



Blockpraktikum Psychophysik, Neurosensorik und auditorische Signalverarbeitung

Protokoll zum am 13.02. bis 14.02.
durchgeführten Versuch im
Fortgeschrittenenpraktikum Physik



vorgelegt von
Jannes Janssen & Max Möller

betreut durch
Till Habersetzer

Oldenburg, den 14. Juni 2024

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Theoretische Grundlagen | 1 |
| 2.1 | Elektroenzephalografie (EEG) | 1 |
| 2.2 | Magnetoenzephalografie (MEG) und Squids | 2 |
| 3 | Versuchsdurchführung | 3 |
| 3.1 | Kalibrierung | 3 |
| 3.2 | Vorbereitung des Probanden | 4 |
| 4 | Auswertung | 6 |
| 4.1 | Gemessene Daten | 6 |
| 4.2 | Lokalisation der Aktivität | 8 |



1 Einleitung

In der Medizin und deren Erforschung nehmen die Elektroenzephalografie (EEG) und die Magnetoenzephalografie (MEG) bereits seit Jahren ein sehr großes Feld in der Diagnostik und Erforschung Neurodegenerativen Erkrankungen sowie dem generellen Verständnis vom Gehirn ein.

Der große Vorteil dieser beiden Techniken liegt darin das sie uns ermöglichen mit sehr hoher zeitlicher Auflösung die Aktivität im Gehirn aufzuzeichnen und dabei nicht invasiv vorgehen zu können.

Der eigentliche Versuch besteht daraus von zwei verschiedene Probanden den Medianus Nerv elektrisch zu Stimulieren und diese Ereignisse mittels MEG und EEG aufzuzeichnen. Im Anschluss werden diese Daten mit bereitgestellten Matlab Skripten Analysiert und verglichen um dann den genauen Ort der Stimulation des peripheren Nervensystems im Gehirn abbilden zu können.

2 Theoretische Grundlagen

Zunächst soll die den Versuchen zugrundeliegende physikalische Theorie erläutert werden, um ein Fundament für die Durchführung sowie die spätere Auswertung zu schaffen.

2.1 Elektroenzephalografie (EEG)



Die Elektroenzephalografie ist ein Verfahren der medizinischen Diagnostik und neurologischen Forschung. Es wird verwendet um die Aktivität der Großhirnrinde des Gehirns zu messen. Das Elektroenzephalogramm (kurz: EEG) ist die grafische Darstellung der Spannungsschwankungen dieser elektrischen Aktivität an der Kopfoberfläche.

Findet eine Aktivität im Gehirn statt, zeichnet das Gerät Spannungsschwankungen auf. Dies geschieht durch ein gleichzeitiges Auslösen mehrerer Aktionspotentiale mit der gleichen Spannungsdifferenz. Die erhaltenen Kurven werden auch Frequenzbänder genannt aus denen im Allgemeinen vier bestimmte Typen von Wellen hervorgehen. Alpha-, Beta-, Delta- und Theta-Wellen. Die unterschiedlichen Wellen treten auf, je nach Zustand des Patienten. Theta Wellen treten beispielsweise auf wenn sich der Patient im Dämmerzustand befindet, tritt dieser Typ von Wellen allerdings im Wachzustand auf so kann dies auf eine pathologische Ursache hindeuten.

2.2 Magnetoenzephalografie (MEG) und Squids

Die Magnetenzephalographie (MEG) ist eine Methode zur Messung von sehr schwachen Magnetfeldern, die durch elektrische Ströme im Gehirn erzeugt werden. Das zugrundeliegende Prinzip hinter diesem System ist die elektromagnetische Induktion. Durch das Einbringen eines elektrischen Leiters in ein veränderliches Magnetfeld wird eine gewisse Spannung am Leiter abfallen, diese Spannungsdifferenzen werden gemessen und sind vergleichbar mit den Kurven beim EEG. Den Kopf des Patienten wird als kugelförmiger Leiter betrachtet und die Quellen der Magnetfelder als elektrischen Dipol. Wichtig zu erwähnen ist das nur die Zellen die parallel zum Schädelknochen gerichtet sind ein von außen messbares Magnetfeld erzeugen. Der basierende Algorithmus zur Berechnung der Position, Stärke und Richtung wird in diesem Protokoll nicht näher beschrieben.

