



## LABOR REPORT

# Biosignalverarbeitung MGST-B-3-BB-BS-ILV

### Labor 1

WINTERSEMESTER 2025/26

Studiengang

BACHELOR MEDIZIN-, GESUNDHEITS- UND SPORTTECHNOLOGIE

Verfasser:

*Moritz Mattes*

*Elias Maier*

*Hauke Döllefeld*

LV-Leiter:

*Dr. Aitor Morillo*

*Dr. Gerda Strutzenberger*

letzte Aktualisierung: 19. November 2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Vorbereitende Arbeiten</b>	<b>2</b>
2.1 Bauteilauswahl und Berechnung . . . . .	2
2.1.1 Verwendete Gleichungen . . . . .	2
2.1.2 Berechnungen . . . . .	2
<b>3 Versuchsaufbau und Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1 Versuchsaufbau . . . . .	4
3.2 Durchführung . . . . .	4
3.2.1 Aufgabe 1 und 2 - Teil 1-4 . . . . .	4
3.2.2 Aufgabe 2 - Teil 5-6 . . . . .	4
3.2.3 Aufgabe 3 . . . . .	4
3.2.4 Aufgabe 4 . . . . .	4
3.3 Abgabe 1 . . . . .	4
<b>4 Ergebnisse und Interpretation</b>	<b>6</b>
4.1 Frequenzabhängige Verstärkung . . . . .	6
4.2 Vergleich von Messung und Simulation . . . . .	6
4.3 Leistungskennzahl und Interpretation . . . . .	6
4.4 Analyse der Abweichungen . . . . .	6
4.5 Grenzen der NPN-Emittorschaltung . . . . .	7
4.5.1 Interpretation der Ergebnisse . . . . .	7
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In diesem Labor lag der Fokus auf dem Erkennen der richtigen Parameter für die Aufnahme der Daten eines IMU's und dem Verwenden eines externen Dataloggers.

### Verwendete Geräte

*Tabelle 1: Verwendete Geräte und Komponenten*

Bezeichnung	Typ / Modell	Funktion
Funktionsgenerator	Hameg HMF2525	Anregung der Schaltung mit sinusförmigen Eingangssignalen
Oszilloskop	Tektronix TBS1102B	Erfassung der Ausgangsspannung
Tastkopf	1:1 BNC-Tastkopf	Signalaufnahme ohne Beeinflussung der Schaltung
Steckbrett	Standard, 830 Kontakte	Aufbau der Transistorverstärker-Schaltung
Transistor	NPN (BC547)	Verstärkung des Eingangssignals
Versorgungsspannung	24 V DC-Netzgerät	Energiequelle für Verstärkung
Passive Bauelemente	Widerstände, Kondensatoren	Bestimmen des Sperrbands des passiven Filters

## 2 Vorbereitende Arbeiten

Ziel der vorbereitenden Arbeiten war die Auslegung und Berechnung einer Transistorverstärkerschaltung. Dafür ist es nötig, dass die Frequenzen 2275 Hz und 457 kHz verstärkt und alle dazwischen liegenden Frequenzen gefiltert werden. Dabei soll eine Verstärkung von 10 für die Zielfrequenzen erreicht werden. Eine Versorgungsspannung von 24 V wird außerdem geliefert.

### 2.1 Bauteilauswahl und Berechnung

Die Laborübung wurde mit Bauteilwerten durchgeführt, die unter Anleitung der Laboraufsicht für die einzelnen Komponenten ausgewählt wurden, da die vorbereitenden Berechnungen nicht erfolgreich waren. Die Berechnungen sind im Nachhinein der Vollständigkeit halber nachvollzogen worden.

#### 2.1.1 Verwendete Gleichungen

Aus Laborvorgabe [1] gegebene Formeln:

$$A_v = \frac{R_3}{R_4} \quad (1)$$

$$\frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

#### 2.1.2 Berechnungen

Der Ausgangspunkt der Berechnung ist  $R_4$ . Dieser sollte klein gewählt werden, damit maximal 10 % der Gesamtspannung an ihm abfallen. Daraus folgt:

$$R_4 = 100 \Omega \quad (4)$$

Aus Gleichung (1) und  $R_4$  ergibt sich:

$$R_3 = A_v \cdot R_4 = 10 \cdot 100 \Omega = 1000 \Omega \quad (5)$$

$R_1$  sollte so klein gewählt werden, dass immer ein Basisstrom zum Transistor fließen kann, die Batterie länger hält und trotzdem der passive Hochpass funktioniert. So wurde  $R_1$  wie folgt ausgesucht:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

Damit kann aus Gleichung (2)  $R_2$  berechnet werden:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{U_{\text{in}} - U_{\text{out}}}{U_{\text{out}}} = 1 \text{ k}\Omega \cdot \frac{24 \text{ V} - 2 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 10 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

