

1.4 Teil 3 - Elektromyografie (EMG)

ACHTUNG: Sollte ein Studierender bereits EKG Elektroden verwendet und damit Hautreizungen verursacht haben, soll diese Person im Rahmen dieses Praktikums keine Messungen mit Elektroden durchführen. Sprechen Sie dies gegebenenfalls mit der Praktikumsleitung ab.

Ziele

1. Aufbau und Testen der Hardware und Software für EMG-Messungen
2. Bewertung der Muskelaktivität in Abhängigkeit von der Belastung
3. Bewertung, wie die Verschiebung von schnell zuckenden zu langsam zuckenden motorischen Einheiten mit der Muskelermüdung korreliert

Benötigte Komponenten

1. Mikrocontroller mit USB-Kabel
2. 12 Bit ADC Konverter mit Qwiic Kabel
3. EMG /EKG Sensor mit Elektroden
4. 3 Jumper Kabel

Benötigte Software

1. Python (Jupyter Notebook / VS Code)
2. Arduino IDE

Zusätzliche Literatur

1. EMG-Fibel [2]
2. The European Recommendations for Surface Electromyography (SENIAM) [3]

Aufgabe 1: Wie nehme ich EMG Rohdaten auf?

In dieser Aufgabe lernen Sie, das EMG-Messsystem aufzubauen und damit Rohdaten aufzunehmen. Außerdem werden die Rahmenbedingungen für kommende Messungen mit dem EKG-System besprochen.

1. Verbindung zwischen Sensor und Mikrocontroller

Die Verbindung der Hardware gleicht dem Setup aus *Teil 2 - Elektrokardiografie*, welches Sie für den Aufbau heranziehen können.

2. Platzierung der Elektroden und Verbindungen

In diesem Praktikum wird die Muskelaktivität des Bizeps Brachii untersucht. Die beiden Messelektroden sollten zwischen der Innervationszone und dem Sehnenansatz des Muskels und entlang der Längsmittellinie des Muskels angebracht werden. Dabei sollten sie etwa 2 bis 4 cm Abstand aufweisen und über dem Muskelbauch liegen. Dadurch kann der sog. *cross talk* zwischen den Muskeln reduziert werden. Die Referenzelektrode sollte wie bei der Elektrokardiografie an einem sehr knöchernen Körperteil mit wenig Muskelaktivität angebracht werden.

- Weiße Elektrode auf der Mitte des Muskels (Muskelbauch)
- Rote Elektrode in der Nähe der Sehne
- Schwarze Elektrode am Handgelenk, da der Abstand zum Messort gering gehalten werden soll

Beim Festkleben der Kabel auf der Haut soll dieses etwas lockerer festgeklebt werden, da somit mehr Spielraum bei der Muskelkontraktion und der dadurch entstehenden Bewegung entsteht. Dadurch können Bewegungsartefakte durch Kabelbewegungen reduziert werden. Bitte verwenden Sie die **SENIAM** Website, um dort über die Punkte *Recommendations* → *Sensor Locations* auf die Informationsseite für den Bizeps Brachii zu gelangen. Dort finden Sie die Vorschläge für eine optimale Platzierung auf dem Bizeps Brachii. Allgemeine Informationen für einen praxisnahen Einstieg in EMG Messungen können Sie in der **EMG Fibel** von Peter Konrad nachlesen [2].

3. Datenakquise mit dem EKG-Setup

Dieser Teil wird durchgeführt, um die Funktionalität des Setups zu prüfen. Dafür wird der gleiche Code wie im Praktikumsteil des EKGs verwendet, um mit dem Code *AnalogReadSerial* und dem seriellen Plotter Daten aufzunehmen. Testen Sie, ob Ihre Muskelaktivität gemessen und dargestellt werden kann, indem Sie den Bizeps immer wieder anspannen und danach entspannen. Sie sollten beim Anspannen eine Veränderung der Amplitude und Frequenz erkennen. Falls das y-Achsen Setting den Graphen unlesbar macht, entfernen Sie das *Serial.println(sensorValue);* und ersetzen Sie es mit folgendem Code:

```
Serial.print(sensorValue);  
Serial.print(",250,400");  
Serial.println();
```

Die Werte 250 und 400 stehen für den y-Achsenabschnitt und ändern sich nicht mehr im seriellen Plotter. Falls Ihre Muskelaktivität eine niedrigere oder höhere Amplitude aufweist, können Sie die Werte händisch anpassen.