Die hochempfindlichen Sensoren die zur Messung verwendet werden, werden auch Squids genannt. Um diese Messungen durchführen zu können müssen die Squids zum einen mithilfe von flüssigem Helium auf unter 9° Kelvin gekühlt werden, um so die Anforderung eines Supraleiters zu erhalten. Zum anderen muss das Gerät in einem elektromagnetisch abgeschirmten Raum platziert sein, da externe Magnetfelder die Messung sonst so stark beeinflussen würden, so dass keine nutzbaren Ergebnisse erzielt werden könnten.

Wie eben schon erwähnt spielen die supraleitenden Eigenschaften eine große Rolle bei der Detektierung der Hirnaktivität. Aus diesen folgt auch die sehr hohe Präzision sowohl in räumlicher als auch in der zeitlicher Auflösung.

Das Hauptphänomen das der Funktion dieses Systems zugrunde liegt ist der Josephson Effekt. Dieser Effekt besagt das ein Elektronen- Paar bzw. Cooper- Paar durch eine isolierte Stelle in einem supraleitenden Ring tunneln können. Ein Cooper- Paar besteht aus zwei Elektronen mit entgegengesetzten Impuls und Spin. Daraus resultiert ein fließender Strom ohne das ein Spannungsabfall provoziert wird. Wenn allerdings einzelnen Elektronen tunneln dann kann trotzdem ein Spannungsabfall gemessen werden. Dies ist notwendig um dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion gerecht zu werden. Um die abfallende Spannung direkt messen zu können sind zwei Isolierende Stellen im Ring verbaut. An diesen Stellen ist parallel ein Spannungsmesser verbaut der die Spannungsdifferenz angibt.

3 Versuchsdurchführung

Im Folgenden wird die Durchführung der Versuche beschrieben, an die sich eine Darstellung der Ergebnisse anschließt.

3.1 Kalibrierung

Zu erst muss die Empfindlichkeitsschwelle am Medianus Nerv des Probanden ermittelt werden. Dazu wird eine Elektrode an der Innenseite des Unterarms kurz vor dem Handgelenk angebracht. Der Nerv wird dann elektrisch stimuliert und der Strom von 150 mA in kleinen schritten so weit erhöht bis die Empfindlichkeitsschwelle erreicht ist. Dort wird dann der Strom nochmal fein auf die Schwelle abgestimmt. Die Spannung bleibt dabei konstant bei 150 mV. Der Proband sieht nicht wann eine Stimulation stattfindet und soll berichten sobald er etwas spürt. Dabei sollte ein leichtes zucken im Daumen zu vernehmen sein. Ist dies nicht der Fall und der Reiz wird direkt unter den Elektroden wahrgenommen so muss der Strom verringert werden und ggf. die Elektroden neu positioniert werden. Interessant zu erwähnen ist es, dass der Medianus Nerv sowohl ein motorischer als auch in Teilen ein sensorischer Nerv ist. Deshalb sollte der Reiz bei richtiger stimulation im Daumenbereich wahrgenommen werden, da der Medianus Nerv gerade diesen bereich sensorisch versorgt. Sobald die Schwelle gefunden wurde wird ein drei mal so hoher Strom ausgewählt und der Proband erneut Stimuliert. Wenn der empfundene Reiz aushaltbar ist, ist die Kalibrierung abgeschlossen und es kann mit der Anbringung der EEG- Kappe fortgefahren werden. Die Stelle auf der die Elektroden aufliegen werden vorgemerkt um so eine erneute Ausrichtung und Kalibrierung zu vermeiden. Die folgenden Tab. 1 stellt das Messprotokoll zur Kalibrierung einer der beiden Probanden dar, mit dem dreifachen der Empfindlichkeitsschwelle von $I = 600$ mA.

| Voltage in mV | Current in mA | Sensation | Comment |
|---------------|---------------|------------------------|----------------------------|
| 150 | 150 | -- | <i>pre-experiment test</i> |
| 150 | 170 | -- | -- |
| 150 | 200 | Yes, along thumb/palm | -- |
| 150 | 190 | Yes, along thumb/ palm | -- |
| 150 | 570 | Yes, along thumb/ palm | <i>Subject agreed</i> |
| 150 | 150 | no | <i>Calibration in MEG</i> |
| 150 | 180 | no | |
| 200 | 200 | Yes, along thumb/ palm | |
| 200 | 600 | Yes, along thumb/palm | <i>Subject agreed</i> |

Tabelle 1: Beispiel einer Kalibrierung von Proband 1

3.2 Vorbereitung des Probanden

Bevor die EEG- Kappe aufgesetzt werden kann müssen zuerst die Elektroden am Ohr befestigt werden. Dies geschieht nach dem folgenden Schema wie in Abb. 1 zu sehen ist.

