebungsmodalitäten	186
4.4	Distanzmaße für intensitätsbasierte		8.7	Instrumentenkalibrierung	186
	Registrierung	97	8.8	Trackergenauigkeit: Verfahren	
4.5	Rigide intensitätsbasierte Verfahren	99		und limitierende Faktoren	187
4.6	Nichtrigide intensitätsbasierte		8.9	Medizinische Anwendungen von	
	Registrierung	100		Trackern außerhalb der Chirurgie	188
4.7	Integration von Vorwissen	105			

9	Bild-zu-Patient-Registrierung	13	Navigated Control: Leistungsregelung chirurgischer Instrumente
	Georg Eggers	191	Andreas Hein, Mario Strauß und Tim Lüth
9.1	Rahmenlose Stereotaxie	191	13.1 Einführung und Motivation
9.2	Punktbasierte Registrierung (Paired-Point-Registrierung)	191	13.2 Klinische Problemstellung
9.3	Oberflächenbasierte Registrierung (Surface Matching)	194	13.3 Ansatz und Prinzip
9.4	Registrierung bei intraoperativer Bildgebung	197	13.4 Benutzungsablauf
9.5	Automatisierung der Registrierung	198	13.5 Klinischer Nutzen
9.6	Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Registrierung	198	13.6 Klärung grundlegender Missverständnisse
9.7	Verbesserung der Genauigkeit	202	13.7 Anwendungsgebiete
9.8	Klinische Kriterien für die Auswahl des Bildgebungs- und Registrierungsverfahrens	202	13.8 Ausblick
10	Typen von Navigationssystemen	14	Roboterassistierte minimal-invasive Chirurgie
	Sebastian Eulenstein und Peter M. Schlag	207	Tobias Ortmaier
10.1	Einleitung	207	14.1 Die manuelle minimal-invasive Chirurgie
10.2	Präoperative 3D-Bildgebung	207	14.2 Telepräsenz in der Chirurgie
10.3	Intraoperative 2D-Bildgebung	209	14.3 Vergleich zwischen Roboter und Mensch
10.4	Intraoperative 3D-Bildgebung	210	14.4 Technische Ausprägung der robotergestützten MIC
10.5	Bildfreie Navigation	212	14.5 Zusammenfassung und Ausblick
10.6	Zusammenfassung	212	15 Aktive Navigation durch magnetische Kathetersteuerung
11	Technische Bewertung von Navigationssystemen	15.1	Carlo Pappone und Vincenzo Santinelli
	Thomas Lange und Peter M. Schlag	215	15.1 Einführung
11.1	Einleitung	215	15.2 Klinische Motivation und klinischer Hintergrund
11.2	Genauigkeit	216	15.3 Magnetische Navigationstechnologie
11.3	Effizienz, Aufwand und Kosten	222	15.4 Magnetkatheter
11.4	Zuverlässigkeit und Sicherheit	222	15.5 Ablauf der magnetischen Navigation
11.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	223	15.6 Mapping- und Ablationsprotokoll
12	Autonome und interaktive Medizinroboter	15.7	Vorteile des magnetischen Systems
	Jürgen Wahrburg, Stephanie Sahn, Dominik Scarpin, Marc Schlimbach und Hans-Christian Schneider	225	15.8 Limitationen des magnetischen Systems
12.1	Begriffsbestimmung	226	15.9 Erwartungen an künftige Entwicklungen
12.2	Wesentliche Aspekte bei der Beschreibung aktiver Assistenzsysteme	227	16 Robotiksysteme für die Radiochirurgie
12.3	Konzepte für Assistenzroboter	231	Alexander Schlaefer und Achim Schweikard
12.4	Kombination von Navigationssystem und Roboter	235	16.1 Einleitung
12.5	Wesentliche Schritte bei der Planung und Ausführung eines CAS-Eingriffs mit Assistenzroboter	244	16.2 Aufbau und Funktionsweise des CyberKnife-Systems
12.6	Mensch-Maschine-Schnittstelle	249	16.3 Computerassistierte Behandlungsplanung und Kollisionsvermeidung
12.7	Diskussion praxisrelevanter Aspekte anhand typischer Anwendungen	252	16.4 Bildgestützte Navigation
			16.5 Kompensation von Atembewegungen