4. Bessere Auflösung mit einem ADC

Wenn Sie auf ihren Plotter sehen, können Sie diskretisierte Werte erkennen. Diese Diskretisierung findet durch den Analog-Digital-Konverter (ADC) statt und ist in der Genauigkeit auch durch diesen begrenzt. Der auf dem Mikrocontroller verbaute ADC ist nicht besonders genau, weshalb wir einen 12 Bit ADC über die Qwiic Kabel anschließen werden, um so die Genauigkeit der Messwerte zu erhöhen. Die folgenden Schritte beschreiben, wie Sie den ADC in ihrem Messsystem integrieren:

- (a) Verbinden Sie das vierfache Kabel (schwarz/rot/weiß/gelb) mit dem EMG-Sensor
- (b) Anstelle der direkten Verbindung der Jumper-Kabel, werden diese nun in den ADC über Schraubklemmen befestigt. Rot ist mit VCC, schwarz mit GND und gelb mit A0 zu verbinden und mit einem Schraubenzieher festzuziehen.
- (c) Den ADC über ein Qwiic Kabel mit dem Mikrocontroller verbinden
- (d) Installieren Sie nun folgende Bibliothek in der Arduino IDE: *SparkFun ADS1015 Arduino Library*
- (e) Öffnen Sie nun über *Datei → Beispiele → SparkFun ADS1015 Arduino Library → Example1_ReadBasic* den Code und laden Sie diesen auf den Mikrocontroller. **Ändern Sie den analogen Kanal im Code auf A0 - dort wird bisher A3 verwendet.**
- (f) Öffnen Sie den seriellen Plotter und sehen Sie sich die neuen Messdaten an.

Anstelle der bisherigen 80 Diskretisierungen werden nun bis zu 300 Schritte vorgenommen. Sie haben somit eine deutlich feinere Auflösung erreicht und können damit fortfahren. Für das folgende Experiment wird Ihnen der Code **Lab3Code1** auf Sakai bereitgestellt. Dieser Code ermöglicht eine Aufnahme der Rohsignale bei einer Abtastrate von 1000 Hz, wofür die Baud-Rate auf 500.000 eingestellt ist, um einen schnellen und sicheren Datentransfer zu gewährleisten.

5. Experimente

- (a) **Experiment 1 - Maximum Voluntary Contraction (MVC)**
Die MVC ist ein Parameter, welcher im Krafttraining verwendet wird und der für das Gewicht steht, welches der oder die SportlerIn einfach maximal bewältigen kann [4]. Die MVC Messung wird sich für jede Person und auch unterschiedliche Anbringung der Elektroden unterscheiden. Bei der Messung soll der Muskel zu 100 % angespannt

werden. Die Messung für die MVC muss wiederholt werden, sobald die Elektroden neu angebracht wurden.

In diesem Experiment werden sie eine isometrische Kraftübung für die Messung der MVC verwenden. Bei einer **isometrische Muskelkontraktion** ändert sich die Länge des Muskels nicht, sondern nur die Spannung im Muskel [5].

Schlagen Sie nach, welche isometrischen Maximalkraft Übungen für Sie durchführbar sind. Halten Sie diese schriftlich und auch auf Bildern fest, um diese anschließend in Ihren Praktikumsbericht einzubinden.

Für alle Experimente sollten Sie mindestens 1-2 Sekunden vor und nach der geplanten Muskelkontraktion eine Pause einlegen und den Muskel nicht anspannen. Dadurch können Sie bei der Analyse Ihrer Daten besser die Zeitpunkte der Kontraktion identifizieren. Gehen Sie nun folgendermaßen vor:

- i. Nutzen Sie den **Lab3Code1** während Sie mit dem Computer verbunden sind. Passen Sie die Baud Rate im seriellen Monitor auf 500.000 an. Starten Sie den Mikrocontroller.
- ii. Greifen Sie z.B. den Tisch mit Ihrer Hand, während der Oberarm vertikal und der Unterarm um 90° gebeugt ist. Versuchen Sie den Tisch hochzuheben, ohne dabei den Winkel von 90° zu verändern (Lassen Sie Ihre Kommilitonen auf dem Tisch sitzen, falls der Tisch sich dabei bewegen sollte). Führen Sie dieses Heben für etwa 5 Sekunden aus, wobei Sie mit maximaler Kraft heben möchten. Versuchen Sie dabei die Kabel so wenig wie möglich zu bewegen.
- iii. Trennen Sie den Mikrocontroller vom Laptop.
- iv. Machen Sie eine Pause von mindestens 60 Sekunden und wiederholen Sie den Versuch weitere zwei Male, um drei Datensätze für die MVC zu erhalten. Kopieren Sie nach jedem Lauf die Daten aus dem seriellen Monitor in eine Text-Datei und benennen Sie diese ordentlich (MVC_1,...). **Nehmen Sie nicht alle drei Messungen in einem Durchgang auf, da es zu Komplikationen mit dem seriellen Monitor kommen kann. Sie können als Sicherheit eine vierte Messung aufnehmen.**

(b) **Experiment 2 - Relative Muskelaktivität**

In diesem Experiment werden Sie ähnlich zum Experiment 1 vorgehen, jedoch mit drei verschiedenen Gewichten, welche bei etwa 25 %, 50 % und 75 % liegen des MVC liegen sollten. Suchen Sie sich also drei unterschiedliche Gewichte und dokumentieren Sie diese. Nutzen Sie

folgende Vorgehensweise:

