

Studienarbeit

Sommersemester 2008

Biomechatronische Sensorik zur Erfassung und
Auswertung von elektrischen Aktivitäten im Gehirn

Bearbeitet von:
Konstantin Haag

Betreut von:
Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Edmund Schießle

Erklärung des Studenten

Student: **Konstantin Haag**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Studienarbeit selbstständig verfasst und nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt habe.

Sämtliche benutzte Quellen und Hilfsmittel sind angegeben. Wörtliche und sinngemäße Zitate sind als solche gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Erklärung des Studenten.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
1. Aufgabenstellung.....	5
1.1 Beschreibung der Aufgabe dieser Studienarbeit.....	5
1.2 Das EEG (Elektroenzephalogramm).....	5
1.3 Anwendung des EEG.....	6
2. Entwicklung und Aufbau des EEG.....	10
2.1 Anforderungen an das Projekt.....	10
2.2 Stand der Technik.....	12
2.3 Aufbau des Vorverstärkers.....	13
2.4 Aufbau des Signalgenerators.....	15
2.5 Layout der Platine.....	16
2.6 Gehäuse.....	18
2.7 Erforderliches Zubehör.....	19
2.8 Versuchsaufbau.....	19
3. Stückliste.....	21
4. Zusammenfassung und Danksagung.....	23
5. Literaturverzeichnis.....	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Professionelles EEG	6
Abbildung 2 Auswertung eines EEG	6
Abbildung 3 Alpha Wellen	7
Abbildung 4 Beta-Wellen.....	7
Abbildung 5 Theta-Wellen	8
Abbildung 6 Delta-Wellen.....	8
Abbildung 7 Stationäres EEG, Abbildung 8 Mobiles EEG.....	12
Abbildung 9 Schaltung des Vorverstärkers in Orcad.....	14
Abbildung 10 Aufbau des Signalgenerators in Orcad.....	15
Abbildung 11 Schaltung auf der Steckplatine.....	16
Abbildung 12 Platine in Orcad Layout.....	17
Abbildung 13 Bestückte, funktionsfähige Schaltung	17
Abbildung 14 Unbearbeitetes Gehäuse mit Deckel.....	18
Abbildung 15 Gold Elektroden.....	19

1. Aufgabenstellung

1.1 Beschreibung der Aufgabe dieser Studienarbeit

Aufgabe und Ziel dieser Studienarbeit war es, eine elektronische Schaltung mit einfachen Mitteln zu entwickeln und aufzubauen, welche es ermöglicht, die Ströme im menschlichen Gehirn zu messen und diese dann sichtbar und hörbar zu machen.

1.2 Das EEG (Elektroenzephalogramm)

Mit Hilfe der EEG-Untersuchung lassen sich die Hirnströme darstellen. Dabei werden mehrere Elektroden auf die Kopfhaut geklebt, welche die schwache elektrische Aktivität des Gehirns durch den Schädelknochen hindurch registrieren. Zwischen jeweils zwei Elektroden werden in verschiedenen Kombinationen die elektrischen Spannungsunterschiede gemessen, verstärkt und schließlich als Hirnstromwellen ausgegeben. Der Betroffene sitzt dabei entspannt in einem Sessel und wird gelegentlich aufgefordert, die Augen zu öffnen oder zu schließen. Der gesamte Vorgang nimmt etwa 20 Minuten in Anspruch. Die Untersuchung ist nicht schmerzhaft oder gefährlich. Die Auswertung dieser Hirnstromkurven erlaubt Rückschlüsse auf eine Epilepsieveranlagung bzw. Epilepsieerkrankung oder auf andere Gehirnerkrankungen (z. B. Tumoren, Entzündungen oder Durchblutungsstörungen).



Abbildung 1 Professionelles EEG

1.3 Anwendung des EEG

Das EEG wird heute am häufigsten zur Diagnostik epileptischer Anfälle eingesetzt. Auch zur Beurteilung von chronischen Schlafstörungen und dem Schlaf-Apnoe-Syndrom gehört immer ein EEG.

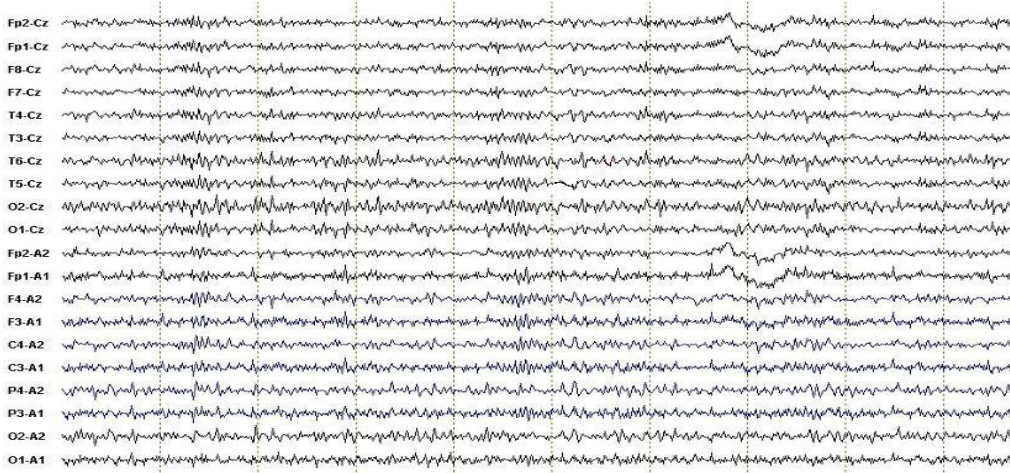


Abbildung 2 Auswertung eines EEG

Der Arzt beurteilt die Hirnstromwellen anhand ihrer Frequenz (Messung in Hertz = Hz), Wellenhöhe (Amplitude), Steilheit und Lokalisation auf der Gehirnoberfläche. Wichtig ist auch die Symmetrie zwischen den beiden Gehirnhälften. Man unterscheidet folgende Wellenformen:

