

1 Einleitung

Die Anwendungen der Kernspinresonanz haben sich seit der Entdeckung des Prinzips durch Felix Bloch und Edward Purcell im Jahre 1946 rasant weiterentwickelt. Bereits 1973 erzielte der US-Amerikaner Paul C. Lauterbur herausragende Ergebnisse in der Projektion und Rekonstruktion [1]. 1983 beginnt der dauerhafte klinische Einsatz der Magnetresonanztomographie in Deutschland mit der Installation von Magnetresonanztomographen in Wiesbaden und Hannover. Besonders in der Diagnostik des Zentralen Nervensystems (ZNS) wird die Magnetresonanztomographie zur Methode der Wahl und eröffnet somit ein neues anwendungsbezogenes Forschungsgebiet. Wesentliche Vorteile gegenüber anderen bildgebenden Verfahren, wie beispielsweise der Computertomographie (CT), sind der hohe Weichteilkontrast, die fehlende Strahlenbelastung, sowie die fehlende Beeinträchtigung der Bildqualität durch den dichten Knochen [2].

Neben klassischen Untersuchungstechniken der Magnetresonanztomographie, z.B. der T_1 - und T_2 -gewichteten Bildgebung, erlauben moderne Untersuchungstechniken wie diffusions- und perfusionsgewichtete Aufnahmetechniken zunehmend die Beurteilung physiologischer und funktioneller Gewebeeigenschaften [3]. Aufgrund ihrer hohen Ortsauflösung, der gleichmäßigen Ausleuchtung und des guten Weichteilkontrastes bieten sich diskrete digitale magnetresonanztomographische Schichtaufnahmen zur computergestützten Datenauswertung an. Hierzu wurden halbautomatische (interaktive) und automatische (benutzerunabhängige) Segmentierungsverfahren entwickelt [4]. Automatische Segmentierungsverfahren gestatten Analyse und objektive Auswertung stetig wachsender Datenmengen in kurzer Zeit [5], wodurch sie sich besonders zu Screeninguntersuchungen eignen.

Aufgrund der hohen Variabilität des medizinischen Bilddatenmaterials lassen sich allerdings nicht immer alle Bilddaten zufriedenstellend mit automatischen Segmentierungsverfahren auswerten [6, 7]. In der medizinischen Diagnostik ist daher weiterhin die individuelle Beurteilung des medizinischen Bildmaterials durch einen erfahrenen Radiologen unerlässlich. Interaktive Segmentierungsverfahren, wie die Segmentierung mittels Snake-Verfahren, können den Radiologen hierbei bei seiner Arbeit erheblich unterstützen, indem sie ihm die mühevollen Arbeit der manuellen Segmentierung eines Gewebeareals abnehmen, welche Grundlage zur weiteren computergestützten Datenauswertung ist.

Ein generelles Problem einer Vielzahl von für medizinische Fragestellungen entwickelte Segmentierungsverfahren ist, dass sie nicht für umfangreiche Auswertungen von klinischem Datenmaterial eingesetzt oder nicht gegen einen definierten Goldstandard evaluiert werden.

Die klinische Fragestellung der vorliegenden Arbeit besteht in der diagnoseunterstützten Segmentierung humaner Hirninfarkte mit Hilfe interaktiv steuerbarer Snake-Verfahren. Dabei stehen hohe Sensitivität und Spezifität gegen einen von einem Experten unabhängig definierten Goldstandard gepaart mit minimaler Nutzerinteraktion im Vordergrund. Diese beiden Kriterien sind für einen erfolgreichen praktischen Einsatz im klinischen Umfeld von maßgeblicher Bedeutung. Bei den Snake-Verfahren markiert der Anwender zunächst grob die interessierende Bildregion durch die Definition einer Region of Interest (ROI). Anschließend erfolgt die automatische, interaktive Deformation der initialen ROI, bis sie sich der zu markierenden Gewebestruktur möglichst optimal angepasst hat. Die Kantenfindung basiert hierbei auf dem Prinzip der Energieminimierung, wobei eine äußere externe Energie in Korrespondenz zur internen Energie der zu segmentierenden Gewebestruktur steht.