- i. Halten Sie das Gewicht in derselben Position wie in Experiment 1 (90° Winkel)
 - ii. Schalten Sie den Mikrocontroller an mit dem **Lab3Code1** und halten Sie das leichteste Gewicht für 10 Sekunden
 - iii. Trennen Sie den Mikrocontroller und Laptop, speichern Sie die Daten aus dem seriellen Monitor. Machen Sie eine Pause von mind. 40 Sekunden **und wiederholen Sie die Messung mit dem mittleren und schweren Gewicht**
- (c) **Experiment 3 - Ermüdung** In diesem Experiment werden Sie eine Ermüdung des Muskels messen, indem Sie ein ähnliches Setup wie in Experiment 1 verwenden. Gehen Sie folgendermaßen vor:
- i. Gehen Sie zurück zum Tisch, welchen Sie zum heben verwendet haben
 - ii. Nutzen Sie **Lab3Code1** und starten Sie die Messung. Messen Sie die maximale Kontraktion (so stark wie möglich!) über volle 10-15 Sekunden
 - iii. Trennen Sie den Mikrocontroller und Laptop, speichern Sie die Daten aus dem seriellen Monitor. Machen Sie eine Pause von mind. 60 Sekunden **und wiederholen Sie die Messung zweimal, sodass Sie drei Datensätze der Ermüdung erhalten.**

Aufgabe 2: Analyse der Rohdaten

In diesem Kapitel werden Sie das Verarbeiten von EMG Daten erlernen, die MVC und die Muskelaktivität berechnen und eine Frequenzanalyse durchführen. Ziehen Sie dafür den Python Code der letzten Vorlesung heran.

1. Vorverarbeiten der EMG Daten

Die Verarbeitung von EMG Rohdaten ist etwas komplizierter als beim EKG. Dies liegt an den vielen Störquellen und Artefakten, die sich mit dem Signal überlagern. Als Erstes wird das Offset von der Nulllinie sichtbar, welches entfernt werden muss. Bewegungen der Kabel während den Messungen können außerdem tiefe Störfrequenzen verursachen, elektrisches Rauschen hingegen verursacht hochfrequent Überlagerungen. Um das Signal der Muskeln zu erhalten, müssen wir also die Rohdaten Tief- und Hochpassfiltern. Das EMG Signal tendiert zu einer Schwingung um den Nullpunkt. Diese Schwingung gilt es zu eliminieren, indem die Absolutwerte zur Berechnung herangezogen werden. Abschließend werden die Daten nochmals Tiefpass

gefiltert, um eine Einhüllende der absoluten Werte zu bilden. Die Verarbeitung wird nachfolgend in vier Schritte aufgeteilt.

- (a) Offset eliminieren
- (b) EMG Signal filtern (20 bis 450 Hz Butterworth)
- (c) Gleichrichten des Signals
- (d) Einhüllende bilden

Für die folgenden Schritte werden Sie die Python Bibliotheken *matplotlib.pyplot*, *numpy*, *scipy.signal* und die Ihnen auf Sakai zur Verfügung gestellte Bibliothek *Lab3Functions* benötigen. Ihnen werden gewisse Teile des Codes zur Verfügung gestellt, um die Struktur des Codes vorzugeben und eine gleiche Benennung der Variablen zu gewährleisten. Der Code, den Sie für dieses Praktikum schreiben werden, ist ein großer Bestandteil der Bewertung. Ihre neun Datensätze (3xMVC, 3xGewichte, 3xErmüdung) sollten in einem Ordner mit ihrem Code gespeichert werden. Benennen Sie die Datensätze MVC1, MVC2, MVC3, Weight1, Weight2, Weight3, Fatigue1, Fatigue2 und Fatigue3. Danach können Sie die funktion *import_data()* des Ihnen zur Verfügung gestellten Codes verwenden, um die Datensätze in drei Variablen zu komprimieren. Dies könnte folgendermaßen aussehen, wobei auf den richtigen Separator zu achten ist:

```
weights, mvc, fatigue = lf3.import_data('\t')
```

Erfüllen Sie nun die vier angegebenen Schritte. In Abbildungen 1.4, 1.5, 1.6 und 1.7 werden die vier Schritte an Beispieldaten gezeigt und sollen Ihnen als Kontrolle dienen.

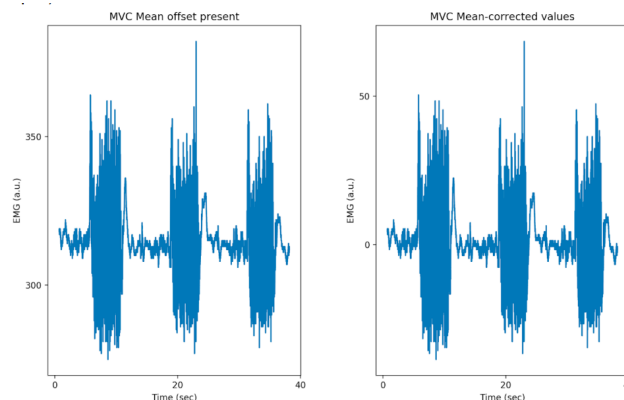


Abbildung 1.4: Offset-Korrektur der EMG-Daten.

