

# Zusammenfassung in deutscher Sprache

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung von effizienten Methoden und Algorithmen zur Erzeugung und Visualisierung geometrischer Modelle aus dreidimensionalen Bilddaten. In Kombination mit neuen Präparations- und Akquisitionstechniken sollte damit eine Umgebung geschaffen werden, die eine computergestützte dreidimensionale quantitative Neuroanatomie ermöglicht. Anwendungsschwerpunkt war der Einsatz der entwickelten Methoden zur Erforschung von Insektengehirnen.

Die Aufgabenstellung involvierte eine Vielzahl von Teilgebieten der Informatik und Mathematik. Die Herausforderung lag darin, die einzelnen Teilprobleme derart zu lösen, dass die Teillösungen am Ende eine homogene und effiziente Gesamtlösung ergeben. Die Arbeit beschreibt den Stand der Forschung in diesen verschiedenen Teilgebieten. Wo immer möglich wurden existierende Algorithmen übernommen und angepasst. Wo Probleme oder Lücken für den beabsichtigten Arbeitsfluss identifiziert wurden, wurden existierende Algorithmen modifiziert, oder neue Algorithmen entwickelt.

Im Einzelnen wurden folgende Gebiete bearbeitet:

**Visualisierung:** Es wurden Darstellungsmethoden für die primären Datenklassen unserer Fragestellung implementiert: Dreidimensionale Bilddaten, polygonale Oberflächen, Liniennetzwerke (Graphen) sowie beliebige Kombinationen davon. Es wurden verschiedene Schnitttechniken implementiert (Abschnitt 3.2.1), welche insbesondere in Verbindung mit Einfärbetechniken (Abschnitt 3.2.2), ein mächtiges Werkzeug zur Darstellung von Bild- sowie allgemeinen skalarwertigen Daten sind. Darüber hinaus wurden Isoflächen und *Volume Rendering* Algorithmen beschrieben und gezeigt, wie solche Algorithmen mit Hilfe moderner Grafikhardware so implementiert werden können, dass interaktive Rendergeschwindigkeiten erreicht werden (Abschnitte 3.2.4 und 3.2.5). Es wurde gezeigt, wie mit Hilfe von Maximum-Intensity Projektionen (MIP) wenig dichte (sparse) Datensätze wie neuronale Dendritenbäume effizient visualisiert werden können. Auf Basis dieser Darstellungsmethode wurde dann eine interaktives Verfahren zur Linienextraktion entwickelt. Im Abschnitt 3.3 wird eine neue Technik zur wirkungsvollen Beleuchtung von Linienprimitiven entwickelt, die auf Standard-Grafikworkstations mit Hardwarebeschleunigung implementiert werden kann. Im Abschnitt 3.4 wird ein Transparenzmodell entwickelt und vorgeschlagen, welches die Formwahrnehmung gegenüber der Standarddarstellung mit konstanter Transparenz signifikant verbessert. Es wird gezeigt, wie dieses Modell hardwarebeschleunigt implementiert werden kann.

**Bildsegmentierung:** Es wurde ein vollständiges interaktives Werkzeug zur Segmentierung dreidi-

mensionaler Bildstapel entworfen und implementiert. Es wird diskutiert, warum effiziente interaktive und halbautomatische Segmentierungsverfahren für viele praktische Anwendungen essentiell sind und gezeigt, wie diese mit Interpolations- und Extrapolationsmethoden ergänzt werden können (Abschnitt 4.3). Es wurden neue distanzfeldbasierte Interpolationsmethoden entwickelt und Ergebnisse dargestellt.

**Linienextraktion:** Es wurde eine neue interaktive Methode zur Extraktion linienartiger Strukturen aus dreidimensionalen Bilddaten entwickelt. Diese basiert auf einer Darstellung mittels Maximum-Intensity Projektion und einem zweistufigen kürzeste-Wege-Verfahren (Abschnitt 5.1).

Darüber hinaus wurden existierende, überwiegend aus der Angiographie stammende Verfahren zur automatischen Extraktion linienartiger Strukturen getestet (Abschnitt 5.2). Es wird eine Methode vorgeschlagen, mithilfe derer Artefakte behoben werden können, die auftreten, wenn solche Verfahren auf Bilder von Dendritenbäumen angewendet werden (Abschnitt 5.2.4). Es wird gezeigt, wie Skelettierung gefolgt von einem Graphextraktionsschritt genutzt werden kann, um aus diese Ergebnisse dünne Polylinienbäume zu extrahieren.

**Geometrierekonstruktion:** Basierend auf H.-C. Heges Idee den Marching Cubes Algorithmus auf nicht-binäre Konfigurationen zu verallgemeinern, wird eine neue Methode zur Erzeugung von konsistenten überschneidungsfreien geschlossenen Flächen aus nicht-binären Labelings entwickelt (Abschnitt 6.1).

Diese wird durch einen neuen Algorithmus zur Berechnung von sub-voxel Positionen der Schnittpunkte ergänzt. Dieser erlaubt es, glatte Flächen zu erzeugen, die nach wie vor konsistent mit dem Labeling sind (Abschnitt 6.3).

Darüber hinaus wird eine flexible und leicht zu implementierende Methode zur Erzeugung dickenannotierter Graphenstrukturen für qualitativ hochwertige Darstellungen vorgeschlagen (Abschnitt 6.4).

**Registrierung und Mittelung:** Es wurden existierende Methoden zur korrelations- und landmarkenbasierten Registrierung implementiert und diskutiert. Es wurde gezeigt, wie diese im Kontext der Fragestellung dieser Arbeit zu Datenintegration, -vergleich und -mittelung eingesetzt werden können (Kapitel 7). Es wird eine nicht-affine Registrierungsmethode vorgeschlagen, die auf eine starren Registrierung anatomisch ausgewählter Substrukturen kombiniert mit einem aus der Wärmeleitungsgleichung abgeleiteten Interpolationsschema basiert (Abschnitt 7.1.3). Es werden mit dieser Methode erzeugte *Average Intensity Maps* gezeigt (Abschnitt 8.2).

**Anwendungen:** Im Kapitel 8 werden biologische Anwendungen gezeigt, die auf den Resultaten und Methoden dieser Arbeit basieren. Es wird gezeigt, wie die einzelnen Bausteine verwendet werden, um biologische Fragestellungen zu untersuchen, und wie die einzelnen Algorithmen miteinander verknüpft sind. Es wird ein Ausblick auf zukünftige Applikationen gegeben, die nun angegangen werden können.

Die beschriebenen Methoden wurden in einer benutzungsfreundlichen Umgebung implementiert [148], welche inzwischen von zahlreichen Forschungsgruppen weltweit genutzt wird.

Ich hoffe mit dieser Arbeit einen Beitrag zum Fortschritt der Neurobiologie, aber auch zu vielen anderen Anwendungsgebieten, die mit dreidimensionalen Bilddaten arbeiten, geleistet zu haben, wie zum Beispiel medizinische Diagnostik, Chirurgieplanung, geowissenschaftliche Forschung oder Materialwissenschaften.