			17 Analyse und Beschreibung chirurgischer Workflows
			Oliver Burgert und Thomas Neumuth
			17.1 Einleitung
			17.2 Begrifflichkeiten und Definitionen
			17.3 Chirurgische Prozessanalyse

17.4	Anwendungsbeispiele	308	22.3	Anforderungen an aktive Assistenzsysteme im Operationssaal	355
17.5	Zusammenfassung und Ausblick	310	22.4	Zusammenfassung	356
18	Integration von Informationen und CAS-Systemen mit einem Therapy Imaging and Model Management System (TIMMS)		23	Multimodale Bildgebung und Navigation in der Neurochirurgie	
	Heinz U. Lemke und Leonard Berliner	311		Dirk Winkler und Jürgen Meixensberger	359
18.1	Einführung	311	23.1	Einleitung	359
18.2	Konzepte und Werkzeuge für die Patientenmodellierung	313	23.2	Präoperative Visualisierung und Operationsplanung	360
18.3	Modellgestützte Therapie mit der IT-Infrastruktur TIMMS	315	23.3	Bildgebungstechniken für die Neurochirurgie	361
18.4	Klinische Anwendungen	320	23.4	Multimodale Bildgebung und Navigation in einzelnen Einsatzgebieten	364
18.5	Fazit und Ausblick	321	23.5	Diskussion und Ausblick	372
19	Bewertung der Mensch-Maschine- Interaktion		24	Intraoperative MRT-Bildgebung und multimodale Navigation in der Neuro- chirurgie	
	Werner Korb und Pierre Jannin	323		Christopher Nimsky und Oliver Ganslandt	377
19.1	Einleitung	323	24.1	Einleitung	377
19.2	Bewertung von Geräten in der computerassistierten Chirurgie	323	24.2	Intraoperative Niederfeld-MRT-Bildgebung (0,2 T)	378
19.3	Diskussion	330	24.3	Intraoperative Hochfeld-MRT-Bildgebung (1,5 T)	378
II	Klinische Anwendungen	333	24.4	Multimodale Navigation	381
20	Navigationstypen in der Unfallchirurgie und Orthopädie		24.5	Alternative intraoperative Bildgebungsmodalitäten	382
	Markus Oszwald, Musa Citak, Tobias Hüfner und Christian Krettek	335	24.6	Diskussion	383
20.1	Einleitung	335	25	Intraoperativer Ultraschall in der Neurochirurgie	
20.2	Grundlagen	336		Dirk Lindner und Jürgen Meixensberger	387
20.3	Navigationstypen nach unterschiedlichen bildgebenden Modalitäten	337	25.1	Brain-Shift und Neuronavigation	387
20.4	Ausblick	342	25.2	Intraoperativer 2D-Ultraschall	387
21	Navigierte klinische Anwendungen in der Unfallchirurgie und Orthopädie		25.3	Navigierter intraoperativer 3D-Ultraschall ...	388
	Markus Oszwald, Daniel Kendoff, Tobias Hüfner und Christian Krettek	345	25.4	Navigierter 3D-Ultraschall bei Hirntumoren	390
21.1	Hüft-TEP-Navigation	345	25.5	Intraoperative kontrastverstärkte Ultraschall- angiographie (iUSA) in der vaskulären Neurochirurgie	391
21.2	Knie-TEP-Navigation	346	25.6	Integration in den Operationssaal und zukünftige technische Entwicklungen	394
21.3	Tibiale Osteotomien	348	26	Virtuelle Trainingssysteme in der Neuro- chirurgie und die Bedeutung der Haptik	
21.4	Tumorsektionen	349		Christos Trantakis, Jens Adermann und Jürgen Meixensberger	397
21.5	Wirbelsäule	350	26.1	Einleitung	397
21.6	Traumatologische Applikationen	350	26.2	Operative Ausbildung und Lernkurve	397
22	Aktive Assistenzsysteme in der Unfallchirurgie und Orthopädie				
	Markus Oszwald und Thomas Gösling	353			
22.1	Einleitung	353			
22.2	Technische Entwicklung im Bereich der Unfallchirurgie und Orthopädie	354			

26.3	Anforderungen an ein virtuelles Trainingssystem	398	31	Gesichtsschädelrekonstruktion	