Alpha-Wellen:

Sie stellen den Grundrhythmus des ruhenden Gehirns bei geschlossenen Augen dar. Als Alpha-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich zwischen 8 und 13 Hz bezeichnet. Ein verstärkter Anteil von Alpha-Wellen wird mit leichter Entspannung, bzw. entspannter Wachheit assoziiert.

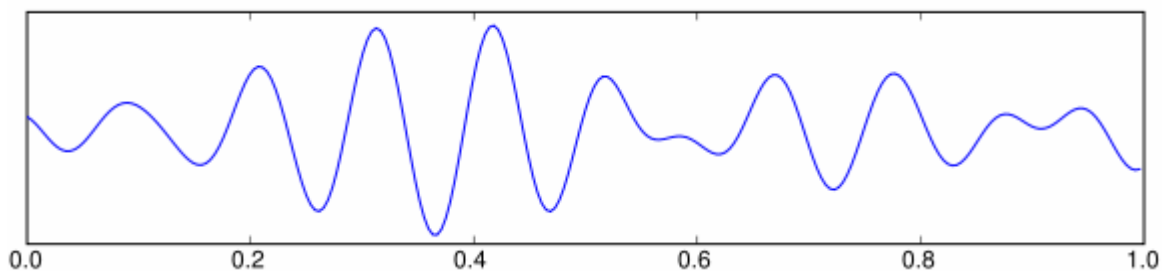


Abbildung 3 Alpha Wellen

Beta-Wellen:

Sie treten unter der Einwirkung von Sinnesreizen oder bei geistiger Aktivität auf. Beta-Wellen stellen einen bestimmten Ausschnitt aus dem Spektrum des Hirnwellenbildes dar, und nehmen einen Frequenzbereich zwischen 14 und 30 Hz ein. Das Auftreten von Beta-Wellen hat verschiedene Ursachen und Bedeutungen, z.B. kommen Beta-Wellen bei etwa 8 % aller Menschen als normale EEG-Variante vor. Beta-Wellen entstehen aber auch als Folge der Einwirkung bestimmter Psychopharmaka oder kommen im REM-Schlaf vor. Physiologisch treten β -Oszillationen außerdem z.B. beim konstanten Halten einer Kraft auf.

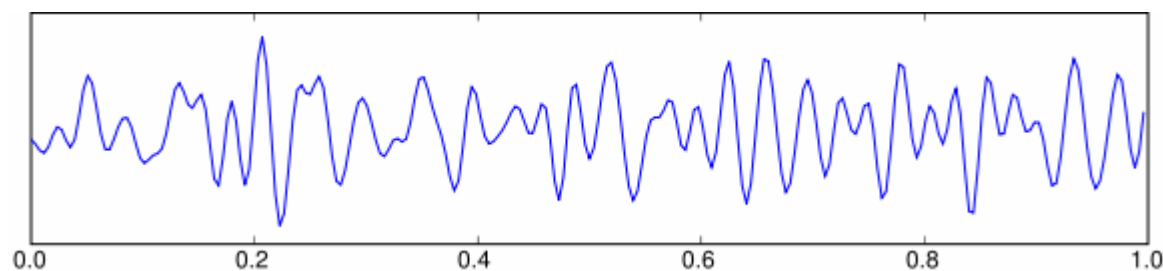


Abbildung 4 Beta-Wellen

Theta-Wellen:

Sie werden auch als Zwischenwellen bezeichnet. Diese Wellenform ist bei Kindern normal, tritt im Jugendalter seltener und bei Erwachsenen nur im Schlaf oder bei starker Müdigkeit auf. Man reagiert in dieser Phase nur noch auf wichtige oder starke Umweltreize. Als Theta-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich zwischen 4 und 7 Hz bezeichnet.

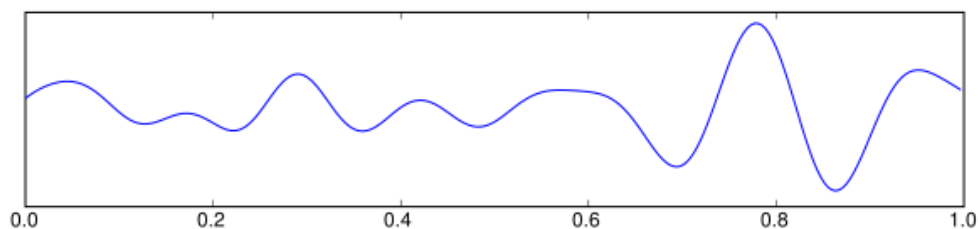


Abbildung 5 Theta-Wellen

Delta-Wellen:

Bei Kindern sind sie unbedenklich, bei wachen Erwachsenen können sie aber auf eine Gehirnschädigung hinweisen. Im Tiefschlaf sind Deltawellen auch bei gesunden Menschen normal. Delta-Wellen weisen eine niedrige Frequenz von 0,3 bis 3,5 Hz auf, sie sind typisch für die traumlose Tiefschlafphase.