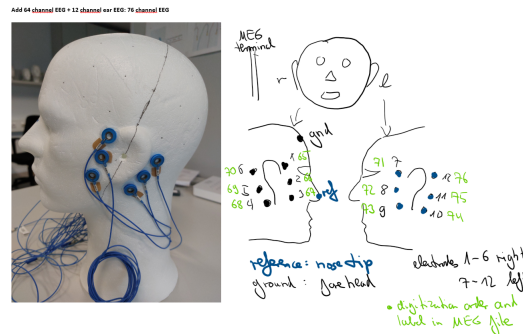


Abbildung 1: Anordnung der Elektroden im Bereich des Ohrs

Die Haut wird an den Stellen vorher gründlich gesäubert. Anschließend werden die Elektroden mit doppelseitigen Klebenringen an die jeweiligen Stellen in der richtigen Reihenfolge aufgeklebt. Die abrasive Leitpaste, die auch schon zur Reinigung benutzt wurde, wird in die Öffnung der Elektroden mithilfe von Spritzen appliziert. Mit Wattestäbchen wird die Leitpaste einmassiert und anschließend nochmal mit der Spritze abgedrückt.

Als nächstes sind die Elektroden im Gesicht dran. Diese werden wie in Abb. 2 zu sehen ist aufgeklebt.

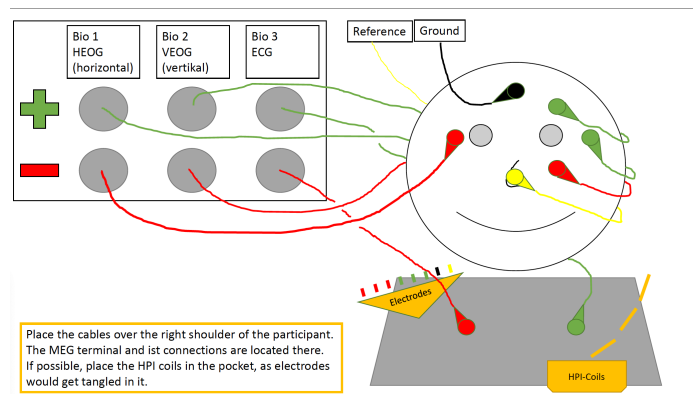


Abbildung 2: Anordnung der Elektroden im Bereich des Gesichts

Nach diesem Schritt ist der Proband bereit die EEG- Kappe aufzusetzen. Hier werden die Elektroden nach dem Schema und ihrer Kennzeichnung, wie

in der folgenden Abb. 3 zu sehen ist, in die vorgesehenen Plätze der Kappe gesteckt. Die Bezeichnungen auf dem Bild weichen von denen im Praktikum ab.

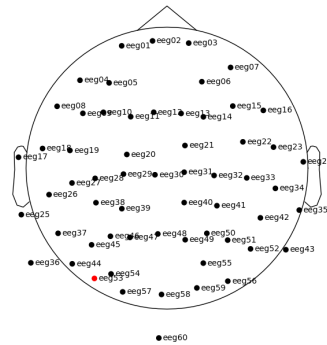


Abbildung 3: Schema der 64- Kanal EEG Kappe

Hier muss mit einer noch größeren Achtsamkeit vorgegangen werden um eine gute Leitfähigkeit gewährleisten zu können, da ein direkter Hautkontakt durch die Haare verhindert wird.

