

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	IX
Summary	X

Teil A: Einführung

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Kardiologische Anwendung bildgebender Verfahren	5
2.1 Röntgenangiographische Verfahren	5
2.1.1 Koronar-Angiographie	5
2.1.2 Ventrikulographie, Lävographie	6
2.2 Tomographische Verfahren	6
2.3 Bildgebung durch Ultraschall	7
2.4 Archivierung und Befundung	8
3. Biplane Röntgensysteme	9
3.1 Theorie der Bildgebung durch Röntgenstrahlung	9
3.2 Angulationsverhalten der verschiedenen Stativtypen	10
3.3 Archivierung der Bilddaten	12
4. Bestehende Verfahren zur 3D-Rekonstruktion	14
4.1 Binäre Rekonstruktionsverfahren	14
4.2 Geometrische Rekonstruktionsverfahren	15
4.2.1 Punktrekonstruktion	15
4.2.2 Generalisierter Schnittpunkt	16
4.2.3 Analytische Geometriebestimmung	17
4.2.4 Korrespondenzproblematik	18
4.2.5 Modellierung und Visualisierung	20
4.2.6 Rekonstruktion von Bildsequenzen	20
4.3 Multiplane Rekonstruktionen	21
4.4 Multimodale Ansätze	22

Teil B: Methodik

5. Rekonstruktion und Modellierung der räumlichen Morphologie koronarer Gefäßsysteme	23
5.1 Bildaquisition und Vorverarbeitung	24
5.1.1 Aufnahme und Digitalisierung	24
5.1.2 Globale Bildverbesserungs-Verfahren	26
5.1.3 Lokale Bildmischung	28
5.1.4 Lokale Histogrammspreizung	30
5.1.5 Entzerrung	31
5.2 Geometriemodelle	33
5.2.1 Isozentrisches vs. Iso-Achsen-Modell	33
5.2.2 Koordinatensysteme und -transformationen	35
5.2.3 Herleitung der Rotationsmatrizen	37
5.2.4 Skalierung der Bildverstärker-Eingangsfläche	38
5.3 Aufbau der zweidimensionalen Bäume	38
5.3.1 Definition der Gefäßtopologie	38
5.3.2 Automatische Verfolgung des Gefäßverlaufes	40
5.3.3 Interne Repräsentation	41
5.4 Rekonstruktion	43
5.4.1 Rekonstruktion der Knoten	44
5.4.2 Segmentrekonstruktion	45
5.4.3 Querschnittsrekonstruktion	46
5.4.4 Rekonstruktion der Konturen	48
5.5 Visualisierung	50
5.5.1 Das Visualisierungs-Koordinatensystem	50
5.5.2 Triangulierung und Darstellung	51
5.5.3 Alternative Darstellungsarten	52
5.5.4 Lokale und entfernte Ansteuerung der graph. Hardware	54
5.5.5 Anbindung an kommerzielle Visualisierungssysteme	55
5.6 Quantitative Auswertung	56
5.6.1 Lokalisierung, 2D/3D-Matching	56
5.6.2 Distanzberechnung	57
5.6.3 Winkelberechnung	57
5.6.4 Gefäßvolumen	58
5.6.5 Gefäßlängen	60
5.6.6 Aufsummierung über Unterbäume	60
5.7 Archivierung	61
5.7.1 Geräteparameter	62
5.7.2 Aufnahmeparameter	63
5.7.3 Kombiniertes Modell	64
5.7.4 Zusammenfassen von Modellen	65
5.7.5 Anbindung externer Applikationen	66
5.7.6 Archivierung in medizinischen Standard-Formaten	66