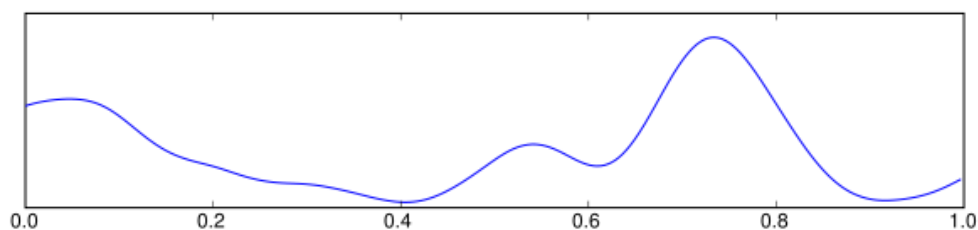


Abbildung 6 Delta-Wellen

Vor einigen Jahren hat die Wissenschaft auch eine neue Form von Wellen entdeckt, genannt Gamma-Wellen (etwa zwischen 30 und 80 Hertz). Diese Wellenform muss aber noch genauer erforscht werden und lässt sich auf dem EEG nicht so einfach darstellen, man dachte damals sogar, es wären Störungen der Elektroden bzw. der Geräte, da diese Frequenzen immer wieder für ganz kurze Zeit auftraten. Man vermutet, dass es sich dabei um eine Synchronisation der verschiedenen Sinnesorgane im Gehirn handelt, damit wir unsere Umwelt verzögerungsfrei wahrnehmen können.

In dieser Studienarbeit möchte ich mich mit den Alpha- und Beta-Wellen beschäftigen, da diese leicht auszumachen sind und genug Feedback darüber geben, ob wir entspannt sind oder nicht.

2. Entwicklung und Aufbau des EEG

2.1 Anforderungen an das Projekt

1. Geometrie

- 1.1 Es wäre wünschenswert, wenn die Platine die Maße der Europlatine (160mmx100mm) nicht überschreitet, +/- 15% werden noch toleriert.
- 1.2 Es müssen zwei Batterien und 3 Elektroden angeschlossen werden, welche für den Transport sicher befestigt sein müssen.
- 1.3 Ein Lautsprecher, welcher die akustische Wiedergabe übernimmt, soll ebenfalls sicher angebracht sein und darf in seiner Funktion nicht behindert werden.

2. Kräfte

- 2.1 Um die Batterien anzuschließen darf nicht mehr Kraft angewendet werden, als man es von alltäglichen Haushaltsgeräten wie z.B. einer Fernbedienung gewohnt ist. Ein Druck in die Halterung von max. 5N darf nicht überschritten werden.
- 2.2 Ebenso gilt dies für den Anschluss der Elektroden, für welche man nicht mehr wie 5N zum Anschliessen benötigen darf

3. Energie/Strom

- 3.1 Die Elektrische Energieversorgung wird durch Batterien gewährleistet.

4. Stoffe

- 4.1 Es ist wünschenswert, ein Gehäuse für die Schaltung und die Unterbringung der Batterie, der Elektroden und des Lautsprechers zu bauen. Die Materialien dieses Gehäuses dürfen nicht gesundheitsschädlich sein.
- 4.2 Das Material für die Platine wird von der Fertigungsfirma festgelegt, kann also nicht selbst gewählt werden.

5. Sicherheit

- 5.1 Zur Sicherheit des Menschen muss die Energieversorgung für dieses Projekt immer über Batterien bezogen werden. Es darf weder ein Netzteil, noch andere Geräte als Energieversorgung verwendet werden, welche mit dem Haushaltsnetz verbunden sind.

6. Fertigung

- 6.1 Scharfe Kanten und Ecken müssen vermieden werden.

7. Instandhaltung

- 7.1 Da eine Batterie naturgemäß ihre Spannung bei Gebrauch verliert, sollte man diese bei auffallenden negativen Funktionen, welche auf Schwäche der Batterie hindeuten, wechseln. Dieser Vorgang darf nicht länger wie 1 Minute dauern.
- 7.2 Der Tausch aller drei Elektroden darf nicht länger wie 1 Minute dauern.

2.2 Stand der Technik

In den frühen 40er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden Entdeckungen gemacht, dass das Gehirn Ströme aussendet. Im Laufe der Zeit konnte man diese Ströme immer präziser deuten, da auch die erforderliche Elektronik sich rapide entwickelt hatte. Heutige Geräte zur Aufzeichnung des EEG werden hauptsächlich in Krankenhäusern zur Analyse und Vorbeugung von Krankheiten eingesetzt. Diese Geräte sind sehr präzise aber auch Groß und sehr teuer. Es gibt aber auch kleinere Geräte, welche man zu Hause verwenden kann. Diese sind zwar viel günstiger als solche im Krankenhaus, aber trotzdem noch sehr teuer. Dieses Projekt soll deswegen so günstig wie möglich werden aber dennoch seinen Zweck zum Abhören des EEG erfüllen.