Sind alle Elektroden gesteckt und geklebt werden die Signale auf den PC übertragen. Jetzt können alle Elektroden nachgearbeitet werden die einen unzureichenden Leitwert aufweisen. Dies kann direkt am PC abgelesen werden. Sowohl die Elektroden im Gesicht als auch die auf dem Kopf werden nach dem selben Prinzip der Applikation beim Ohr angewandt. Die Anzahl der Elektroden beläuft sich auf, 64 an der Kappe, 12 an den Ohren und weitere 6 im Gesicht. Zur leichten Handhabung und zur Verhinderung von Verletzungen werden die Elektroden zu mehreren Bündeln mit Tape zusammengeklebt. Nach dieser Prozedur muss eine Digitale Karte des Kopfes in relation zu den Elektroden erstellt werden. Dies ist notwendig um mithilfe des MRTs und der digitalen Karte die genaue Position des abgebildeten Reizes sehen zu können.

Die Karte wird erstellt indem dem Probanden eine Brille aufgesetzt wird, und mit einem Stift der mit dem PC verbunden ist, die Brille abgetastet wird. Wichtig ist außerdem der Punkt zwischen den Augen. Dieser Schritt ist notwendig um einen Referenzpunkt zu schaffen. Erst jetzt werden die Elektroden der Kappe nach einer bestimmten Reihenfolge digitalisiert. Dann kommen die Elektroden an Ohren dran. Anschließend wird zur Steigerung der Genauigkeit der Kopf mit dem Stift abgefahren. Anschließend kann die Brille vorsichtig abgesetzt werden. Der Proband ist jetzt bereit um mit dem Versuch im MEG beginnen.

Wenn der Proband im MEG sitzt und die Sitzhöhe entsprechend eingestellt

ist können die Kabel in die dafür vorgesehenen Plätze am Terminal gesteckt werden. Bis der Proband final im MEG sitzt werden kontinuierlich die Leitfähigkeiten der Elektroden überprüft und ggf. nachgebessert.

4 Auswertung

4.1 Gemessene Daten

Mit Hilfe von bereit gestellten Matlab-Skripten kann aus den ermittelten Daten für das EEG und das MEG nun eine genaue Ortsangabe für die Hirnaktivität errechnet werden. Zunächst kann durch die digitalisierten Elektroden des EEG ein Modell vom Kopf erzeugt werden. Da jeder elektrode ein Potential abhängig zur Zeit zugeordnet werden kann, kann so auch der Hirnaktivität eine ungefähre Lokalisation zugeordnet werden. Analog kann für das MEG über die Position der SQUID-Detektoren die Hirnaktivität aufgezeichnet werden. Die Rohdaten sehen aus wie in den Abbildungen Abbildung 4 dargestellt:

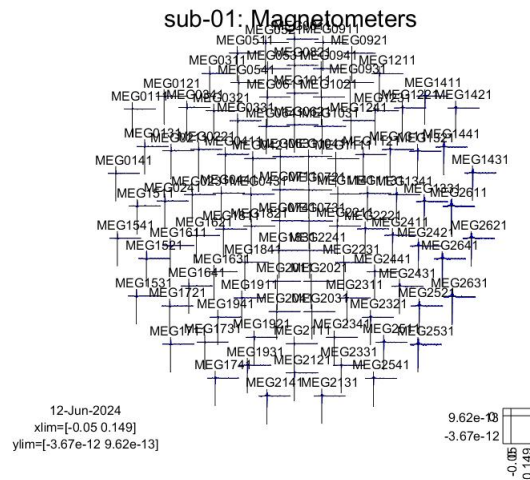


Abbildung 4: Datenpunkte der Magnetometer im MEG

per Matlab können die einzelnen Datenpunkte untersucht werden. Es ist eine deutliche Erregung zu erkennen, welche sich kongruent zum elektrischen Reiz verhält. Analog zu Abbildung 4 gibt es eine Darstellung der Gradiometer, kombinierten Gradiometer und dem EEG.

Betrachtet man nun die Intensität dieser Erregungen, lässt sich ein besser Gesamtüberblick erzeugen, welcher auf die Aktivität bestimmter Regionen des Hirns hindeutet.

