

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Binäre Rekonstruktion aus zwei Orthogonalprojektionen</b> | <b>4</b>  |
| 2.1      | Mathematische Behandlung der Binärrekonstruktion . . . . .   | 4         |
| 2.2      | Anwendung auf biplane Angiokardiogramme . . . . .            | 6         |
| 2.3      | Algorithmus für konvexe, symmetrische Schnitte . . . . .     | 8         |
| 2.4      | Binäre algebraische Rekonstruktion . . . . .                 | 8         |
| 2.5      | Der Wahrscheinlichkeitsfeld-Ansatz . . . . .                 | 9         |
| 2.6      | Der Netzwerk-Fluß-Ansatz . . . . .                           | 9         |
| 2.7      | Algorithmus für reguläre Schnitte . . . . .                  | 11        |
| 2.8      | Ansatz für sichelförmige Gefäßquerschnitte . . . . .         | 11        |
| 2.9      | Der hierarchische Netzwerk-Fluß-Ansatz . . . . .             | 11        |
| 2.10     | Der Equidivisor-Ansatz . . . . .                             | 12        |
| 2.11     | Der neuronale Netzwerk-Ansatz . . . . .                      | 12        |
| <b>3</b> | <b>Bildgewinnung mit biplanen Angiokardanlagen</b>           | <b>14</b> |
| 3.1      | Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise . . . . .              | 14        |
| 3.2      | Beschreibung der verwendeten Anlage . . . . .                | 16        |
| <b>4</b> | <b>Geometrie biplaner isozentrischer Stativsysteme</b>       | <b>18</b> |
| 4.1      | Grundlagen . . . . .   | 18        |
| 4.1.1    | Elemente des Stativsystems . . . . .                         | 18        |
| 4.1.2    | Globales Koordinatensystem und Projektionswinkel . . . . .   | 19        |
| 4.1.3    | Klassifizierung der Stative . . . . .                        | 21        |
| 4.2      | Positionierung eines Stativs . . . . .                       | 22        |
| 4.2.1    | Drehung um die Systemachsen . . . . .                        | 22        |
| 4.2.2    | Bewegungsanalyse und Drehmatrix des Stativtyps I . . . . .   | 23        |
| 4.2.3    | Bewegungsanalyse und Drehmatrix des Stativtyps II . . . . .  | 23        |
| 4.2.4    | Bewegungsanalyse und Drehmatrix des Stativtyps III . . . . . | 24        |
| 4.3      | Projektions- und Achsendrehwinkel . . . . .                  | 26        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.3.1    | Winkeltransformationen für Typ I - Stative             | 26        |
| 4.3.2    | Winkeltransformationen für Typ III - Stative           | 27        |
| 4.4      | Beschreibung biplaner Einstellungen                    | 28        |
| 4.4.1    | Zwischenwinkel   | 30        |
| 4.4.2    | Projektiver Vergrößerungsfaktor                        | 30        |
| 4.4.3    | Kalibrierungsfaktoren                                  | 30        |
| 4.4.4    | Absolute Skalierungsfaktoren                           | 31        |
| 4.5      | Umrechnung zwischen Matrix und Projektionsebene        | 31        |
| 4.5.1    | Pixel-Raumpunkt-Konvertierung                          | 31        |
| 4.5.2    | Raumpunkt-Pixel-Konvertierung                          | 32        |
| 4.6      | Projektion und Rekonstruktion eines Raumpunktes        | 32        |
| 4.6.1    | Bildebene, Projektionsstrahl und Bildpunkt             | 32        |
| 4.6.2    | Rekonstruktion durch Rückprojektion                    | 33        |
| 4.7      | Rekonstruktionsebenen und Epipolarlinien               | 35        |
| 4.8      | Bildverdrehung bei Angulation                          | 39        |
| 4.8.1    | Abhängigkeit vom Stativtyp                             | 41        |
| 4.8.2    | Vektorielle Bestimmung des Verdrehungswinkels          | 41        |
| 4.8.3    | Rotationsformeln                                       | 42        |
| <b>5</b> | <b>Abschätzung und Korrektur von Abbildungsfehlern</b> | <b>47</b> |
| 5.1      | Auswirkungen der Strahlendivergenz                     | 48        |
| 5.1.1    | Winkelfehler bei schrägen Rekonstruktionsebenen        | 48        |
| 5.1.2    | Fehler der projektiven Vergrößerung                    | 51        |
| 5.1.3    | Abweichungen zwischen Zentral- und Parallelprojektion  | 53        |
| 5.2      | Geometrische Bildverzeichnungen                        | 59        |
| 5.2.1    | Geometrische Bildkorrektur durch Gitteraufnahmen       | 60        |
| 5.2.2    | Korrektur der Kissenverzeichnung                       | 61        |
| 5.2.3    | Korrektur magnetfeldbedingter Bildfehler               | 64        |
| 5.3      | Ungenauigkeiten der Aufnahmegeometrie                  | 66        |
| 5.3.1    | Korrektur durch Referenzpunkte                         | 66        |
| 5.3.2    | Schwerpunktkorrektur bei Subtraktionsbildern           | 68        |
| 5.4      | Fehler der Dichteübertragung                           | 72        |
| 5.4.1    | Strahlenaufhärtung und Streuung                        | 72        |
| 5.4.2    | Digitalisierungskennlinien des Bildrechners            | 73        |
| 5.4.3    | Dichteübertragung des Gesamtsystems                    | 74        |
