

# Tracking und Visualisierung von Elektrodengrids für kortikale Ableitungen in der Neurochirurgie

Markus Erbacher<sup>1</sup>, Urs Eisenmann<sup>1</sup>, Rainer Wirtz<sup>2</sup> und Hartmut Dickhaus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Medizinische Biometrie und Informatik, Abteilung Medizinische Informatik, Universitätsklinikum Heidelberg, 69120 Heidelberg

<sup>2</sup> Neurochirurgische Klinik, Universitätsklinikum Heidelberg, 69120 Heidelberg  
Email: Markus.Erbacher@med.uni-heidelberg.de

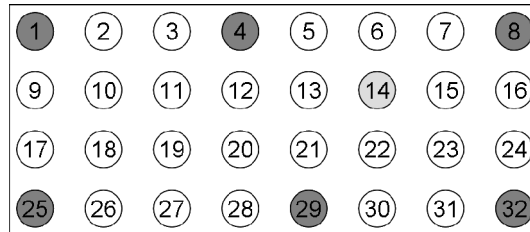
**Zusammenfassung.** Bei neurochirurgischen Eingriffen spielen Elektrodengrids zur Messung kortikaler Ableitungen eine wichtige Rolle. Um die erhaltenen Ergebnisse bewerten zu können ist es wichtig die genaue Position jeder einzelnen Elektrode zu kennen. In diesem Artikel wird ein Verfahren zur Positionsbestimmung von Elektrodengrids vorgestellt. Mittels eines Trackingsystems werden die Positionen weniger charakterisierender Elektroden ermittelt. Die Positionen der restlichen Elektroden werden durch ein Interpolationsverfahren berechnet. Der Trackingvorgang sowie die Visualisierung der Elektrodengrids wurde in das Operationsplanungssystem MOPS 3D (*Multimodales Operations-Planungssystem*) integriert[1]. In diesem System können den einzelnen Elektroden abhängig von der jeweiligen Aktivität Farbkodierungen zugeordnet werden.

## 1 Einleitung

Bei neurochirurgischen Eingriffen etwa im Rahmen der Epilepsiechirurgie spielen kortikale Ableitungen von elektrischen Potentialen eine wichtige Rolle. Diese Art der Potentialmessung umgeht die Probleme der Abschwächung und der Streuung durch die Schädeldecke, wie sie etwa beim EEG auftreten. Die Bestimmung der Position anatomischer Strukturen ist somit genauer möglich. Zur Potentialmessung werden Elektrodengrids eingesetzt [2]. Nach Abschluss einer Messung muss das Elektrodengrid meistens wieder entfernt werden, da oftmals direkt darunter Gewebe reseziert werden soll. Es wäre aber wünschenswert die Positionen der einzelnen Elektroden zu kennen um später auf die Ergebnisse der Untersuchung zurückgreifen zu können. Darüber hinaus werden Elektrodengrids chronisch implantiert um eine therapeutische Elektrostimulation durchführen zu können.

Üblicherweise werden heutzutage die Positionen der Elektroden durch Papier- oder kleine Wattestücke auf dem Kortex markiert. Dabei geht die exakte Position meistens verloren, weil diese Marker erst nach dem zumindest teilweisen Entfernen des Elektrodengrids angebracht werden können. Während der Operation kann es außerdem vorkommen, dass die Marker verrutschen oder versehentlich verschoben werden. Um nach der Operation die Position des Elektrodengrids zu dokumentieren werden Fotos mit einer Digitalkamera aufgenommen. Diese

**Abb. 1.** Schema eines 4x8 Elektrodengrids. Hervorgehoben sind die Elektroden, die getrackt werden müssen. Heller hervorgehoben ist die Elektrode, die zur Bestimmung des RMS-Fehlers herangezogen wird.



sind allerdings nur schwer interpretierbar was die Lage der Elektroden auf dem Kortex betrifft, da meistens nur ein kleiner Ausschnitt des Kortex sichtbar ist. Eine postoperative Betrachtung ist somit nur eingeschränkt möglich.