Die Grundlagen für Snake-Verfahren wurden 1988 von Kass et al. beschrieben [8]. 1994 wurden erste Anwendungen von Snake-Verfahren in der medizinischen Bildanalyse von Porrill et al. durchgeführt [9]. Verschiedene klinische Anwendungen folgten unter anderem in der Sonographie [10], Kardiologie [11] und Radiologie [12].

In der vorliegenden Arbeit werden zwei unterschiedliche Snake-Verfahren zur interaktiven Segmentierung verwendet, ein klassisches Snake-Verfahren und ein kürzlich entwickeltes Snake-Verfahren mit kubischen B-Splines (SplineSnake). Im klassischen Verfahren ist der klassische Algorithmus von Kass et al. [8] implementiert. Das neue SplineSnake-Verfahren von Jacob et al. [13] integriert eine implizite Spannungs- und Glättungskomponente direkt in die Snake Kurve, was zur Folge hat, dass das SplineSnake-Verfahren weitestgehend unabhängig gegenüber den Eingabeparametern wird. Die Grundlage zur Datenanalyse bilden T_2 - und diffusionsgewichtete magnetresonanztomographischen Aufnahmen (DWI), sowie die aus den unterschiedlich diffusionsgewichteten Bildern berechnete Verteilung des apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC). Als Aufnahmetechnik wurden ultraschnelle Echo-Planar Imaging Techniken (EPI) eingesetzt. Der Vorteil dieses modernen Aufnahmeverfahrens liegt in der geringen Anfälligkeit gegenüber Bewegungsartefakten und der Kürze der Aufnahmedauer. Die Signalintensitäten in T_2 - und diffusionsgewichteten (DWI) Aufnahmen stellen mit der berechneten ADC-Map wichtige Informationsquellen zur Analyse von

zerebralen Ischämien dar. Die DWI charakterisiert qualitativ ischämische Strukturen anhand einer veränderten Wasserbeweglichkeit im Gewebe und reflektiert Störungen im Zellmetabolismus [14, 15]. Diese qualitativen Veränderungen werden durch die Berechnungen des ADC aus mehreren unterschiedlichen diffusionsgewichteten Bildern quantifiziert und sind somit unabhängig vom geräte- und aufnahmetechnischen Einflüssen.

