

5. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde eine automatische, histogrammbasierte Methode zur Analyse des MR-Bildmaterials von Patienten mit zerebralen Ischämien vorgestellt. Die histogrammbasierte Segmentierung ist ein auf mehrdimensionalen Datensätzen beruhendes, merkmalsbasiertes Verfahren, das eine automatische, benutzerunabhängige und objektive Charakterisierung von gesundem und pathologischem Gewebe ermöglicht. Das Verfahren setzt keine *a priori* Kenntnisse von ischämischen Strukturen voraus und bietet sich aufgrund der Schnelligkeit, Objektivität und Reproduzierbarkeit zur Verwendung in Klinik und Forschung an.

Aus T_2 - und diffusionsgewichteten Bildern (T_2w und DWI) und der berechneten Darstellung des Apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC-Map) wurde ein 3D-Histogramm gebildet, in dem lokale Dichtemaxima (Cluster) segmentiert und unterschiedlichen Gewebeklassen zugeordnet wurden. Die Kombination dieser Aufnahmemodalitäten erlaubte eine gute Differenzierung und Charakterisierung von gesundem und ischämischem Gewebe, da DWI- bzw. T_2w -Bilder sehr sensitiv sind für den Nachweis sowohl von ischämischen Strukturen im Akutzustand als auch von Umgebungsödemen. Die ADC-Map liefert zusätzliche Informationen zu pathophysiologischen Merkmalen, zur Altersbestimmung einer ischämischen Läsion und möglicherweise zur Prognose und Entwicklungstendenz von Infarktgewebe.

Die Segmentierungsergebnisse von insgesamt 82 Schichten von 27 Infarktpatienten wurden gegen einen Goldstandard validiert, der von einem erfahrenen Radiologen durch manuelle Infarktsegmentierung definiert wurde.

Um die durchwegs guten Segmentierungsergebnisse hinsichtlich des bei diesem Verfahren allgemeinen Problems einer zu hohen, physiologisch nicht sinnvollen Zahl von ermittelten Geweben zu verbessern, wurde das gesamte Eingabematerial (T_2w -, DWI-Bilder und die ADC-Map) mit Hilfe eines kantenerhaltenden Filters, dessen Modellierung auf den physikalischen Prinzipien anisotroper Diffusion (AID) basiert, vorverarbeitet. Dieser Filter verbessert das Signal-Rausch-Verhältnis und erreicht eine Glättung von im Grauwert ähnlichen Bildbereichen bei gleichzeitigem Kantenerhalt zwischen unterschiedlichen Geweben, die durch unterschiedliche Grauwertverteilungen charakterisiert sind.

Die Filterung wurde mit experimentellen Wertebereichen der drei Filterparameter σ (Gauß'scher Weichzeichner), t (Anzahl der Iterationen) und K (Kantenparameter) in Anlehnung an in der Literatur vorgeschlagene Werte in Probefilterungen mehrfach durchgeführt. Das Filterergebnis wurde von einem Radiologen beurteilt und durch Segmentierung quantifiziert. Die Parameter σ und t erwiesen sich als weniger empfindlich für die Fragestellung. Optimale Werte konnten so relativ einfach bestimmt werden. Der Parameter K hatte den größten Einfluss auf das Filterergebnis und musste abhängig vom zu filternden Bild gewählt werden. Eine genaue Bestimmung dieses Parameters wurde deshalb mit Hilfe von fünf unterschiedlichen Infarktverteilungen durchgeführt und gegen einen Goldstandard validiert. Nach der Filterung des gesamten Bildmaterials mit einem so den Bildmodalitäten angepassten Standard-satz von Filterparametern wurde die Segmentierung aller Patientendaten durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Filterung die durch Übersegmentierung bedingte, zu hohe Anzahl unterschiedlicher Gewebe unabhängig von der Schnittführung, Schichtposition, Datenverarbeitung und Datendichte deutlich reduziert werden kann. Die Spezifität wird durch die Filterung nicht beeinflusst; die Sensitivität verschlechtert sich lediglich um 1%.

In einigen Fällen, d.h. bei großen und heterogenen Läsionen wurden eine Kernzone und eine Übergangzone getrennt segmentiert. Dies konnte teilweise auf Effekte der sogenannten Penumbra eines Infarktes zurückgeführt werden, die zum Infarkt unterschiedliche Werte des ADC aufweisen kann. Die Penumbra ist ein Übergangsbereich mit heterogener Signalintensität, das sich entweder je nach dem Ausmaß der dem Infarkt ereignis manchmal folgenden Reperfusion entweder normalisiert oder vollständig infarziert.

Die nach Filterung noch vorhandenen Partialvolumenbereiche befanden sich aufgrund des hohen Bildkontrasts in den Eingabedaten häufig zwischen CSF und Hirnparenchym und stellten einen eigenen Cluster oder Gewebetyp dar.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Filterung mit AID eine effektive Methode zur Optimierung von Bildmaterial im Allgemeinen darstellt und nach Optimierung der Filterparameter auf vorteilhaft auf spezielles MR-Bildmaterial angewendet werden kann. Eine Verallgemeinerung der Anwendung des AID-Filters auf CT- und sonographische Bilder und anderes, im klinischen Alltag benutztes Bildmaterial ist aufgrund der vorgestellten Erfahrungen ebenfalls möglich.

Die automatische, histogrammbasierte Segmentierung erwies sich als ein effektives Verfahren besonders zur Analyse von mehrdimensionalem Bildmaterial. Darüber hinaus kann unter Verwendung der histogrammbasierten Segmentierung mit einfachen Mitteln ein System zur automatischen Klassifizierung von Geweben (z.B. Graue und Weiße Hirnsubstanz, CSF, Ischämien etc.) konzipiert werden, falls ein ausreichender, von einem Spezialisten validierter Datenbestand akquiriert wurde. Die durchgeführten Arbeiten sind ein erster Schritt in diese Richtung. Durch die bereits vorhandene Datenbankanbindung und mit Hilfe von Klassifikationsverfahren kann so in Kürze eine Diagnoseunterstützung im Bereich humaner Hirninfarkte zur Verfügung gestellt werden. Vorstellbar ist auch die Verwendung des ADC zur Diagnose und Verlaufsprognose von Leukoaraiosis und zur Unterscheidung von MS-Subtypen. In einem Folgeprojekt soll die histogrammbasierte Segmentierung von zerebralen MS-Läsionen in MR-Bildern untersucht und mit den Ergebnissen der Segmentierung mit konventionellen Schwellwertbasierten Verfahren verglichen werden.

Eine Portierung auf andere Gewebe wie z.B. MR-Aufnahmen des Abdomens und pathologische Strukturen wie Neoplasien und Polytraumata ist denkbar. Neoplasien lassen sich beispielsweise durch in zeitlichen Abständen durchgeführte Segmentierungen einfacher in ihrer Größe und in ihrer Therapieantwort beurteilen. Auch die Messung weiterer MR-Gewebeparameter wie beispielsweise der *Mittleren Diffusivität* und der *Fraktionellen Anisotropie* ließe sich zur Beurteilung von Prozessen wie etwa der Multiplen Sklerose einsetzen. Der angestrebte Nutzen des vorgestellten Gesamtsystems bestehend aus einer Datenvorverarbeitung mit Filtern, einer automatischen Segmentierung und Klassifizierung von Geweben liegt in der Bereitstellung von entscheidungsunterstützenden Systemen, die die Arbeit des Radiologen mit Diagnosevorschlägen unterstützen und eine Diagnosequantifizierung und –präzisierung erlauben.