Die Platine besteht aus einem Vorverstärker, welcher die Ströme des Gehirns verstärkt und filtert. Danach kommt ein Signalgenerator, der die verstärkten Ströme für die akustische Wiedergabe mit einem Lautsprecher aufbereitet.



Abbildung 7 Stationäres EEG



Abbildung 8 Mobiles EEG

2.3 Aufbau des Vorverstärkers

Als erste Baugruppe des Vorverstärkers kommt die Eingangsstufe, welche aus den als Differenzverstärker in Emitterschaltung geschalteten Transistoren T1 und T2 besteht, den Widerständen R1 bis R6 und R15 sowie den Kondensatoren C1 und C4. Die Basis von T1 soll für spätere Versuche E1 heißen, die Basis von T2 soll E2 heißen. Die Masse der beiden Transistoren wird ebenfalls später verwendet und heißt E0. Diese drei Eingänge des Vorverstärkers werden mit den Elektroden verbunden, welche auf der anderen Seite die Spannung an der Oberfläche des Kopfes ableiten. Die beiden Kondensatoren C1 und C4 sorgen für eine gleichspannungsmäßige Entkopplung der Eingangsstufe, da die beiden Eingänge nicht auf Masse liegen bzw. durch einen sehr hochohmigen Widerstand von der Masse getrennt sind. Der Eingangswiderstand der Schaltung wird durch die beiden Widerstände R1 und R6 bestimmt, welche hochohmig gewählt wurden. Die Widerstände R3, R5 und R15 dienen zur Stromgegenkopplung und sind sehr hochohmig gewählt, um der Schaltung einen Konstantstrom einzuprägen. An den beiden gleich großen Kollektorwiderständen R2 und R4 fällt eine gleichgroße Spannung ab, wodurch die beiden Ausgangsspannungen ebenfalls gleichgroß sind.

Der nachfolgende Differenzverstärker, bestehend aus OP1 ist als frequenzselektiver Verstärker zur Unterdrückung höherer Frequenzen beschaltet. Der aus OP2 bestehende, nichtinvertierende Verstärker ermöglicht eine weitere Verstärkung der Wechsellspannungssignale um den Faktor 1 bis ungefähr 100. Durch die Beschaltung mit C7 werden Gleichspannungen nicht verstärkt, daher kann trotz hoher Verstärkung auf einen Offset-Abgleich verzichtet werden.

Die letzte Baugruppe des Vorverstärkers ist ein Tiefpassfilter 4. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von etwa 25 Hz, welcher vor allem dazu dient, die aus dem Lichtnetz einfallende 50 Hz-Brummspannung zu unterdrücken. Ein solcher Tiefpassfilter lässt sich realisieren, wenn man 2 Tiefpassfilter 2. Ordnung hintereinander schaltet.

Die Gesamtverstärkung des Vorverstärkers lässt sich mit P1 zwischen etwa 500- bis 40000-fach einstellen. Bei einem sehr hohen Verstärkungsfaktor neigt die Schaltung –je nach Operationsverstärker– jedoch zum schwingen.