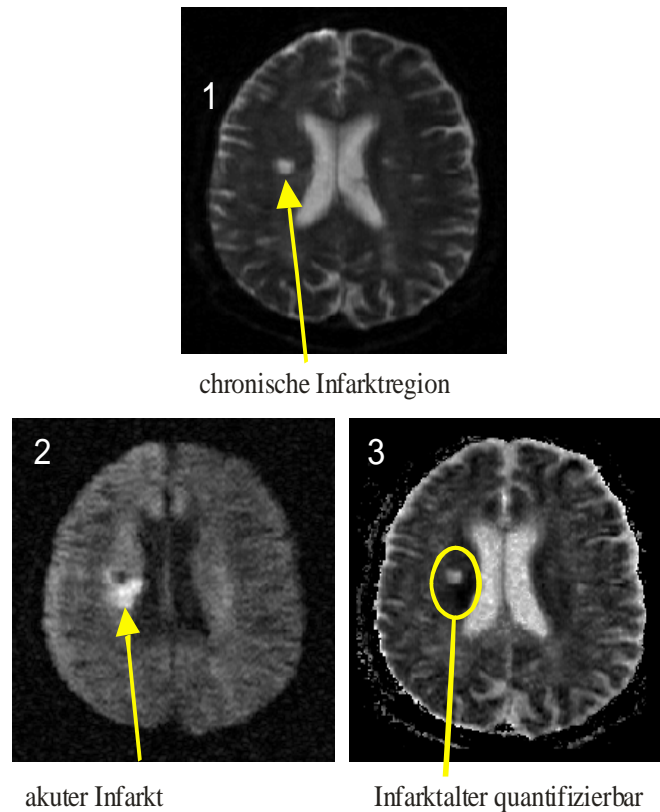


Abbildung 1.1: Darstellung eines akuten Media-Infarktes unterhalb einer chronischen Infarktregion mit Hilfe der T_2 -Wichtung (1), der Diffusionswichtung (2) und der ADC-Map (3). In der T_2 -Wichtung (1) ist nur die chronische Infarktregion (hell) zu erkennen. In der Diffusionswichtung (2) ist unterhalb der chronischen Infarktregion (dunkel) ein akuter Media-Infarkt (hell) zu erkennen. Aus der ADC-Map (3) kann das Infarktalter abgeleitet werden. (1) und (2) sind experimentelle EPI-Aufnahmen, die ADC-Map (3) ist aus 5 unterschiedlich diffusionsgewichteten Aufnahmen (b -Werte = 0, 232, 511, 736 und 1001 s/mm^2) berechnet.

Ischämische Veränderungen können bereits wenige Minuten nach Infarktbeginn mit Hilfe der DWI Bildgebung visualisiert werden, während im CT und in der klassischen T_2 -gewichteten magnetresonanztomographischen Aufnahme noch keine Veränderungen zu erkennen sind [16, 17]. Dies ist von zentraler Bedeutung hinsichtlich der Durchführung einer Lysetherapie nach zerebralem Infarkt innerhalb des zur Verfügung stehenden sehr engen Zeitfensters.

Abbildung 1.1 zeigt die Wiedergabe eines akuten Media-Infarkt unterhalb einer chronischen Infarktregion in der T₂-Wichtung, der Diffusionswichtung und der ADC-Map. Auffällig ist, dass in der T₂-Wichtung nur die chronische Infarktregion erkennbar ist.

Auf dieses Datenmaterial werden in der vorliegenden Arbeit das klassische und das SplineSnake-Verfahren angewandt und anschließend untereinander und mit den Ergebnissen einer vollautomatischen Segmentierung der gleichen Daten verglichen [5]. Zur Reduzierung der Nutzerinteraktion und Objektivierung der Ergebnisse wird versucht, einen für die jeweiligen Algorithmen universellen Parametersatz für das vorliegende Bildmaterial zu ermitteln. Dazu wurden fünf charakteristische Testdatensätze ausgewählt, welche weitestgehend das Spektrum möglicher Infarktlokalisationen und -ausprägungen abdecken [3]. Mit den Snake-Verfahren wurde anschließend das gesamte Kollektiv von 28 Patienten mit insgesamt 78 Datensätzen untersucht. Die Segmentierung wurde auf die diffusionsgewichteten Aufnahmen beschränkt, da sie in allen Fällen den besten Kontrast zwischen Infarkt und gesundem Gewebe lieferten. Der ADC wurde durch Übertragung der segmentierten Infarktregionen auf die ADC-Maps bestimmt.

Als Programmplattform zur Integration der beiden Snake-Verfahren dient das Java Programm ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) [18]. Das Programm zur computergestützten Bildverarbeitung und -analyse wurde mit Hilfe der universellen Plugin Technologie um das klassische Snake-Verfahren, das SplineSnake-Verfahren und zusätzliche Bildverarbeitungswerkzeuge zur Manipulation von ROI's erweitert.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich im folgenden in die Kapitel Grundlagen und Methoden, Ergebnisse, Diskussion und Zusammenfassung. Im Kapitel Grundlagen und Methoden werden die technischen Grundlagen der Magnetresonanztomographie, sowie die Pathophysiologie des Hirninfarkts erläutert. Außerdem werden die Grundlagen der interaktiven Segmentierung mittels Snake-Verfahren, sowie der computergestützten Datenauswertung behandelt und Informationen zu Patienten und Datenmaterial gegeben. Das Kapitel Ergebnisse gliedert sich in die Auswertung der Patientendaten mittels des klassischen Snake-Verfahrens, des SplineSnake-Verfahrens und deren Vergleich mit dem Goldstandard, welcher unabhängig durch manuelle Segmentierung von einem Radiologen definiert wurde. Die Ergebnisse der Snake-Verfahren werden untereinander und bezüglich einer automatischen histogrammbasierten Segmentierung mit Hilfe einer Statistiksoftware vergleichend ausgewertet.