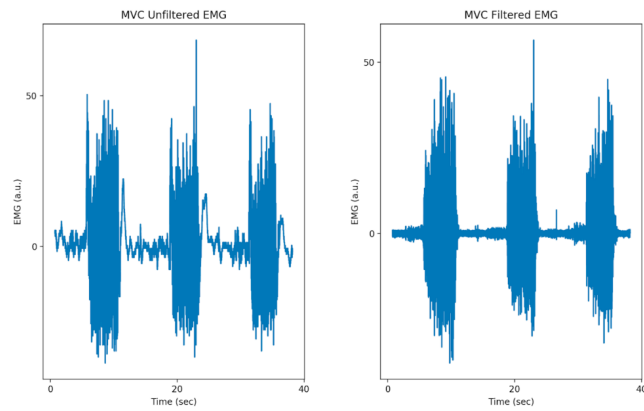


Abbildung 1.5: Filtern der EMG-Daten.

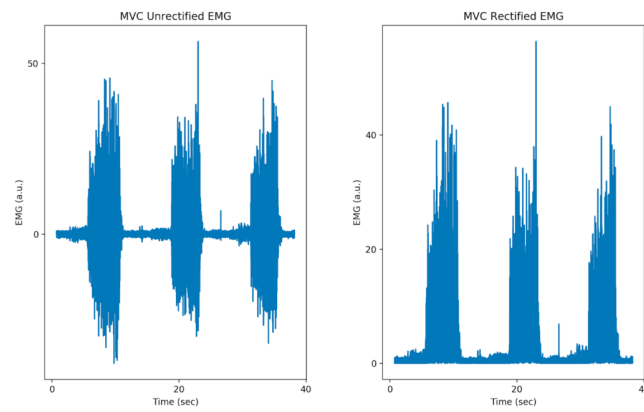


Abbildung 1.6: Gleichrichten der EMG-Daten.

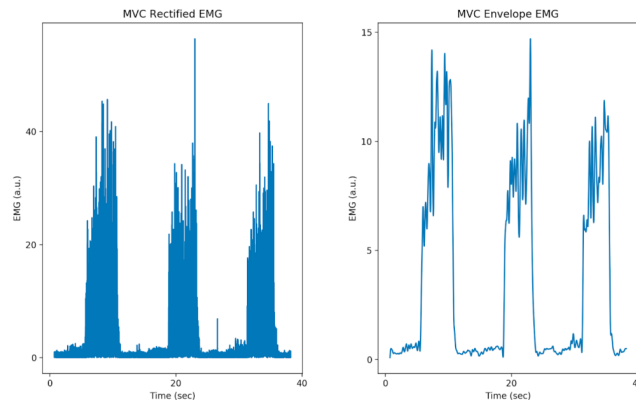


Abbildung 1.7: Einhüllende der EMG-Daten. Verwenden Sie eine Tiefpass Grenzfrequenz von 3 Hz, um eine Einhüllende zu erzeugen. Testen Sie auch andere Grenzfrequenzen bzw. setzen Sie eigene Algorithmen um.

2. Berechnung der MVC und der relativen Muskelaktivität

Um die MVC zu berechnen, sollen die drei Durchläufe gemittelt werden. Um die Muskelaktivierung zu betrachten, müssen wir jedoch erst die neutralen Daten (keine Anspannung) von den aktivierten (volle Anspannung) trennen. Schauen Sie sich dafür die Plots der MVC an und finden Sie die Zeitpunkte, wo die Aktivierungen beginnen und enden. Wählen Sie zur Sicherheit ein paar Zeitpunkte nach Aktivierung und vor Ende der Aktivierung. Gehen Sie sicher, dass in der Zeit der Muskel maximal aktiviert war (Amplitude). Diese Zeitpunkte könnten zum Beispiel wie in Abbildung 1.8 aussehen.

Da dieser Prozess sehr zeitintensiv ist, wird Ihnen ein Code bereitgestellt, der die Auswahl der Zeitpunkte vereinfacht. Nehmen Sie dafür den Code **Lab3Functions** und die dort implementierte *get_bursts* Funktion. Diese nimmt drei Input Argumente, welche die gefilterten Daten der drei Experimente sind. Sie werden gebeten, in den Plot hineinzuzoomen, um ein Zeitintervall auszuwählen. Dafür müssen Sie die *Enter*-Taste drücken. Dies erlaubt Ihnen, einen Start und Endpunkt festzulegen. Führen Sie dies für alle drei Bursts und für die drei verschiedenen Experimente aus. Die Anwendung der Funktion könnte folgendermaßen aussehen:

```
mvc_s, mvc_e, weights_s, weights_e, fatigue_s, fatigue_e = l3f.get_bursts(
    mvc_emg_filtered, weights_emg_filtered, fatigue_emg_filtered)
```

Mit den Start und Endpunkten der drei Burst-Signalen des MVC kann nun die gemittelte Aktivierung der Muskeln berechnet werden. Nehmen Sie dafür die Einhüllende der drei Bursts und berechnen Sie mit der numpy *mean()* Funktion den Mittelwert. Mitteln Sie auch über Ihre drei Versuche, danach erhalten Sie Ihren persönlichen MVC, welche ab diesem Zeitpunkt das Maximum darstellt. Demnach werden alle weiteren Berechnungen in %