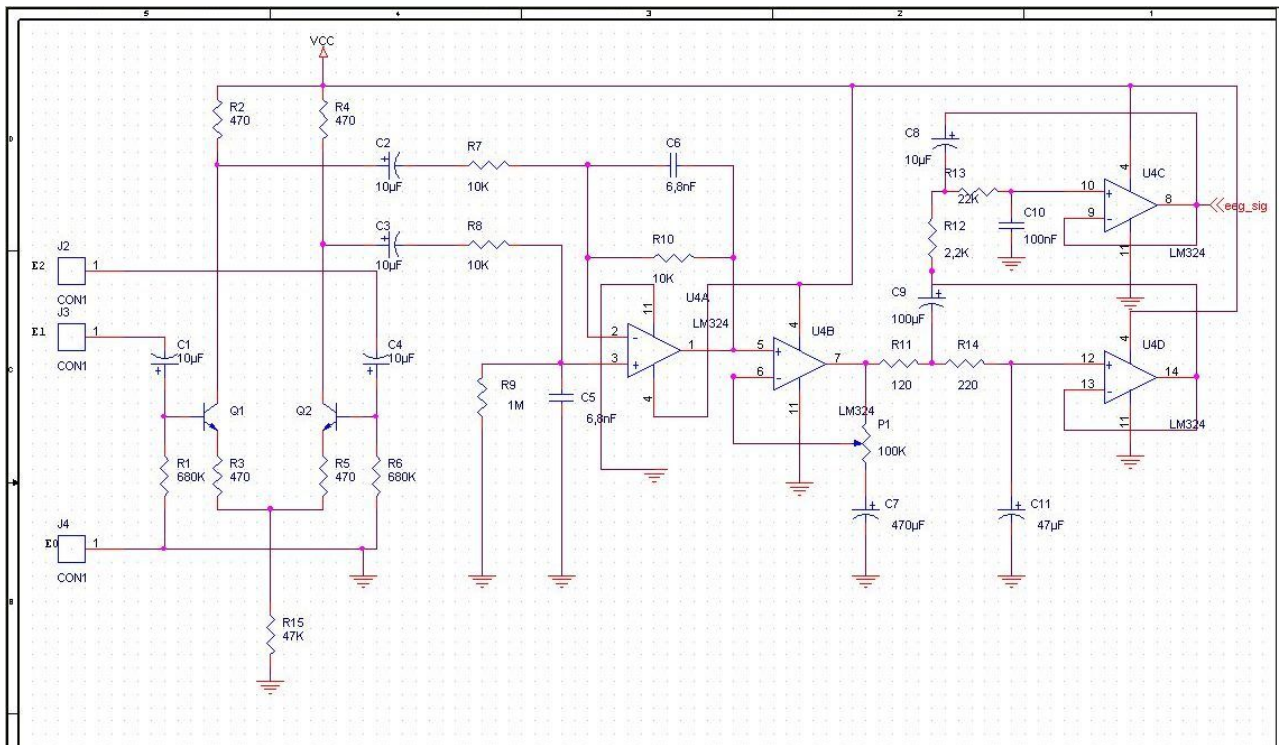


Abbildung 9 Schaltung des Vorverstärkers in Orcad

2.4 Aufbau des Signalgenerators

Das Signal am Ausgang des Vorverstärkers wird über C12 und R16 differenziert und dem nicht invertierenden Komparator OP5 zugeführt. Die Triggerschwelle des Komparators wird mit P2 eingestellt und mit der LED kontrolliert. Danach folgt ein Rechteckgenerator, der über die Diode D2 gesteuert wird. Hierbei erzeugt jedes am Eingang anliegende, positive Signal, das die Triggerschwelle überschreitet, einen positiven Ausgangsimpuls am Komparatorausgang. Die Diode sperrt und der Rechteckgenerator schwingt. Das Signal wird über R21 und C14 dem Lautsprecher zugeführt. Überschreitet jetzt aber das Eingangssignal des Signalgenerators die Triggerschwelle nicht, ist der Komparatorausgang negativ und die Diode leitet. Dabei wird der Kondensator C13 kurzgeschlossen und der Generator schwingt nicht.

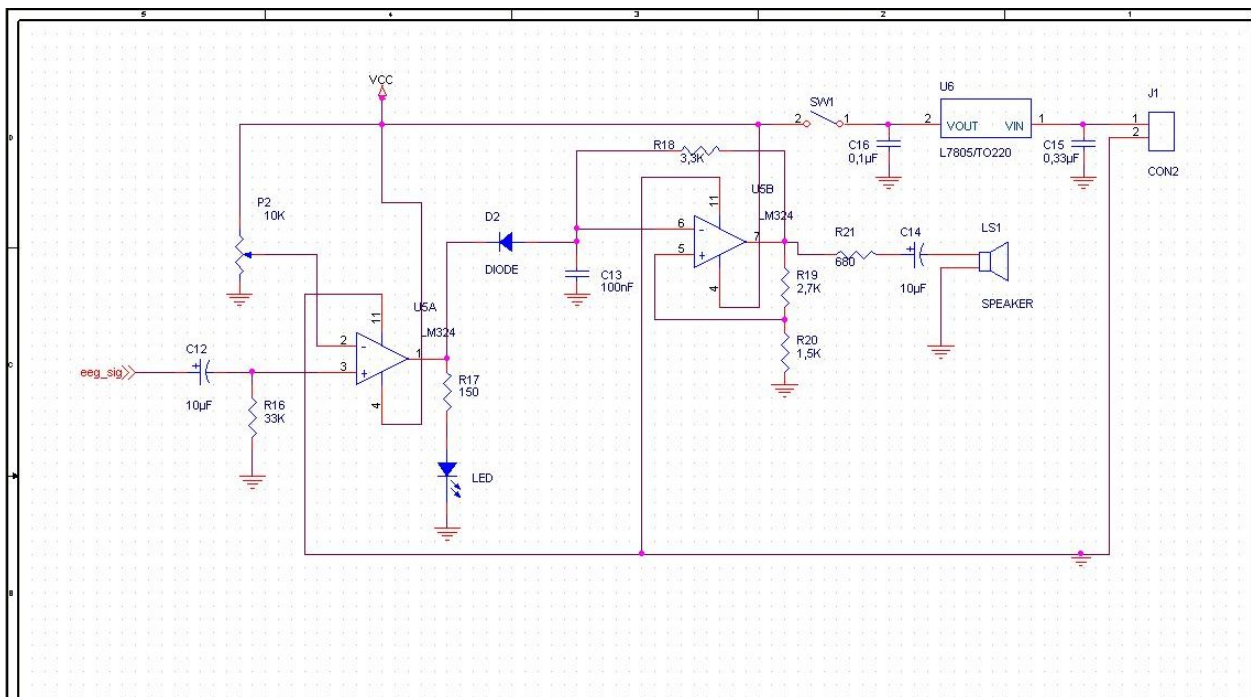


Abbildung 10 Aufbau des Signalgenerators in Orcad

2.5 Layout der Platine

Nachdem die Schaltung nun in Orcad erstellt wurde, baute ich sie zunächst auf dem Steckbrett auf. Es wurden THMD (Through Hole mounted Device) Bauteile benutzt, da diese für den Aufbau auf einem Steckbrett einfacher zu handhaben sind. Nachdem die Elektroden am Kopf befestigt waren und die Spannungsversorgung bereitgestellt wurde, konnte man erste Piepser aus dem Lautsprecher hören. Nach einigen Feineinstellungen mit den beiden Potis wurde das Signal bei ruhiger und entspannter Sitzhaltung hörbar.