$C_2$  wurde wie folgt gewählt, damit eine Gleichspannungsentkopplung und eine saubere Übertragung zum Ausgangssignal gewährleistet werden kann:

$$C_2 = 10 \text{ nF} \quad (8)$$

$C_1$  bildet mit dem Eingangswiderstand  $R_1$  den Hochpassfilter, der die Gleichspannungsanteile herausfiltert und nur das Wechselspannungssignal durchlässt. Die Grenzfrequenz sollte etwas unter der Zielfrequenz liegen, damit diese vollständig ungefiltert die Schaltung durchlaufen darf. Es wurde deshalb eine untere Grenzfrequenz von 1750 gewählt. Aus Gleichung (3),  $R_1$  und  $f_c$  ergibt sich für  $C_1$ :

$$C_1 = \frac{1}{2\pi R_1 f_{c \text{ unten}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \text{ k}\Omega \cdot 1.75 \text{ kHz}} \approx 100 \text{ nF} \quad (9)$$

Um letztendlich auch die zu hohen Frequenzen zu filtern, wird noch ein Tiefpassfilter benötigt. Also wurde die Schaltung aus Abbildung 1 um einen weiteren Kondensator  $C_3$  erweitert (siehe Abbildung 2), sodass schlussendlich ein Bandpassfilter mit den Zielfrequenzen als Grenzen zustande kommt. Gewählt wurde eine Frequenz von 1.59 MHz. Aus der oberen Grenzfrequenz des Bandpassfilters ergibt sich mit Gleichung (3) für  $C_3$ :

$$C_3 = \frac{1}{2\pi R_3 f_{c \text{ oben}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \text{ k}\Omega \cdot 1.59 \text{ MHz}} \approx 100 \text{ pF} \quad (10)$$

**Damit ergeben sich folgende Werte für die Komponenten der Schaltung:**

- $R_1 = 1000 \Omega$  (Basisspannungsteiler unten)
- $R_2 = 12\,000 \Omega$  (Basisspannungsteiler oben)
- $R_3 = 1000 \Omega$  (Kollektorwiderstand)
- $R_4 = 100 \Omega$  (Emitterwiderstand)
- $R_5 = 1 \text{ M}\Omega$  (Innenwiderstand des Oszilloskops)
- $C_1 = 100 \text{ nF}$  (Hochpass-Komponente)
- $C_2 = 10 \text{ nF}$  (Ausgangskoppelkondensator)
- $C_3 = 100 \text{ nF}$  (Tiefpass-Komponente)

Diese Kombination der Bauteile ermöglicht einen stabilen Arbeitspunkt, einen geeigneten Verstärkungsfaktor, längere Batterielaufzeiten sowie einen breiten Frequenzbereich für die Spannungsverstärkung und eine Gleichstromentkopplung.

### 3 Versuchsaufbau und Durchführung

Im Folgenden Abschnitt wird der Versuchsaufbau beschrieben und die Durchführung des Experiments erläutert.

#### 3.1 Versuchsaufbau

Die zum Versuchsaufbau verwendeten Geräte und Materialien sind im Abschnitt Vorbereitende Arbeiten aufgelistet.

#### 3.2 Durchführung

##### 3.2.1 Aufgabe 1 und 2 - Teil 1-4

Aufgabe 1 und 2 (Teil 1-4) wurden bereits im Abschnitt Vorbereitende Arbeiten beschrieben.

##### 3.2.2 Aufgabe 2 - Teil 5-6

Mithilfe der Analyse aus Punkt 4, konnte Punkt 5 (Koordinatensystem) beantwortet werden. Anschließend wurden die Daten die im Serial Monitor angezeigt und per copy-paste in ein txt-Datei gespeichert (Punkt 6).

##### 3.2.3 Aufgabe 3

Zuerst wurde, wie in Punkt 1 beschrieben, die Funktion des Dataloggers überprüft, indem das Testprogramm ausgeführt wurde und anschließen die Daten im PC-Interface betrachtet wurden. Hier gab es zuerst Schwierigkeiten, die aber nach einigen Versuchen überwunden werden konnten. Daraufhin wurde die Verbindung des Computers mit dem Sparkfun Board getrennt und die Stromversorgung über die 9V Batterie hergestellt (Punkt 2). Aufgrund von massiven Problemen die trotz troubleshooting nicht behoben werden konnten wurde auf Anweisung des Lektors die Aufgabe abgebrochen und zur nächsten weitergegangen.

##### 3.2.4 Aufgabe 4

In der Aufgabe 4 wurden die Daten der mikro-SD-Karte des Dataloggers ausgelesen und im bereitgestellten Jupyter-Notebook ausgewertet.

#### 3.3 Abgabe 1

In der Abgabe wurden folgende Punkte erledigt:

- 5 (a)
- 6
- 8 (a)
- 9
- 10
- 12

Die Aufgaben wurden entsprechend der Anweisungen erledigt und im Jupyter-Notebook dokumentiert.

Aufgabe 13 wurde nicht erledigt, da die Datenaufzeichnung mit dem Datalogger per 9V Batterie nicht funktionierte.

## 4 Ergebnisse und Interpretation

Im folgenden Abschnitt wurden Excel-Diagramme eingefügt, da nicht hundertprozentig sichergestellt werden konnte, ob die geplotteten Bode-Diagramme aus CSV-Dateien funktionieren.