In der Literatur wird vereinzelt über die Registrierung von Elektrodengrids mit kommerziellen Navigationssystemen berichtet. Allerdings müssen hierbei alle Elektroden einzeln getrackt werden, was je nach Größe des Grids einen hohen zeitlichen Aufwand bedeutet. Im Folgenden wird ein Verfahren zur Bestimmung der tatsächlichen Elektrodenpositionen relativ zur Kortexoberfläche vorgestellt.

## 2 Methoden

Da es viele verschiedene Typen von Elektrodengrids gibt (z.B. eindimensionale mit 1x4 Elektroden oder zweidimensionale mit 4x8-Elektroden), ist eine Beschreibung der charakterisierenden Parameter der Elektrodengrids notwendig. Im Einzelnen sind das:

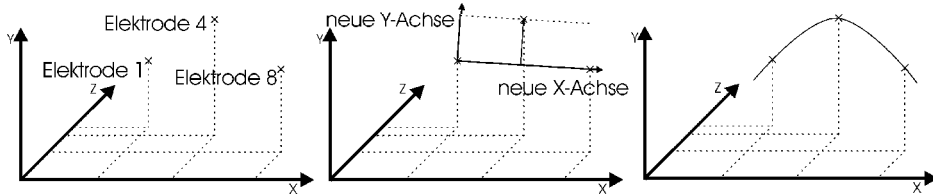
- Anzahl der Elektroden pro Kante
- Abstände der benachbarten Elektrodenmittelpunkte in beiden Richtungen
- Größe der Elektroden
- Dicke der Elektroden

Für jeden Elektrodengridtyp, der zum ersten Mal eingesetzt wird, müssen diese Parameter erfasst werden. Hierfür wurde eine Applikation entwickelt, die den Benutzer bei der Erstellung einer neuen Elektrodengrid-Vorlage unterstützt. Es werden die notwendigen Angaben erfasst und die quantitativen Parameter mit Hilfe eines Polaris P4-Trackingsystems vermessen.

Für das intraoperative Erfassen der Elektrodengrids, vor allem bei größeren Grids, ist es nicht praktikabel jede Elektrode einzeln zu tracken, da der Zeitaufwand dafür zu hoch wäre. Bei einem 4x8 Elektrodengrid wären z.B. 32 Einzelmessungen nötig. Daher ist das Ziel des vorgestellten Interpolationsansatzes mit möglichst wenigen Trackingvorgängen [3] ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen.

Bei der Entwicklung wurden verschiedene Interpolationsverfahren evaluiert. Eine rein lineare Interpolation benötigt die wenigsten Stützpunkte, maximal vier für ein zweidimensionales Elektrodengrid. Sie hat allerdings den Nachteil, dass

**Abb. 2.** Schema zur Parabelinterpolation: von links nach rechts: Ausgangssituation für die Interpolation, Lage und Bestimmung des zur Interpolation benutzten 2D-Koordinatensystems, Ergebnis der Interpolation.