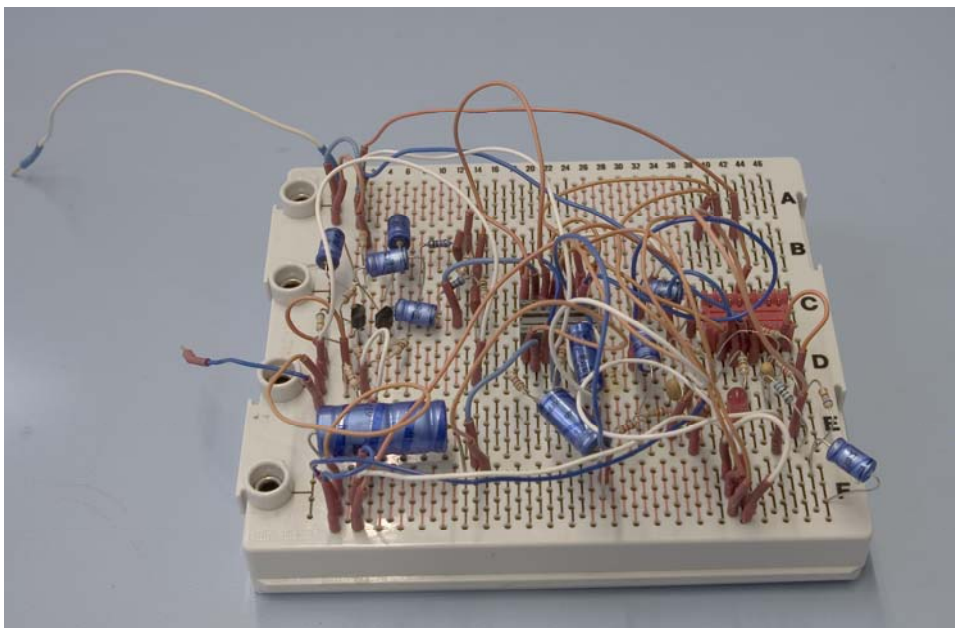


Abbildung 11 Schaltung auf der Steckplatine

Als nächsten Schritt musste nun das Layout in Orcad erstellt werden, damit die Platine von einem Hersteller gefertigt werden konnte. Da keine besonderen Bauteile verwendet wurden, waren alle Footprints vorhanden und das Layout ziemlich schnell fertig.

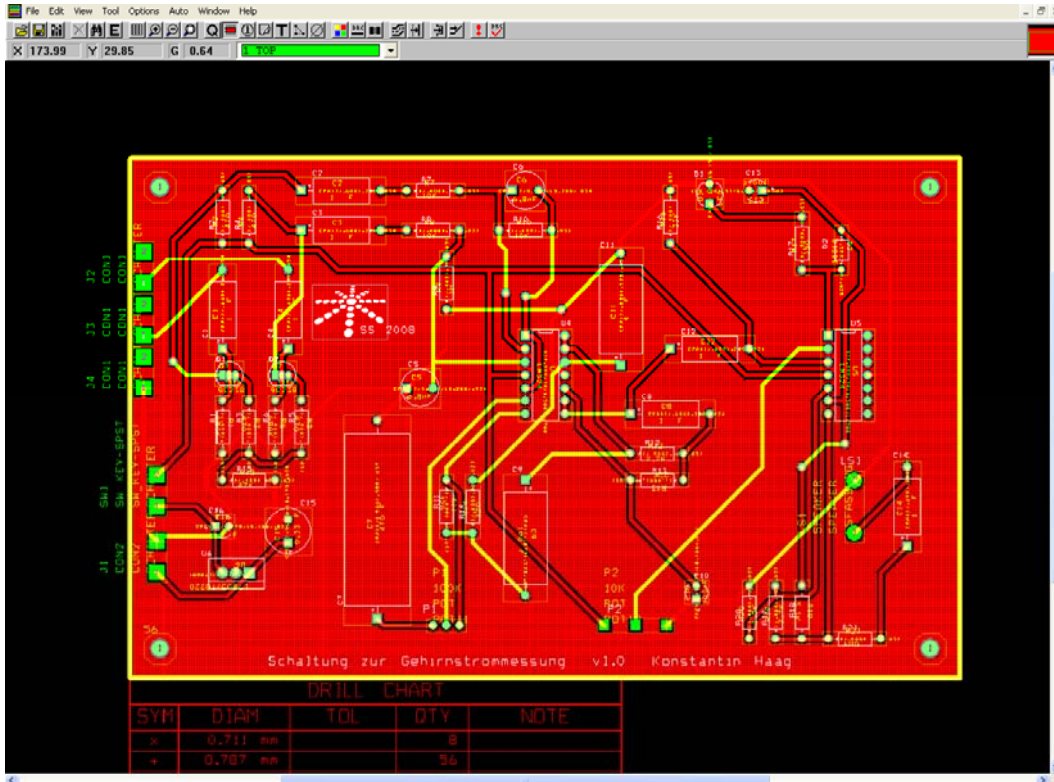


Abbildung 12 Platine in Orcad Layout

Ungefähr eine Woche nachdem die Orcad Datei an die Firma Eurocircuit abgeschickt wurde, kam diese fertig geätzt zurück. Komplette bestückt und alles Zubehör angeschlossen, testete ich sie mit Erfolg. Danach ging es zum nächsten Schritt, dem Bau eines Gehäuses.

