

1 Einleitung

Das lateinische Wort „navigare“ bedeutet ein Schiff auf See zu steuern. Für die nautische Navigation sind eine fundierte Kenntnis der geographischen Gegebenheiten, und die Bestimmung der eigenen Position auf See notwendig. Die Seefahrer der Antike orientierten sich bei ihren Seefahrten zunächst an den Küstenverläufen, Strömungen und der Windrichtung. Früh wurden zudem astronomische Fixpunkte wie Sternbilder und der Sonnenstand zur Positionsbestimmung auf See verwendet. Bereits in Homers „Odyssee“ findet sich eine Beschreibung astronomischer Navigation [34]. Mit der Entwicklung des Sextanten (Abbildung 1.1) im späten 15. Jahrhundert und des Schiffschronographen von John Harrison (Abbildung 1.2) im 18. Jahrhundert wurde die Bestimmung von Längen- und Breitengraden auf See möglich. Heutzutage erfolgt die Positionsbestimmung mit Hilfe des GPS-Systems. Das GPS-System besteht aus 24 Satelliten, die auf festen Umlaufbahnen die Erde umkreisen, und als sogenannte Fixsterne dienen. Mit einem GPS-Empfänger ist so die exakte Bestimmung der Position mittels Längen- und Breitengrad möglich.



Abbildung 1.1: Spiegelsextant um 1810 zur Bestimmung des Breitengrades.



Abbildung 1.2: Gemälde des Uhrmachers John Harrison. Auf dem Bild sind hinter ihm ist seine 1726 erfundene Pendeluhr und seine H3-Uhr auf dem Tisch neben ihm zu sehen.

Wie in der nautischen Navigation, so sind auch in der Neurochirurgie genaue Kenntnisse von Landmarken, d.h. der anatomischen Gegebenheiten des Gehirns, notwendig um Risiken einer Operation zu minimieren. In den Anfängen der Neurochirurgie

war die Lokalisation von pathologischen Veränderungen des Gehirns nur durch die neurologische Untersuchung und die zu Hilfenahme von anatomischen Atlanten möglich. Durch Entwicklung der Röntgenstrahlung [71] wurde es möglich pathologische Prozesse des Gehirns indirekt, z.B. durch seitliche Verlagerung der verkalkten Pinealis darzustellen. Diese indirekte Darstellung wurde durch die Entwicklung von Kontrastmitteln, wie sie bei der Pneumencephalographie [13], Iodoventrikulographie [78] und der cerebralen Angiographie [54] Anwendung finden, verbessert. Es war nun möglich anhand von Gefäßverlagerungen und Ventrikelkompression auf die Lokalisation z.B. eines Tumors zu schließen. Dies ermöglichte die Entwicklung von bildgestützten Operationstechniken.

Ende des 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelten verschiedene Arbeitsgruppen mechanische Apparate [4;35;106] mit denen, basierend auf einem dreidimensionalen Koordinatensystem und unter Verwendung der Bildgebung, intrakranielle Strukturen reproduzierbar erreicht werden konnten. Spiegel und Wycis [80] prägten hierfür den Begriff der „Stereotaxie“ („stereo“ = „räumlich“ und „taxonomos“ = „anordnen“). Die Stereotaxie ermöglicht also eine cerebrale Navigation durch die Kombination von Bildgebung und eines Koordinatensystems. Dafür ist ein Referenz-Ring notwendig, welcher um den Patientenkopf fixiert wird. Die moderne Schnittbildtechnologie und die Entwicklung leistungsfähiger Computer ermöglichen heutzutage eine präzise Darstellung intracerebraler Prozesse. Aus der Integration dieser Technologie in die moderne Stereotaxie entstanden in den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts die ersten Neuronavigationssysteme [67;93]. Hierbei wird mit Hilfe von künstlichen Landmarken, so genannten Fiducials, und deren korrelierenden Punkten in der präoperativen Bildgebung eine intraoperative Ortung von Instrumenten und intrakraniellen Strukturen möglich. Die Ortung, d.h. die Positionsbestimmung wird hierbei durch mechanische [25;92;93], sonographische [5;64;67], optische [5;23;28;30;31;70;72;105] oder elektromagnetische Verfahren [39;104] erzielt.

Mechanische Systeme [25;92;93] verwenden zu Positionsbestimmung einen Gelenkarm, welcher fest mit dem Operationstisch verbunden ist. Die Bestimmung der Position erfolgt über die Winkelstellung der Gelenke des Armes, welche durch Potentiometer oder mit Hilfe eines Elektrogoniometers errechnet wird. Dieses ermöglicht zwar eine präzise Positionsbestimmung, als nachteilig erweist sich jedoch die Not-

wendigkeit einer festen Montage am Operationstisch welche das Handling und die Bewegungsfreiheit der Operateure einschränkt.

Systeme mit sonografischer Positionsbestimmung [5;64;67] verwenden Ultraschallsignale und räumlich angeordnete Mikrofone zur Berechnung der Instrumentenkoordinaten. Diese Methode ermöglicht unter Laborbedingungen eine präzise Positionsbestimmung. Problematisch ist jedoch die Varianz der Schallgeschwindigkeit durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung, sowie durch Reflektion und Bewegung entstehende Messfehler im Operationssaal.

Optische Navigationssysteme verwenden Lichtimpulse zur Positionsbestimmung. Man unterscheidet aktive und passive optische Systeme. Aktive Systeme verwenden Instrumente [70;105] die mit Leuchtdioden versehen sind und deren Signale von Kameras empfangen werden. Die Position der Instrumente wird anhand der unterschiedlichen Zeitpunkte zu denen die Kameras die Signale empfangen bestimmt. Bei den passiven Systemen [30] werden die Lichtimpulse zunächst von den Kameras ausgesendet und nach Reflektion an den Operationsinstrumenten wieder empfangen. Ein Nachteil der weit verbreiteten optischen Navigationssysteme ist das Sichtlinienproblem, d.h. die Messung der Positionsbestimmung wird unterbrochen wenn die optische Verbindung zwischen Sender und Empfänger blockiert ist.

Elektromagnetische Systeme [39;104] verwenden ein elektromagnetisches Feld in welchem die Position von chirurgischen Instrumenten durch Sensoren errechnet werden kann. Diese Form der Positionsbestimmung eliminiert das bei optischen und auch sonographischen Systemen vorhandene Sichtlinienproblem. Man unterscheidet Systeme die auf Wechselstrom (AC = alternate current) und auf Gleichstrom (DC = direct current) basieren. Elektromagnetische Systeme erweisen sich jedoch als stör anfällig bei der Verwendung metallischer Gegenstände innerhalb des erzeugten elektromagnetischen Feldes.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Testung und erste klinische Erprobung eines neuartigen DC-gepulsten elektromagnetischen Neuronavigationssystems bei kraniellen neurochirurgischen Eingriffen. Das System wurde in der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Benjamin Franklin in Kooperation mit dem Institut für Informatik

der Freien Universität Berlin entwickelt. Nach Firmenausgründung aus der Freien Universität Berlin ist das System inzwischen unter dem Namen Acciss II™ (Schaerer Mayfield Technologies) kommerziell erhältlich.