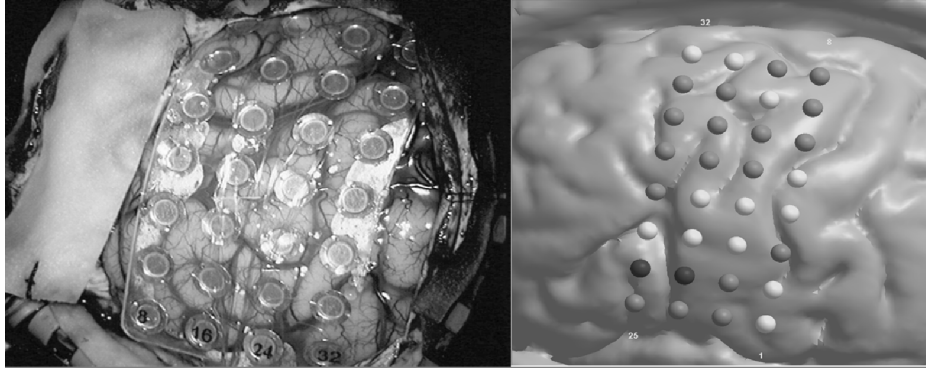


sie sich nur schlecht der konvexen Morphologie des Kortex anpasst. Die Parabelinterpolation wurde als adäquate Methode identifiziert, um den Kortexverlauf abzubilden. Für eine solche Interpolation werden pro Parabel drei Stützpunkte benötigt. Um ein zweidimensionales Elektrodengrid mit Hilfe dieses Verfahrens zu berechnen benötigt man neun Stützpunkte. Das bedeutet, dass eine Interpolation erst bei recht großen Elektrodengrids sinnvoll wäre.

Als Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand wurde eine Kombination aus linearer Interpolation und Parabelinterpolation gewählt. Die Parabelinterpolation erfolgt entlang der längeren Kanten des Elektrodengrids. Da die sich getrackten Stützpunkte auf der Oberfläche der jeweiligen Elektrode befinden, muss man für die Visualisierung die errechneten Elektrodenpositionen, sowie die Positionen der Stützpunkte, korrigieren, so dass man als Ergebnis die Mittelpunkte der Elektroden erhält. Dazu werden die berechneten Punkte der Parabel entsprechend der Dicke der Elektroden in Richtung der Parabelöffnung verschoben. Wegen der konvexen Morphologie des Kortex ist diese Art der Korrektur praktikabel. Zwischen den beiden dadurch entstehenden Parabeln wird dann linear interpoliert. Durch die Kombination von linearer und Parabel-Interpolation wird die Anzahl der benötigten Stützpunkte auf sechs (drei pro langer Kante) begrenzt. Die Stützpunkte sind die Mittelpunkte der Ekelektroden und der jeweils mittleren Elektrode an den langen Kanten (siehe Abbildung 1). Die lineare Interpolation zwischen den beiden Parabeln stellte sich als adäquat heraus, da die Elektrodengrids auf dem Kortex hauptsächlich entlang der längeren Kante gebogen werden.

Abbildung 2 zeigt das prinzipielle Verfahren für die Parabelinterpolation mit Hilfe von drei Punkten im dreidimensionalen Raum. Diese erfolgt in drei Schritten. Als erstes wird mit Hilfe der drei Punkte ein zweidimensionales Koordinatensystem definiert. Als Ursprung diente dabei die Position der Elektrode 1. Die Richtung der neuen x-Achse entspricht der Richtung von Elektrode 1 zu Elektrode 8. Die Richtung der neuen y-Achse wird aus Elektrode 4 und der neuen x-Achse bestimmt. Sie verläuft senkrecht zur neuen x-Achse, so dass sich Elektrode 4 im neuen Koordinatensystem befindet. In diesem zweidimensionalen Koordinatensystem wird dann als zweiter Schritt die Parabel durch die drei Punkte berechnet. Dann werden die interpolierten Punkte bestimmt und als

**Abb. 3.** Links: Foto einer intraoperativen kortikalen Elektrodengridanordnung. Rechts: visualisiertes Elektrodengrid auf einem Kortexphantom mit Farbkodierung der Aktivität



dritter Schritt zurück ins Dreidimensionale transformiert. Dieses Vorgehen wird analog für die Elektroden auf der anderen Seite des Grids angewendet.

### 3 Ergebnisse

Das Tracking und die Visualisierung der Elektroden grids wurde in das Operationsplanungssystem MOPS 3D (*Multimodales Operations-Planungs-System*) integriert [1]. Mit Hilfe dieses Systems wurde eine Evaluierung der Genauigkeit der Interpolation durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein häufig in der Neurochirurgie verwendeter Elektroden gridtyp mit hoher Elektrodenanzahl (4x8) vermessen. Ein solches Elektroden grid wurde auf einem Hirnphantom in acht verschiedenen Positionen angebracht und getrackt. Für jede dieser Positionen wurde die Messung zweimal durchgeführt. Für die Evaluation wurde ein Polaris P4-Trackingsystem der Firma NDI verwendet, welches laut Produktspezifikation einen RMS-Fehler (*Root Mean Square*) von 0,35 mm besitzt. Die Registrierung des Hirnphantoms anhand von Klebmarkern im MOPS-System ergab einen RMS-Fehler von 0.9 mm.