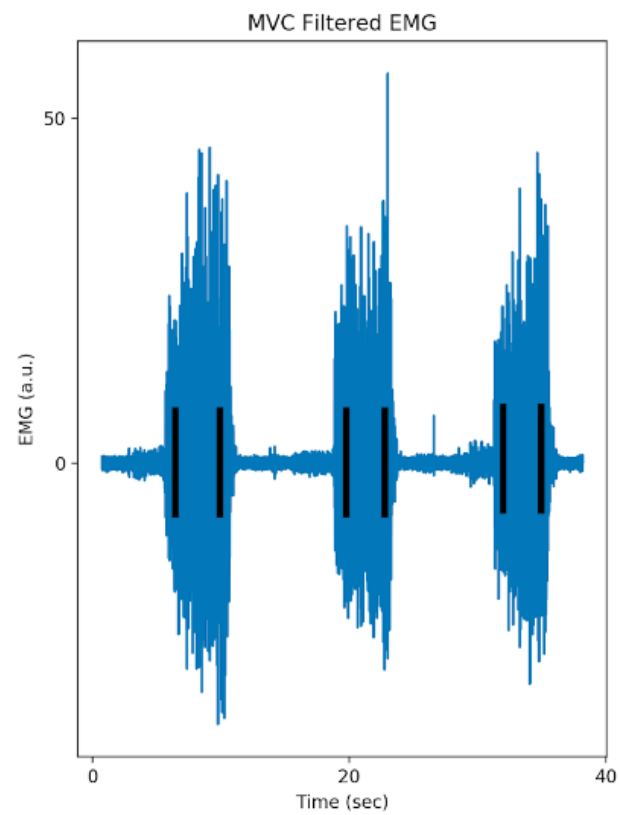


Abbildung 1.8: Grafische Darstellung der Aktivierungsdauer von drei MVC Datensätzen.

von MVC angegeben.

Um die Muskelaktivität für Experiment 2 und 3 (Gewicht & Ermüdung) zu bestimmen, berechnen Sie auch hier den Mittelwert der einzelnen Bursts (nicht über alle drei Messungen) und setzen Sie das Ergebnis in Relation zum MVC. Dies könnte ausformuliert so klingen: „In Experiment 2 ergibt sich bei einem Gewicht von 50 % des MVC eine gemessene Muskelaktivierung von XYZ % der maximalen willkürlichen Kontraktion.“

3. Berechnung der Spektralen Leistungsdichte

Für die Analyse von EMG-Signalen wird oft die spektrale Leistungsdichte bzw. eine Frequenzanalyse herangezogen. Dies wird nochmals unter folgendem Link beschrieben und erklärt (Englisch). Die Frequenzanalyse beruht auf der Fast Fourier Transformation, welche Sie unter folgendem Link als YouTube Video zur Wiederholung ansehen können. Mit dieser Anleitung werden Sie eine Spektralanalyse an Ihren EMG-Daten durchführen können. Dafür müssen Sie Ihre gefilterten Daten (Offset eliminiert und gefiltert) verwendet und folgende Schritte durchführen:

- (a) Isolieren Sie jeweils 0.5 Sekunden zu Beginn, in der Mitte und am Ende einer Aktivierung (Burst). Dadurch werden Sie drei neue Variablen erzeugen, welche jeweils einen Datensatz mit einer Länge von 0.5 Sekunden enthalten. Dies ist exemplarisch in Abbildung 1.9 dargestellt.

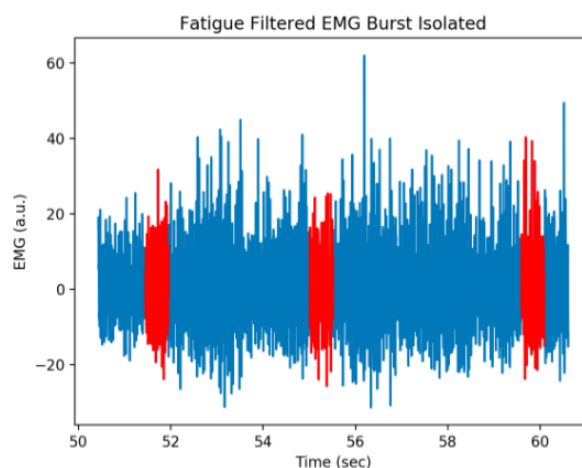


Abbildung 1.9: Auswahl von drei 0.5 Sekunden langen Intervallen am Anfang, in der Mitte und zum Ende einer EMG-Aktivierung.

- (b) Berechnen Sie nun für jeden der drei isolierten Teile die spektrale Leistungsdichte mit der *get_power* Funktion aus dem **Lab3Functions** Code.

```
power, frequencies = l3f.get_power(EMGdata, samplingfreq)
```

Das Ergebnis der Funktion sollte ähnlich wie in Abbildung 1.10 aussehen.