26.4	Medizinische VR-Simulatoren	398		Alexander Schramm, Nils-Claudius Gellrich und Rainer Schmelzeisen	437
26.5	Chirurgische VR-Simulatoren	399	31.1	Einleitung	437
26.6	Verwendung von haptischem Force-Feedback	400	31.2	Computerbasierte Planung	437
26.7	Der Ventrikulozisternostomie-Simulator Haptic IO-Master 7D	401	31.3	Besonderheiten der intraoperativen Navigation auf dem MKG-Gebiet	438
26.8	Ausblick: Vorteile von VR-Simulatoren für die operative Ausbildung	404	31.4	Rekonstruktive Eingriffe	440
27	Osteotomieplanung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie		32	CAS in der HNO-Chirurgie	
	Hans-Florian Zeilhofer und Philipp Jürgens	407		Mathias Hofer und Gero Strauß	445
27.1	Einleitung	407	32.1	Hintergrund HNO-Chirurgie	445
27.2	Physische 3D-Modelle	407	32.2	CAS in der HNO	448
27.3	Virtuelle 3D-Modelle	408	32.3	Surgical Cockpit	451
27.4	Datenerfassung	408	32.4	Fazit	457
27.5	Die 3D-Operationsplanung	409	33	Endoskopische Herzchirurgie	
27.6	Navigation	410		Stephan Jacobs und Volkmar Falk	461
27.7	Klinisches Anwendungsspektrum für virtuelle 3D-Modelle und 3D-OP-Planungen	410	33.1	Integration virtueller Klappenprothesen in das intraoperative 3D-Ultraschallbild	462
27.8	Ausblick	414	33.2	Augmentierte Realität in der endoskopischen Bypasschirurgie	463
28	Minimal-invasive Eingriffe und Biopsien in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie		33.3	Kathetergesteuerter Aortenklappenersatz	465
	Jürgen Hoffmann	417	33.4	Zusammenfassung	467
28.1	Einleitung	417	34	Ablation von Vorhoffarrhythmien	
28.2	Technik	417		Olaf Dössel	469
28.3	Indikationen	418	34.1	Ablation von Vorhoffarrhythmien – medizinische Erfolge und Probleme	469
28.4	Einschränkungen und technische Perspektiven	418	34.2	Computermodelle vom Vorhof	470
29	Dentale Implantologie		34.3	Optimierung von Ablationsstrategien	472
	Susanne Heberer, Günter Nahles und Martin Klein	421	34.4	Navigation im Herzen und Überlagerung mit Bilddaten	473
29.1	Einleitung	421	34.5	Vision: Personalisierte Modelle vom Vorhof und individuelle Optimierung der Ablationsstrategie	474
29.2	Konzept der dentalen Implantologie	421	34.6	Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick	475
29.3	Zusammenfassung	427	35	Magnetisch gesteuerte Führungsdrähte für die Schrittmacherplatzierung	
30	Autologe Knochentransplantation und CAD/CAM-Implantation in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie			Carlo Pappone und Vincenzo Santinelli	479
	Martin Klein, Andreas Rose und Erwin Keeve	429	35.1	Klinischer Hintergrund	479
30.1	Einleitung	429	35.2	Positionierung der Stimulationselektroden durch magnetische Navigation	480
30.2	Computergestützte Systeme für die autologe Knochentransplantation	429	35.3	Koronarsinussondierung und Erstellung einer Gefäßkarte	481
30.3	CAD/CAM-Implantate	431	35.4	Navigation des Führungsdrahtes	482
30.4	Computergestützte CAD/CAM-Implantatinsertion	431	35.5	Limitationen	483
30.5	Ausblick	433	35.6	Fazit	483

36	Navigation in der Bronchoskopie		41	Navigationsunterstützung in der laparoskopischen Leberchirurgie	
	Heinrich D. Becker	485		Markus Kleemann, Thomas Lange und Hans-Peter Bruch	533
36.1	Einleitung	485	41.1	Einleitung	533
36.2	Bildgebung als Basis zur bronchoskopischen Navigation	485	41.2	Besondere Problematik in der laparoskopischen Leberchirurgie	533