### 4.1 Frequenzabhängige Verstärkung

In niedrigen Frequenzen war ein linearer Anstieg des Signals zu beobachten, gefolgt von einem Verstärkungsplateau in mittleren Frequenzen. Die Verstärkung im Plateau blieb beinahe konstant bei ca. 19 dB. Im Hochfrequenzbereich sank die Verstärkung erwartungsgemäß ab, was auf kapazitive und parasitäre Effekte zurückzuführen ist.

### 4.2 Vergleich von Messung und Simulation

Die gemessenen Verstärkungswerte wurden den simulierten Werten aus LTSpice gegenübergestellt. Beide Datensätze wurden im Dezibelmaßstab aufgetragen, um Unterschiede im Frequenzverhalten darzustellen.

### 4.3 Leistungskennzahl und Interpretation

Die Leistungskennzahl zur Bewertung der Übereinstimmung zwischen den gemessenen Verstärkungen und den theoretischen Simulationen wurde berechnet. Sie ergibt sich aus:

$$\text{Leistungskennzahl} = \frac{A_{\text{measured}}}{A_{\text{theo}}}$$

Die berechnete Leistungskennzahl beträgt 0.98 im Frequenzbereich bis 10 kHz und nimmt bei höheren Frequenzen leicht ab.

$$\text{Leistungskennzahl} = 0.98 \quad \text{bei Frequenzen bis } 10 \text{ kHz.} \quad (11)$$

Die Leistung des Transistorverstärkers ist somit nahezu ideal bis zu einer Frequenz von 10 kHz, und weist dann eine Abweichung von der Simulation auf, die mit der Bandbreite und den realen Eigenschaften des Transistors zusammenhängt.

### 4.4 Analyse der Abweichungen

- **Mittelbereich (1 kHz – 100 kHz):** Messung und Simulation stimmen gut überein, mit nahezu konstanter Verstärkung.
- **Tiefenbereich:** Leichte Unterschiede im Bereich unter 1 kHz könnten auf die Eigenschaften der Koppelkondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  zurückzuführen sein.
- **Hochfrequenz:** Der reale Verstärker zeigt einen früheren Abfall der Verstärkung als in der Simulation, was auf parasitäre Kapazitäten und begrenzte Transitfrequenz des Transistors hindeutet.

Die Ergebnisse bestätigen die Eignung der Simulation zur Vorhersage des Frequenzverhaltens, zeigen jedoch auch die Notwendigkeit, reale Effekte wie Innenwiderstände und nichtideale Bauelemente bei der Bewertung mit einzubeziehen.

## 4.5 Grenzen der NPN-Emitterschaltung

Die Grenzen einer NPN-Emitterschaltung sind unter anderem, dass die Eingangsspannung in einem gewissen Bereich liegen muss, damit der Transistor im aktiven Bereich betrieben wird. Es darf zu keiner Sperrung oder Sättigung kommen. Eine weitere Limitation erfährt die Schaltung dadurch, dass die Ausgangsspannung nicht beliebig schwingen kann, sondern durch die Versorgungsspannung begrenzt ist. Wenn der Transistor nahe der Grenzen des aktiven Bereichs betrieben wird, können Verzerrungen auftreten. Zudem ist der Schaltung durch Stromgrenzen und Verlustleistung ein thermisches Limit gesetzt. Bei zu hohem Kollektorstrom wird eine Überhitzung der Schaltung vorkommen und damit ein potenzielles Risiko für nachfolgende Schaltungselemente oder anwendende Personen. Durch instabile Arbeitspunkteinstellung kann es zu Drifts oder Ungleichmäßigkeiten in der Verstärkung kommen.

### 4.5.1 Interpretation der Ergebnisse

**Frequenzbereich bis 10 kHz:** Die Verstärkung bleibt stabil und nahezu konstant, was auf eine hohe Effizienz des Transistorverstärkers in diesem Bereich hinweist. Die gemessene Verstärkung stimmt gut mit den theoretischen Simulationen überein.

**Frequenzen über 10 kHz:** Bei höheren Frequenzen zeigt sich eine merkliche Abnahme der Verstärkung, was typischerweise auf die begrenzte Bandbreite des Transistors zurückzuführen ist. Diese Abweichungen von den simulierten Werten sind zu erwarten und reflektieren die praktischen Einschränkungen des Verstärkers.

**Eingangsamplitude:** Die Verstärkungsfaktoren sind über den getesteten Bereich der Eingangsamplituden konstant, was auf einen stabilen Betrieb des Verstärkers unabhängig von der Eingangsspannung hinweist.

## **Literaturverzeichnis**

- [1] B. Hollaus and M. Berger, "Lab instructions electrical engineering 2. semester," 2025, management Center Innsbruck (MCI).

Bei der Überarbeitung von Textstellen und beim Erstellen von Code für das Einlesen und Plotten der CSV-Dateien ist Chat-GPT verwendet worden.

## **Abbildungsverzeichnis**

## Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte und Komponenten . . . . .	1
---	---	---