6. Empirische Geometrie-Analyse und -Korrektur	68
6.1 Iterative Geometrie-Approximation	69
6.1.1 Analyse der Fehlerkomponenten	69
6.1.2 Linearer Lösungsansatz	70
6.1.3 Lösung durch lineare Regression	73
6.1.4 Statistisches Mittelwertorientiertes Verfahren	76
6.1.5 Ermittlung der initialen Geometrie	81
6.2 Kalibrierung	82
6.2.1 Distanz zweier Punkte im Raum	84
6.2.2 Länge eines Abschnittes im Raum	84
6.2.3 Schleifen-, Scheiben- oder Kugel-Durchmesser im Raum	85
6.2.4 Monoplane Vorkalibrierung	86
6.3 Lokale Geometriekorrektur	86

Teil C: Validierung und Anwendung

7. Phantomstudien	88
7.1 Synthetische Phantombilder	88
7.1.1 Absolute Rekonstruktionsgenauigkeit	88
7.1.2 Genauigkeit der Geometrie-Approximation	89
7.1.3 Korrespondenzbildung bei Segmenten	92
7.2 Analyse der Toleranzen biplaner angiographischer Systeme	94
7.2.1 Angulationsfehler und Verschiebungen orthogonal zu den Projektionsachsen	95
7.2.2 Toleranzen bei theoretisch festen Abständen	97
7.3 Vergleich der Kalibrierungsmethoden	100
7.3.1 Test- und Referenzobjekte	100
7.3.2 Dreifachorthogonale Lage des Kalibrierobjektes	101
7.3.3 Schräge Lage des Katheters bei leichter Krümmung	102
7.3.4 Schräge Lage des Katheters bei S-förmiger Krümmung	103
7.3.5 Bewertung	104
7.4 Validierung des Volumenmodells	105
7.4.1 Auswirkung der Objektlage	106
7.4.2 Auswirkung der Angulation	106
7.4.3 Fehler bei der Annahme der Angulation	109
7.5 Durchmesseranalyse im Submillimeterbereich	111
8. Medizinische Anwendung	115
8.1 Analyse lokaler Gefäßverengungen (Stenosen)	115
8.1.1 Aufbau der 2D-Modelle	115
8.1.2 Rekonstruktion und Visualisierung	120
8.1.3 Quantitative Auswertung des stenotischen Segments	122
8.1.4 Umfassendere Analyse am Beispiel Laser-Angioplastie	123
8.1.5 Finden optimaler Angulationen	123

8.2 Planung und Verifikation chirurgischer Eingriffe am 3D-Modell	129
8.2.1 Die Arterial-Switch-Operation	129
8.2.2 Bilddaten	131
8.3 Ermittlung morphologischer Parameter von komplexen Gefäß-Subsystemen zur Quantifizierung diffuser Erkrankungen	137
8.3.1 Dekomposition der fraktalen Gefäßhierarchie	139
8.3.2 Quantifizierung durch Korrelation logarithmisch transformierter Parameter	143
8.3.3 Patientenbezogene Korrelationen	144
8.3.4 Interventionen mit vasoaktiven Substanzen	145
8.4 Lokalisierung von Kathetern und Zuordnung im 3D-Modell	146
8.4.1 Intravasale Flußgeschwindigkeitsmessung durch Ultraschall	146
8.4.2 2D/3D-Matching	148
8.4.3 3D/3D-Matching	150
8.5 Rekonstruktion großer Gefäße	150
9. Ausblick	154
9.1 Rekonstruktions- und Modellierungs-Algorithmen	154
9.2 Modularisierung und Integration der Programme	155
10. Konklusion	159

Anhänge

A. Mathematische Details	161
A.1 Rotationsmatrizen für die einzelnen Geometrietypen	161
A.2 Punktrekonstruktion	163
A.3 Generierung fließender Konturen	164
A.4 Aufsummieren der Volumenelemente	165
A.5 Ausschlußkriterien bei Geometrieapprox. durch Regression	166
B. Visualisierung	167
B.1 Transformationsmatrizen für die Visualisierung	167
B.2 Beschreibung der Pixelmaschine	167
B.3 Triangulierung	169
B.4 Spool-System für Anfragen an die Pixelmaschine	171

Literaturverzeichnis	173
-----------------------------------	------------