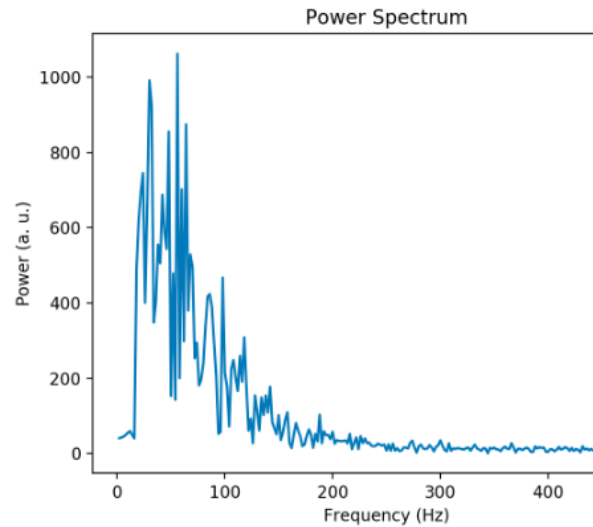


Abbildung 1.10: Auswahl von drei 0.5 Sekunden langen Intervallen am Anfang, in der Mitte und zum Ende einer EMG-Aktivierung.

- (c) Filtern Sie die spektrale Leistungsdichte mit dem gleichen *butterworth* Filter, mit dem Sie auch die Einhüllende der Muskelaktivität berechnet haben und einer cutoff-Frequenz von 40 Hz. Das gefilterte Spektrum wird in Abbildung 1.11 gezeigt.

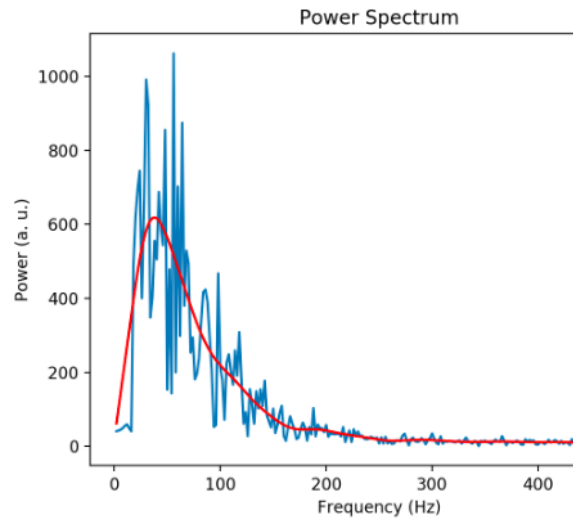


Abbildung 1.11: Auswahl von eines 0.5 Sekunden langen Intervalls nach Anwendung der Filter.

4. Kontraktionsgeschwindigkeiten der Muskelfasern

Um die Veränderung der Kontraktionsgeschwindigkeiten über die Zeit zu berechnen, müssen das Frequenzspektrum und die darin dominanten Frequenzen für die drei Zeitpunkte während der Messung berechnet werden. Der Median der spektralen Leistungsdichte ist dafür ein passender Parameter. Um die Median-Frequenz zu berechnen, muss erst die Fläche unter der Kurve berechnet werden, welche die gesamte Leistung darstellt. Danach wird der Punkt gesucht, welche die Fläche gleichmäßig in zwei Hälften teilt (Abb. 1.12). Dafür kann der folgende Code verwendet werden:

[illegible]

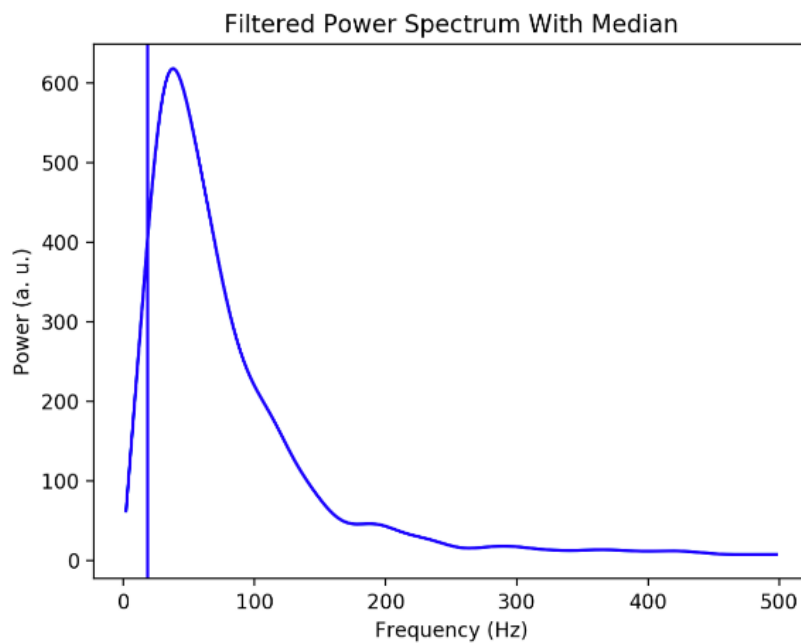


Abbildung 1.12: Gefilterte Spektrale Leistungsdichte mit berechnetem Median.