36.3	Instrumentensteuerung	489	41.3	Navigationsysteme für laparoskopische Therapieverfahren	534
36.4	Navigation	491	41.4	Prä- und intraoperative Bildgebung	536
36.5	Kommunikation	495	41.5	Anwendungen der Navigationsunterstützung in der laparoskopischen Leberchirurgie	536
36.6	Szenarien für die Zukunft	495	41.6	Entwicklung eines Fehlermodells	539
			41.7	Fazit	539
37	Roboterassistierte thorakoskopische Chirurgie		42	Telemanipulatoren in der Viszeralchirurgie – SoloAssist®	
	Mahmoud Ismail, Marc Swierzy, Charalambos Menenakos und Jens C. Rückert	499		Felix Härtl, Adam Fiolka, Dirk Wilhelm, Armin Schneider und Hubertus Feußner	541
37.1	Einleitung	499	42.1	Einleitung	541
37.2	Organspezifische Anwendung des Roboters in der Thoraxchirurgie	500	42.2	Anforderungen an eine neue Generation von Telemanipulatoren	541
37.3	Ausblick und Diskussion	504	42.3	Das System SoloAssist®	542
38	Planung von In-situ-Ablationsverfahren bei Lebermetastasen		43	Assistenzsysteme für die Single-Port- Chirurgie und die Chirurgie über natürliche Körperöffnungen (NOTES)	
	Kai S. Lehmann und Andreas Weihusen	507		Hubertus Feußner, Salman Can, Adam Fiolka, Armin Schneider und Dirk Wilhelm	545
38.1	Einleitung	507	43.1	Einleitung	545
38.2	Anforderungen bei der Planung von In-situ-Ablationen	508	43.2	Anforderungen an Assistenzsysteme	545
38.3	Planungssysteme	509	43.3	Derzeitiger Stand der Technik	546
38.4	Konzept eines Planungssystems zur RF-Ablation von Lebertumoren	511	43.4	Weitere Entwicklungsaufgaben	549
38.5	Zusammenfassung und Ausblick	513	44	Simulatoren in der Viszeralchirurgie	
				Kai S. Lehmann und Jörg-Peter Ritz	553
39	Planung von Leberresektionen		44.1	Laparoskopie-Simulatoren	553
	Hauke Lang und Andrea Schenk	515	44.2	OP-Simulatoren in der Praxis	554
39.1	Einleitung	515	44.3	Wissenschaftliche Evaluation	556
39.2	Risikofaktoren bei Leberresektionen	515	44.4	Derzeitige Probleme und Entwicklungen	558
39.3	Anforderungen an die computergestützte Planung von Leberresektionen	515	44.5	Fazit und Ausblick	559
39.4	Technologie	516	45	Robotische Chirurgie in der Urologie	
39.5	Klinische Einsatzgebiete	519		Axel Haferkamp, Stefan Buse, Michael A. Reiter und Markus Hohenfellner	563
39.6	Diskussion und Ausblick	521	45.1	Einleitung	563
39.7	Zusammenfassung	522	45.2	Autonome Systeme	563
			45.3	Telemanipulatoren	563
40	Navigation in der offenen Leberchirurgie		45.4	Roboterassistierte laparoskopische Eingriffe in der Urologie	565
	Siegfried Beller, Michael Hünerbein, Thomas Lange, Sebastian Eulenstein und Peter M. Schlag	525			
40.1	Einführung	525			
40.2	Rationale für eine computerassistierte Navigation in der Leberchirurgie	526			
40.3	Navigationstechnologien in der Leberchirurgie	527			
40.4	Zusammenfassung und Aussichten	531			

46	Roboterassistierte gynäkologische Operationen		47	Radiochirurgie mit CyberKnife	
	Christhardt Köhler, Malgorzata Lanowska und Achim Schneider	577		Berndt Wowra und Alexander Muacevic	587
46.1	Einleitung	577	47.1	Einleitung	587
46.2	Roboterassistierte Hysterektomie und Myomektomie	577	47.2	CyberKnife-Technologie	587
46.3	Das DaVinci-System in der gynäkologischen Onkologie	579	47.3	Klinische Anwendung	589
46.4	Urogynäkologische roboterassistierte Operationen	583	47.4	Zusammenfassung	590
46.5	Weitere Indikationen	584		Sachregister	591
46.6	Ausblick	584			