Für die Quantifizierung des maximalen Lokalisationsfehlers wurde die Elektrode herangezogen, die den größten Abstand zu allen getrackten Elektroden aufweist (siehe Abbildung 1). Für diese Elektrode wurde die aufgrund der Interpolation berechnete Lage mit ihrer getrackten Position verglichen. Aufgrund der Variation der Lage des Grids (acht Positionen) und der jeweils zweimaligen Messung ergab sich ein mittlerer maximaler Fehler von 2,04 mm (0,62 mm Standardabweichung). Da dieser Fehlerwert nur eine Aussage über eine Elektrode zulässt, wurde ein weiterer Fehlerwert definiert. Dieser Wert stellt die maximale Abweichung des Elektrodenabstands vom erwarteten Wert dar. Dieser Fehler wird für die beiden möglichen Richtungen (Richtung der Parabelinterpolation und Richtung der linearen Interpolation) getrennt betrachtet. Die Ergebnisse in

der erwähnten Versuchsreihe waren: 0,33 mm (0,15 mm Standardabweichung) in Richtung der Parabelinterpolation und 1,00 mm (0,18 mm Standardabweichung) in Richtung der linearen Interpolation.

Die vermessenen Elektrodengrids können in MOPS 3D selektiv visualisiert werden. Abbildung 3 zeigt eine solche Visualisierung. Dabei ist es möglich, die elektrischen Aktivitäten der einzelnen Elektroden bzw. daraus abgeleitete neurologischen Indikationen mittels einer Farbkodierung darzustellen. Dadurch kann sich der Chirurg beim erneuten Einblenden des Elektrodengrids einen schnellen qualitativen Eindruck über die räumliche Ausbreitung des zu beobachtenden Phänomens verschaffen.

## 4 Diskussion

Das vorgestellte Trackingverfahren von Elektrodengrids bietet einen guten Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand für den Operateur. Die gemessenen Fehlerwerte (2,04 mm, 0,62 mm Standardabweichung) werden von klinischer Seite toleriert. Das bisherige Verfahren, die Positionen der Elektrodengrids intraoperativ mühsam zu markieren sowie durch Fotos zu dokumentieren kann durch das Tracken weniger Elektroden ersetzt werden. Zusätzlich ist eine Visualisierung der ursprünglichen Elektrodenpositionen während des operativen Eingriffes jederzeit möglich. Da die Koordinaten des Elektrodengrids sowie alle anderen relevanten Planungsdaten gespeichert werden, ist eine postoperative Verlaufskontrolle auch durchführbar. Im nächsten Schritt sollen zusätzlich zur qualitativen Farbkodierung auch die Signalverläufe zu den einzelnen Elektroden abgelegt werden. Damit wäre es möglich kortikale Ableitungen räumlich zuzuordnen. Für den Fall chronisch implantierter Elektrodengrids können hiermit Verlaufskontrollen hinsichtlich neurophysiologischer Funktionen besser interpretiert werden.

## Literaturverzeichnis

1. Eisenmann U, Dickhaus H, Metzner R, Wirtz CR. Ein Computersystem zur Planung und Durchführung neurochirurgischer Interventionen. In: Biomedizinische Technik, Band 47, Ergänzungsband 1, Teil 1; 2002. p. 49–52.
2. Towle VL, Carder RK, Khorasani L, Lindberg D. Electrocortigraphic Coherence Pattern. *Journal of Clinical Neurophysiology* 1999;16(6):528–547.
3. Wirtz CR, Tronnier VM, Bonsanto MM, et al. Neuronavigation and Methoden und Ausblick. *Nervenarzt* 1998;69(12):1029–1036.