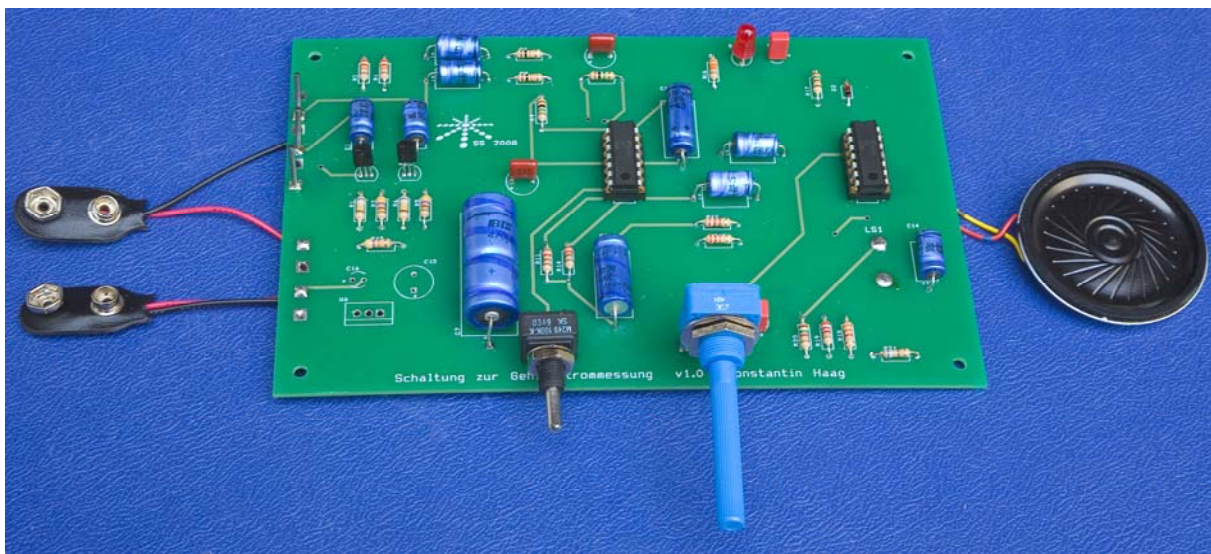


Abbildung 13 Bestückte, funktionsfähige Schaltung

2.6 Gehäuse

Um die Platine vor äußeren Kräften und elektronischer Strahlung besser zu schützen, entschied ich mich, diese in ein Gehäuse der Firma Bopla einzubauen, da es an der Hochschule verfügbar war und auch optisch gut aussieht. Außerdem hat es an den Innenseiten Führungsschienen, welche für die Aufnahme von Europlatinen gedacht sind. Die Maße des Gehäuses sind 165 mm x 110 mm x 52 mm; in der Länge und Breite also kaum größer als die Platine. Ein weiterer Vorteil eines Gehäuses ist, dass die Batterien und der Lautsprecher sauber untergebracht werden können.



Abbildung 14 Unbearbeitetes Gehäuse mit Deckel

2.7 Erforderliches Zubehör

Damit die Spannungen die das Gehirn permanent erzeugt, sauber abgegriffen werden können, sollten gut konfektionierte und für den EEG Gebrauch bestimmte Elektroden verwendet werden. Wie schon beschrieben, werden bei professionellen Analysen des Gehirns, z.B. in Krankenhäusern, mindestens 12 Elektroden verwendet. Um aber lediglich die Aktivität des Gehirns zu beobachten, reichen schon 3 Elektroden. Außerdem werden 2 Batterien benötigt, damit für die OP's eine positive und eine negative Spannung zur Verfügung gestellt werden kann. Außerdem wird die Gefahr, dass die Elektroden bei eventuell beschädigten Netzteilen unter Strom stehen, beseitigt.



Abbildung 15 Gold Elektroden

2.8 Versuchsaufbau

Um es gleich zu sagen: Die Spannungen am Kopf, welche mit den Elektroden abgeleitet werden, stellen ein sehr kompliziertes Signal dar. Um es zu deuten, braucht man jahrelange Erfahrung und die Hilfe von Computern. Das EEG ist ein Signal, das Aussagen über die allgemeinen Betriebsbedingungen des Gehirns zulässt, wie z.B. ob es von einem müden oder wachen Menschen stammt.

Die zu messenden Signale sind in der Größenordnung von 5 bis 150 μV , weswegen eine ruhige Atmosphäre von Vorteil ist, damit man sich entspannen und konzentrieren kann.