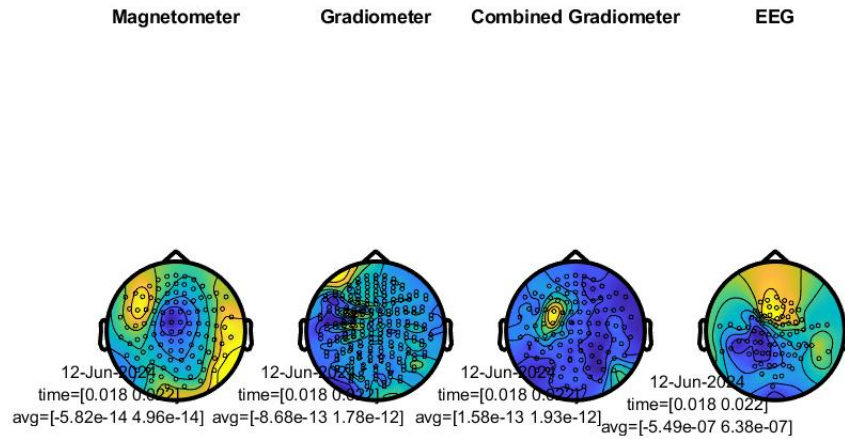


Abbildung 5: Unterschiedlich hohe Amplituden (Blau niedrig, Gelb hoch) der Detektoren

In Abbildung 5 werden die Amplituden der unterschiedlichen Messwerte dargestellt. Wichtig zur Interpretation dieser Abbildung ist, dass eine hohe gemessene Amplitude nicht auf eine Aktivität in diesem Bereich deutet. Für das Magnetometer und EEG gilt, dass der Gradient mit der tatsächlichen Aktivität korreliert. In dieser Abbildung ist die Lokalisation der Aktivität am Besten im kombinierten Gradiometer zu erkennen. Hier deutet eine hohe gemessene Amplitude direkt auf eine erhöhte Aktivität des Hirns.

Mit den anatomischen Daten des Probanden aus einem MRT, lässt sich nun das dreidimensionale Modell des Kopfes über die genaue anatomische Struktur legen. So kann final die gemessene Aktivität im anatomischen Bild zugeordnet werden.

4.2 Lokalisation der Aktivität

Die vorangegangene Modellierung ermöglicht es uns den Ort der Stimlutaion im Gehirn des Probanden abzubilden, wie in den folgenden Abb. 6 zu sehen ist.



(a) Coronare Ansicht

(b) Sagitale Ansicht

Abbildung 6: Lokalisation der Aktivität in der linken Hemisphäre. Grün: EEG, Rot: MEG.

Die Stimulation wurde wie vermutet in der linken Hemisphäre abgebildet, da der Reiz am rechten Handgelenk des Probanden gesetzt wurde. Außerdem ist aus Abbildung 6a ersichtlich, dass die Aktivität genau im motorischen Kortex stattfindet.

Vergleicht man Abbildung 6b mit Abbildung 7 sieht man das der Reiz im Primär- motorischen Kortex abgebildet wird. Da die hauptaufgabe des Nervus Medianus die Innervierung der umliegenden Muskulatur darstellt, ist es nicht verwunderlich das die Aktivität in diesem Bereich des Gehirns abgebildet wird. Da der Nervus Medianus allerdings noch eine sensorische aufgabe hinzukommt, müsste diese Aktivität beim spüren des Reizes im Daumen auch im Gehirn abgebildet werden, allerdings ist dies nicht der Fall. Wahrscheinlich ist diese Aktivität relativ gesehen zum motorischen nur so gering ist das sie nicht als solche erkannt wird.

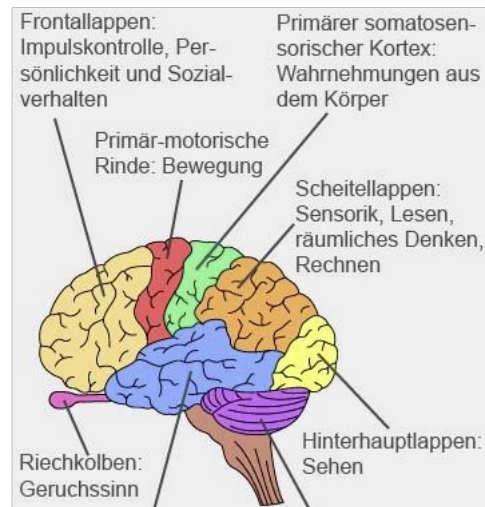


Abbildung 7: Abschnitte des menschlichen Gehirns