

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	III
Kurzfassung.....	V
1 Einführung.....	1
1.1 Problemstellung aus medizinischer Sicht.....	1
1.2 Problemstellung aus technischer Sicht.....	2
1.3 Zielstellung der Arbeit.....	4
1.4 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	5
2.1 Grundlagen der Röntgenbildgebung.....	5
2.1.1 Erzeugung von Röntgenstrahlung.....	5
2.1.2 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie.....	6
2.1.3 Dreidimensionale Röntgenbildungssysteme.....	8
2.1.4 Artefakte in der dreidimensionalen Röntgenbildgebung.....	10
2.2 Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren.....	12
2.2.1 Analytische Rekonstruktionsverfahren.....	13
2.2.2 Algebraische Rekonstruktionsverfahren.....	17
2.2.3 Bildreihenfolgen für algebraische Rekonstruktionsverfahren.....	21
2.2.4 Berechnung von Projektionsintegralen in Rekonstruktionsverfahren.....	23
2.2.5 Ungleiche Vorwärts- und Rückwärtsprojektionsfunktionen.....	25
2.3 Grafikkartenbasierte Hardwarebeschleunigung.....	26
2.3.1 Aufbau moderner Grafikkarten.....	27
2.3.2 Grafikkartenprogrammierung.....	29
2.3.3 Programmierung heterogener Systeme mit OpenCL.....	31
2.4 Hardwarebeschleunigte 3D-Rekonstruktion.....	35
2.4.1 GPU-beschleunigte analytische 3D-Rekonstruktion.....	35
2.4.2 GPU-beschleunigte algebraische 3D-Rekonstruktion.....	37
2.5 Simulation von Röntgenbildgebung und Aufnahmesystemen.....	40
2.6 Offenes intraoperatives 3D-Röntgensystem ORBIT.....	42
2.6.1 Systembeschreibung.....	43
2.6.2 Variable Bildaufnahmetrajektorien.....	44
3 Hardwarebeschleunigte parallele Volumenrekonstruktion für die intraoperative Kegelstrahl-Computertomographie.....	45
3.1 Zusammenfassung der offenen Probleme.....	45
3.2 Eigener Ansatz.....	46
3.3 Abgrenzung.....	47
4 Konzeption und Entwurf.....	49
4.1 Multi-GPU-FDK-Rekonstruktion.....	49

4.1.1	Projektionsbildverarbeitung und Rekonstruktion großer Volumen .....	49
4.1.2	Beschleunigung durch Nutzung mehrerer GPUs .....	51
4.1.3	Geometrisches Modell der Rückprojektion .....	52
4.2	Multi-GPU-SART-Rekonstruktion .....	55
4.2.1	GPU-beschleunigte Rekonstruktion großer Volumen .....	55
4.2.2	Beschleunigung durch Nutzung mehrerer GPUs .....	57
4.2.3	Projektion und Rückprojektion von Projektionsbildern .....	58
4.2.4	Zugriffsschema für variable Bildaufnahmetrajektorien .....	63
4.3	Simulationssoftware für 3D-Bildgebungssysteme .....	66
4.3.1	Softwarekonzept .....	67
4.3.2	Projektionsbildgenerierung .....	68
5	Realisierung .....	71
5.1	Umsetzung des OpenCL basierten Multi-GPU-FDK-Algorithmus .....	71
5.1.1	Bild- und Volumendatenmanagement .....	71
5.1.2	Umsetzung der Parallelisierungskonzepte .....	73
5.1.3	Optimierung der Kernausführung .....	77
5.2	Umsetzung des OpenCL-basierten Multi-GPU-SART-Algorithmus .....	80
5.2.1	Volumeninitialisierung für iterative Verfahren .....	80
5.2.2	Rekonstruktion großer Volumen mit beliebigen Aufnahmetrajektorien .....	81
5.2.3	Umsetzung der SART für mehrere Grafikkarten .....	85
5.2.4	Optimierte Berechnung von künstlichen Projektionen .....	87
5.2.5	Zugriffsschema für variable Bildaufnahmetrajektorien .....	93
5.3	Simulationssoftware für 3D-Bildgebungssysteme .....	95
5.3.1	Aufnahmetrajektorienplanung und Projektionsbildgenerierung .....	95
5.3.2	Kinematische und geometrische Simulation von Röntgenbildgebungssystemen .....	99
5.3.3	Bilddatenverarbeitung und Visualisierung .....	101
6	Evaluierung und Bewertung .....	103
6.1	Fehler- und Geschwindigkeitsmaße .....	103
6.2	Untersuchungen zur Multi-GPU-FDK .....	104
6.2.1	Rekonstruktionsqualität .....	104
6.2.2	Rekonstruktionsgeschwindigkeit .....	110
6.3	Untersuchungen zur Multi-GPU-SART .....	117
6.3.1	Evaluierung der Vorwärtsprojektoren .....	117
6.3.2	Rekonstruktionsqualität .....	121
6.3.3	Rekonstruktionsgeschwindigkeit .....	137
6.4	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse .....	145
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	147
7.1	Zusammenfassung .....	147
7.2	Ausblick .....	148
8	Notationen und Abkürzungen .....	151
9	Literaturverzeichnis .....	155
10	Anhang .....	171