Wiederholen Sie die Schritte für die drei Messungen für das Experiment 3, um die Ermüdung zu analysieren. Danach können Sie die ermittelten Median-Frequenzen mit dem Zeitpunkt in der Messung plotten (siehe Abbildung 1.13)

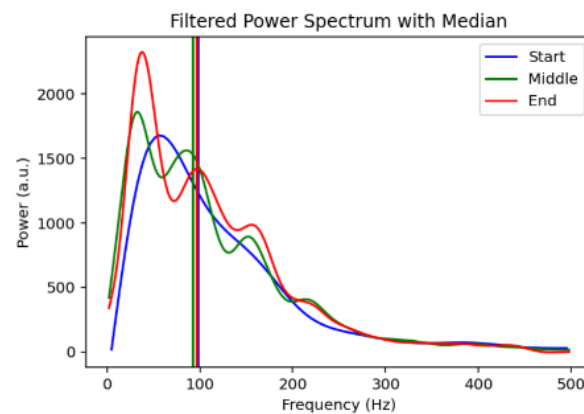


Abbildung 1.13: Median-Frequenzen bei Ermüdungen drei unterschiedlichen Zeitpunkte.

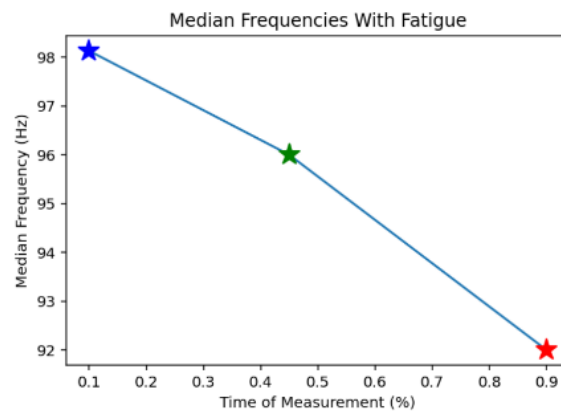


Abbildung 1.14: Median-Frequenzen bei Ermüdungen drei unterschiedlichen Zeitpunkte einer Messung.

Sie haben erfolgreich das Praktikum absolviert! Sie können nun mit den dazugehörigen Fragen und Aufgaben beginnen.

Abgabe: Teil 3

Für Teil 3 des Praktikums werden Sie einen Laborbericht einreichen müssen, in dem Sie die nachfolgenden Fragen beantworten und ihren Code zur Signalverarbeitung von Biosignalen abgeben. Der Bericht soll in LATEX geschrieben werden. Die dafür benötigte Vorlage können Sie auf Sakai finden.

1. Zeigen Sie ein Diagramm der Komponenten des tragbaren Systems, das Ihre Gruppe zur Erfassung und Aufzeichnung von EMG-Daten während des MVC-Experiments verwendet hat. Fügen Sie den Muskel und die Elektrodenplatzierung in dieses Diagramm ein. Beschriften Sie diese Komponenten und erläutern Sie die Funktion der einzelnen Komponenten. Wenn die Komponenten bereits in früheren Arbeiten verwendet wurden, geben Sie an, wie sie in diesem Experiment anders eingesetzt wurden. **(1 Darstellung, Absatz oder Notizen, 3 Punkte)**
2. Zeigen Sie einem Gruppenmitglied Screenshots des seriellen Plotters, nachdem Sie folgende 3 Konfigurationen durchgeführt haben.
 - Analog Serial Read (Achsen wie in Aufgabe 1.3 ändern)
 - Analog Serial Read