Als weiteres Zubehör empfiehlt es sich, ein spezielles Gel zu benutzen, welches die Ableitung EKG/EEG verbessert, da dieses einen geringeren Widerstand auf der Oberfläche des Kopfes erzeugt.

Es empfiehlt sich, den Versuch auf sorgfältig gereinigter und fettfreier Haut durchzuführen und die Elektroden mit dem Leitgel zu befüllen. Danach legt man die Elektroden nach folgendem Schema an:

- Elektrode E2 hinter dem rechten Ohr
- Elektrode E1 auf der rechten Stirn, dicht am Haaransatz
- Elektrode E0 an der rechten Schläfe

Nachdem die Spannungsversorgung durch die Batterien gegeben und die Schaltung mit den Elektroden verbunden ist, sollten jetzt die Störfaktoren beseitigt werden.

Damit solche Störungen, welche schon durch die Bewegung der Kaumuskeln, das Sprechen oder gar Blinzeln verursacht werden, im Voraus vermieden werden, sollte man sich jetzt einen gemütlichen Platz suchen, die Augen schließen und entspannen. Dabei dürfen keine Bewegungen mit dem Kopf gemacht werden. Nach wenigen Momenten kann man ein Signal hören. Nun kann man die Gesamtverstärkung oder die Triggerschwelle verändern und sich den Unterschied des Signals anhören. Nachdem nun die beste Einstellung gefunden wurde, bei der sich das Signal am deutlichsten zwischen geschlossenen und offenen Augen unterscheidet, kann man zum Schluss noch versuchen, sich tief zu entspannen.

3. Stückliste

Ziel dieser Studienarbeit war es, diese Schaltung mit einfachen elektronischen Bauteilen zu verwirklichen, weswegen man alle Bauteile im gut sortierten Fachhandel bekommt. Als Operationsverstärker werden 4-Fach OP's im DIP 14 Gehäuse verwendet. Ich habe 2 OP's miteinander verglichen. Zum einen den LM 324 und den TLC 274. Da der TLC 274 aktueller ist, ist auch die Schwingneigung geringer.

Stückliste Vorverstärker:

R1	680 K Ω	C1	Elko 10 μ F
R2	22 K Ω	C2	Elko 10 μ F
R3	470 K Ω	C3	Elko 10 μ F
R4	22 K Ω	C4	Elko 10 μ F
R5	470 K Ω	C5	Kondensator 6,8 nF
R6	680 K Ω	C6	Kondensator 6,8 nF
R7	10 K Ω	C7	Elko 470 μ F
R8	10 K Ω	C8	Elko 10 μ F
R9	1M Ω	C9	Elko 100 μ F
R10	1M Ω	C10	Kondensator 100nF
R11	120 K Ω	C11	Elko 47 μ F
R12	2,2 K Ω	T1	NPN-Transistor BC 548
R13	22 K Ω	T2	NPN Transistor BC 548
R14	220 K Ω	OP1-OP4	LM 324 oder ähnlicher 4-Fach OP
R15	47 K Ω	IC Sockel	14-Fach
P1	Poti 100 K Ω linear		

Stückliste Signalgenerator:

R16 33 K Ω R17 150 Ω R18 3,3 K Ω R19 2,7 K Ω R20 1,5 K Ω R21 680 Ω P2 Poti 10 K Ω linearC12 Elko 10 μ F

C13 Kondensator 100 nF

C14 Elko 10 μ F

D2 Diode 1N4148

LED rote Leuchtdiode

OP1-OP2 LM 324 oder ähnlicher 4-Fach OP

IC Sockel 14-Fach

4. Zusammenfassung und Danksagung

Die Studienarbeit „Biomechatronische Sensorik zur Erfassung und Auswertung von elektrischen Aktivitäten im Gehirn“ lässt rückblickend folgendes Fazit zu:

Zielsetzung und Vorgehensweise :

Unter dem im Gliderungspunkt 1.1 formulierten Zielsetzung und der daraus abgeleiteten Vorgehensweise kann folgendes Fazit gezogen werden:

Das Ziel einer anwenderfreundlichen und sicheren Schaltung zur Bestimmung von Hirnaktivitäten kann man unter Berücksichtigung der vollzogenen Analyse als erreicht beurteilen.

Da die gemessen Spannungen jedoch sehr klein sind, ist sehr viel Ruhe, Geduld und Gefühl notwendig, um die richtigen Einstellungen mit den Potis zu finden.

Ich möchte mich bei Herrn Schießle für dieses sehr interessante Thema bedanken. Da ich in Zukunft auch vorhabe, in der Medizintechnik tätig zu sein, hat mir diese Studienarbeit sehr interessante Einblicke in die Arbeitsweise des menschlichen Körpers gegeben.

5. Literaturverzeichnis

Medizintechnik und Informationstechnologien	Armin Gärtner
Elektroenzephalographie (EEG)	Alois Ebner und Günther Deuschl
Skript Elektronik 1-3	Prof. Dipl.-Ing. Friedrich Wolf
Skript Technische Informatik 2	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Baur
Anleitung Cadence Orcad	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Baur
Studienarbeit	Daniel Gerner, Paolo Iannelli

Internetseiten

www.medizininfo.de

www.netdokter.de

www.conrad.de

www.farnell.de

www.elektronik-kompodium.de