| 5.4.4    | Möglichkeiten der Korrektur                            | 74        |
| 5.5      | Fehler der Kontrastübertragung                         | 75        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.5.1    | Modulationsübertragungsfunktion . . . . .                     | 75         |
| 5.5.2    | Brennfleck . . . . .  | 76         |
| 5.5.3    | Röntgenstreustrahlung . . . . .                               | 77         |
| 5.5.4    | Streuung im Bildverstärker . . . . .                          | 77         |
| 5.5.5    | Korrekturansätze . . . . .                                    | 78         |
| 5.6      | Rauschen . . . . .  | 85         |
| 5.6.1    | Wienerspektrum . . . . .                                      | 85         |
| 5.6.2    | Rauschkomponenten . . . . .                                   | 86         |
| 5.6.3    | Reduktion und Korrektur des Rauschens . . . . .               | 86         |
| 5.7      | Schwächen der angiographischen Ventrikeldarstellung . . . . . | 87         |
| <b>6</b> | <b>Implementierte Verarbeitungsschritte</b>                   | <b>89</b>  |
| 6.1      | Bildauswahl und Erfassung der Aufnahmedaten . . . . .         | 89         |
| 6.2      | Densitometrische Vorkorrektur . . . . .                       | 90         |
| 6.2.1    | Logarithmierung . . . . .                                     | 90         |
| 6.2.2    | Mittelung und Subtraktion . . . . .                           | 91         |
| 6.2.3    | Grauwertreduktion und Dichteübertragungskorrektur . . . . .   | 91         |
| 6.3      | Geometrische Vorkorrektur . . . . .                           | 91         |
| 6.3.1    | Zentrierung, Rotation und Größenausgleich . . . . .           | 91         |
| 6.3.2    | Zusammenfassung zu einer Operation . . . . .                  | 92         |
| 6.4      | Konturierung des Ventrikels . . . . .                         | 92         |
| 6.5      | Separierung, Lagekorrektur und Profilabtastung . . . . .      | 93         |
| 6.6      | Biplaner Dichteabgleich . . . . .                             | 94         |
| 6.7      | Speicherung der Bilddaten . . . . .                           | 95         |
| 6.8      | Skalierung der Dichteprofile . . . . .                        | 95         |
| 6.9      | Binäre Rekonstruktion . . . . .                               | 98         |
| 6.10     | Rückabtastung und morphologische Glättung . . . . .           | 102        |
| 6.11     | Darstellung des rekonstruierten Ventrikels . . . . .          | 103        |
| <b>7</b> | <b>Anwendung auf Testobjekte und klinische Bilddaten</b>      | <b>106</b> |
| 7.1      | Bewertung der Rekonstruktionsgenauigkeit . . . . .            | 106        |
| 7.2      | Laborflaschenversuch . . . . .                                | 108        |
| 7.2.1    | Projektions- und Datenabhängigkeit . . . . .                  | 111        |
| 7.2.2    | Modell- und Parameterabhängigkeit . . . . .                   | 111        |
| 7.3      | Ventrikelmodelle aus Knetmasse . . . . .                      | 114        |
| 7.3.1    | Reproduzierbarkeit der Ventrikelform . . . . .                | 114        |
| 7.3.2    | Reproduzierbarkeit des Ventrikelvolumens . . . . .            | 116        |
| 7.4      | Ventrikelrekonstruktionen aus klinischen Bilddaten . . . . .  | 122        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 7.4.1    | Linker Ventrikel . . . . .                                  | 122        |
| 7.4.2    | Rechter Ventrikel . . . . .                                 | 126        |
| <b>8</b> | <b>Diskussion</b>   | <b>131</b> |
| 8.1      | Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .                    | 131        |
| 8.1.1    | Geometrie biplaner isozentrischer Stativsysteme . . . . .   | 131        |
| 8.1.2    | Abschätzung und Korrektur von Abbildungsfehlern . . . . .   | 132        |
| 8.1.3    | Implementierte Verarbeitungsschritte . . . . .              | 133        |
| 8.1.4    | Anwendung auf Testobjekte und klinische Bilddaten . . . . . | 133        |
| 8.2      | Diskussion des Rekonstruktionsverfahrens . . . . .          | 134        |
| 8.2.1    | Formrekonstruktion . . . . .                                | 134        |
| 8.2.2    | Volumenbestimmung . . . . .                                 | 135        |
| 8.2.3    | Schwachpunkte und Verbesserungsvorschläge . . . . .         | 136        |
| 8.2.4    | Weiterführende Untersuchungen . . . . .                     | 137        |
| 8.3      | Andere Formen der 3D-Ventrikelrekonstruktion . . . . .      | 138        |
| 8.3.1    | Geometrische Ventrikelrekonstruktion . . . . .              | 138        |
| 8.3.2    | 3D-Echokardiographie . . . . .                              | 138        |
| 8.3.3    | Computertomographie . . . . .                               | 139        |
| 8.3.4    | Magnetresonanztomographie . . . . .                         | 139        |
| 8.4      | Zusammenfassende Bewertung . . . . .                        | 140        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                 | <b>141</b> |