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  analogReference(EXTERNAL);  
}
```

WICHTIG: neues Jumper Kabel von 3,3V auf AREF auf dem Arduino Board

- ADC Setup - Lab3Code1

Beschriften Sie die Onsets und Offsets der Bursts. Geben Sie die Amplituden für jeden Burst an und beschreiben Sie die Unterschiede, die Sie feststellen. **(3 beschriftete Screenshots, wenige Sätze; 3 Punkte)**

3. Stellen Sie sich vor, Sie versuchen, Ihren Bizeps zu kontrahieren.
 - (a) Wie kann ein einzelnes motorisches Neuron, ausgehend von der neuromuskulären Verbindung, ein Aktionspotenzial in einer Muskelfaser auslösen? **(1 Absatz; 1 Punkt)**
 - (b) Wie führt ein Aktionspotenzial in einer Muskelfaser zu einer Muskelkontraktion? **(1 Absatz; 1 Punkt)**

4. Erläutern Sie in einem Absatz, wie die Aktivität der einzelnen Muskelfasern zu dem von den EMG-Elektroden gemessenen zusammengesetzten Aktionspotenzial beiträgt. Beschreiben Sie, wie die gemessene Muskelaktivität durch die Größe und Lage der Muskelfasern bestimmt wird und wie sie durch subkutanes Fett beeinflusst wird. Erläutern Sie auch, wie das Größenprinzip bestimmt, welche Fasern mehr beitragen, wenn Aktivität und Kraft gering sind **(1 Absatz; 3 Punkte)**
5. Führen Sie Teil 5, Experiment 1 - MVC, dieses Praktikums durch. Verarbeiten Sie die Daten eines Gruppenmitglieds vor (Mittelwert entfernen, filtern, gleichrichten, Hüllkurve) und präsentieren Sie die Ergebnisse. Erläutern Sie, wie Sie die Daten vorverarbeitet haben und warum jeder Schritt notwendig ist **(1 Abbildung mit 3 Subplots; 1 Absatz, 3 Punkte)**
6. Geben Sie in einer Tabelle die mittlere MVC-Muskelaktivität für jedes Mitglied Ihrer Gruppe an. Geben Sie unbedingt die Einheiten an. Wenn die Daten in irgendeiner Weise ungewöhnlich sind (z. B. die MVC eines Mitglieds ist viel höher oder niedriger als die aller anderen), beschreiben Sie bitte die Probleme und stellen Sie eine Hypothese auf, warum sie aufgetreten sein könnten **(1 Tabelle mit kleiner Erklärung; 1 Punkt)**
7. Beschreiben Sie kurz den Aufbau Ihres MVC-Experiments. Warum erlaubt dieser Aufbau dem Muskel, sich maximal zu kontrahieren? **(2 Punkte)**
8. Führen Sie Experiment 2 - Relative Muskelaktivierung - aus diesem Praktikum durch. Stellen Sie die relative Muskelaktivität (d. h. als Prozentsatz der MVC-Messung) gegen die Größe des Gewichts/Widerstands für ein einzelnes Gruppenmitglied dar. Erläutern Sie in wenigen Sätzen die physiologischen Mechanismen, die der aufgezeichneten Beziehung zugrunde liegen. **(1 Abbildung, wenige Sätze; 2 Punkte)**
9. Führen Sie Teil 5, Experiment 3 - Ermüdung, aus diesem Praktikum durch. Führen Sie eine Analyse im Frequenzspektrum zu Beginn, in der Mitte und am Ende jedes der drei Ermüdungsexperimente durch (insgesamt 9). Zeichnen Sie eines der 9 Leistungsspektren von einem Ihrer Gruppenmitglieder auf (beachten Sie, dass MainCode3 alle 9 Plots enthalten sollte). Die Darstellung sollte das rohe Leistungsspektrum, das gefilterte Leistungsspektrum und die durchschnittliche Frequenz des gefilterten Leistungsspektrums enthalten. **(1 Abbildung; 2 Punkte)**
10. Erläutern Sie mit Worten und Diagrammen, wie das Leistungsspektrum den Frequenzgehalt des gemessenen EMGs darstellt. Hinweis: Erläutern Sie die Fasertypen. **(Diagramm(e) und 1 Absatz; 3 Punkte)**

11. Berechnen Sie die Medianfrequenz jedes Leistungsspektrums und stellen Sie die Veränderung der Medianfrequenz zu Beginn, in der Mitte und am Ende jedes Ermüdungstests für eines Ihrer Gruppenmitglieder dar (siehe 1.14). Die Abbildung sollte neun Datenpunkte enthalten, wobei die drei Datenpunkte jedes Versuchs durch Linien verbunden werden. Erläutern Sie in ein paar Sätzen, ob diese Muster Ihren Erwartungen entsprechen und warum, einschließlich der Frage, ob die Muster zwischen den drei wiederholten Versuchen konsistent sind. **(1 Abbildung, ein paar Sätze; 3 Punkte)**
12. Erläutern Sie anhand recherchierter Quellen, wie EMG zum Betrieb myoelektrischer Prothesen eingesetzt wird. Beschreiben Sie kurz eine andere Situation, in der EMG in einem klinischen Umfeld nützlich oder angemessen ist (zitieren Sie mindestens eine Studie, die diese Methode verwendet, und fassen Sie sie kurz zusammen - kurz heißt hier 3-5 Sätze, um die Kernaussage zu erfassen). **(Nicht mehr als 1 Seite - Zitieren nicht vergessen!!! ; 6 Punkte)**
13. Ihr abgegebener Code funktioniert und erzeugt mit den abgegebenen Daten die richtigen Plots, welche für diesen Bericht gefordert waren. **(1 Punkt)**

Gesamte Punkte: 34

Abgabe auf Sakai:

Die Abgabe erfolgt über das Sakai Portal. Verwenden Sie dabei diese Schreibweise (Lab3_Groupnumber) für die Gruppeneinreichung und speichern Sie die folgenden Dateien in dieser .zip-Datei:

- Laborbericht als PDF als *Bericht_3-Gruppennummer*
- Main Skript der Python Auswertung als *MainCode3*
- Alle Datensätze um *MainCode3* ausführen zu können
- Selbstgeschriebene Python Bibliotheken, welche für *MainCode3* benötigt werden
- **Bitte alles in eine .zip-Datei speichern!!!**