

Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Zielsetzung	1
1 Hard- und Software der computerunterstützten Chirurgie	11
1.1 Disziplinen im Rahmen der computerunterstützten Chirurgie	11
1.2 Medizintechnische bildgebende Verfahren	13
1.2.1 Digitale Radiographie (DR) / Computed-Radiography (CR)	14
1.2.2 Computer-Tomographie (CT)	17
- CT-Bilddaten	24
- CT-Bildqualität	25
- CT-Betriebsparameter	33
1.2.3 Magnet-Resonanz-Tomographie (MR)	36
1.2.4 CT-Bild-/Röntgenbild-Scanner	38
1.2.5 Datenrepräsentation/-formate	40
- CT-Bilddaten	42
- MR-Bilddaten	47
- DR-Bilddaten	48
- Speichervolumen einer Schichtsequenz	48
- Bilddateiformate	49
1.2.6 Ausgabegeräte / Bild-Reproduktion	80
1.2.7 PACS (Picture Archiving and Communication System) / Netzwerk-Technologie	81
1.3 Vorverarbeitung und Datenmodellierung	86
1.3.1 Volumen-/Voxel-Modelle	86
1.3.2 Filter / Ausgleich des Rauschens	91
1.3.3 Verfahren zur Reduktion des Bilddatenvolumens	92
1.3.4 Verfahren zur Komplettierung der Original-Bilddaten	97
- Schichtwiederholung	100
- Interpolation	100
1.4 Segmentierung	101
1.4.1 Formal-mathematische Definition der Segmentierung und Charakterisierung der Segmentierungsverfahren	102
1.4.2 2D-Segmentierungsverfahren	104
1.4.3 3D-Segmentierungsverfahren	106
- Voxel-basierte Segmentierungsverfahren	106

	- Kantenbasierte Segmentierungsverfahren	107
	- Gebietsbasierte Segmentierungsverfahren	109
1.4.4	Segmentierungswerkzeuge	109
1.5	3D-Visualisierung medizinischer Daten	110
1.5.1	Rendering	112
	- Solid-Rendering	114
	- Volume-Rendering	116
	- Maximum-Intensity- und Integral-Projektion	117
1.5.2	Integration realer Farb- und Formdaten per 3D-Scanner . .	118
1.5.3	Image-/Data-Fusion	120
1.6	Gewinnung von CAD-Daten bzw. polygonaler Oberflächenmo- delle	121
1.6.1	Polygonisationsverfahren	122
	- Konturorientierte Polygonapproximation	122
	- Marching-Cube-Algorithmus	123
	- (Nachträgliche) Reduktion des Datenvolumens	129
1.6.2	Qualitative Bewertung der Algorithmen	130
1.7	Computer-Technik für die Visualisierung	134
1.7.1	Bildschirmausgabe (Monitor und Graphikkarte)	134
	- Funktion, Leistungsspektrum, Kosten-Nutzen-Verhältnis .	135
	- Bildschirm-Probleme im Bereich medizinischer Visuali- sierung	140
	- Bewertung der bildschirmbasierten Diagnose im Rah- men der medizinischen Visualisierung	143
1.7.2	Hardware zur Interaktion mit Computer-Anwendungen . .	144
1.8	Navigationstechnik	148
1.8.1	Grundlagen	148
1.8.2	Kopplungsvarianten bei Navigationssystemen	153
	- Navigation auf der Basis mechanischer Kopplung	153
	- Kopplungsfreie Navigation	155
1.8.3	Restriktionen	160
	- Vollständige Fixierung des Patienten	160
	- Freie Bewegbarkeit / Weichteile-Problematik	161
1.8.4	Korrelation von Bild- und Navigationswelt / Registrie- rung	163
1.8.5	Visualisierungsaspekte im Rahmen der Navigation / CAS- Ergonomie	165
1.8.6	Überlegungen zum Einsatz navigationsbasierter Instru- mente / Standardisierung	168
1.9	Genauigkeitsaussage mittels Messung und Fehlerrechnung	168

2	Rechtliche Aspekte der computerunterstützten Chirurgie	175
2.1	Internationale rechtliche Bestimmungen	175
2.1.1	Bundesministerium für Gesundheit / Bundesgesundheitsamt	176
2.1.2	Food and Drug Administration (FDA)	181
	- Rechtliches Grundkonzept	182
	- Auswirkungen der GMP (Good Manufacturing Practices) auf Software-orientierte/-basierte (Geräte-)Entwicklungen	190
	- FDA-gerechte Software-Entwicklung	195
2.1.3	Qualitätssicherung auf der Basis von ISO-9000-3	198
2.1.4	Weitere Normen auf dem Gebiet der Software-Qualität	199
2.2	Folgerungen für das CAS-Projekt-Management	200
2.2.1	Vertragsgestaltung beim Einkauf medizintechnischer Geräte	200
2.2.2	Qualitätssicherung in Forschungsprojekten	206
2.2.3	Rechtliche Risiken des CAS-Einsatzes	208
3	Material und Methode / CranioSim-CAS-Projekt	209
3.1	Medizinische Aufgabenstellung und Zielsetzung / Le-Fort-Osteotomie	209
3.2	Planung und Vorentscheidung für die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie-CAS-Projekte	214
3.2.1	Medizin-Technik	217
3.2.2	Hardware-Basis und Betriebssystem	217
3.2.3	Entwicklungsumgebung	219
	- Allegro-System	227
	- IAP-System	229
	- Viewing-Wand-System / Op-taugliches Computersystem	234
3.3	Phasen des CranioSim-Software-Projektes	235
3.3.1	Problemanalyse	237
3.3.2	Systemspezifikation	238
3.3.3	Entwurf	243
	- Software-Werkzeuge	243
	- Allegro-System zur Arbeitsvorbereitung	243
	- IAP-Objekte und der Datenfluß	244
	- Kopplung der Viewing-Wand-Anwendung	255
3.3.4	Implementierung	258
3.3.5	Test	263

3.3.6	Installation	264
3.3.7	Betrieb und Wartung	265
4	Ergebnisse / CAS-Rahmenbedingungen im Überblick	267
4.1	Analyse der CAS-Rahmenbedingungen	267
4.1.1	Technologische CAS-Rahmenbedingungen	267
4.1.2	Rechtliche CAS-Rahmenbedingungen	271
4.1.3	CAS-Forschung	272
4.2	CranioSim-Software-System	275
4.3	CranioSim-Einsatz in der medizinischen Praxis	275
4.3.1	Medizinische Diagnose und Therapie	276
4.3.2	Einsatz der CranioSim-Anwendung	276
5	Diskussion und Bewertung / Details der CAS-Umgebung	279
5.1	Bewertung der geschaffenen CAS-Entwicklungsumgebung	279
5.1.1	Allegro-System	279
5.1.2	IAP-System	280
5.1.3	Viewing-Wand-System	281
5.2	Bewertung des CranioSim-Systems	282
6	Zusammenfassung und Ausblick	283
A	Anhang	287
A.1	IAP-Processing-Server-Objekte	288
A.2	Homogene Koordinaten / T-Matrizen	305
A.3	ACR-NEMA-Version-2-Dateiformat	308
	Farbbildtafel	341
	Abkürzungsverzeichnis	343
	Literaturverzeichnis	345
	Sachwortverzeichnis	359