



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: 12. November 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Vorbereitende Arbeiten	2
2.1	Bauteilauswahl und Berechnung	2
2.1.1	Verwendete Gleichungen	2
2.1.2	Berechnungen	2
2.2	Simulation in LTSpice	3
3	Versuchsaufbau und Durchführung	4
4	Ergebnisse und Interpretation	6
4.1	Verstärkung des Transistorverstärkers	6
4.2	Frequenzabhängige Verstärkung	6
4.3	Vergleich von Messung und Simulation	6
4.4	Leistungskennzahl und Interpretation	6
4.5	Analyse der Abweichungen	7
4.6	Grenzen der NPN-Emitterschaltung	7
4.6.1	Interpretation der Ergebnisse	7
	Literaturverzeichnis	III
	Abbildungsverzeichnis	IV
	Tabellenverzeichnis	V

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)
- $R_2 = 12000 \Omega$ (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)
- $C_3 = 100 \text{ pF}$ (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.

2.2 Simulation in LTSpice

Zur Verifikation des Frequenzverhaltens wurde die zuvor dimensionierte OPV-Schaltung in LTSpice simuliert. Das Simulationsmodell verwendet idealisierte Bauelemente und dient dem Vergleich mit den späteren Messergebnissen. Der in LTSpice aufgebaute Schaltplan ist in Abbildung ?? dargestellt.

Zur Analyse des Frequenzverhaltens wurde ein AC-Sweep im Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 MHz durchgeführt. Das resultierende Bodediagramm zeigt die Verstärkung über dem Frequenzverlauf und ist in Abbildung ?? zu sehen.

Hier sind Beispiele für eingefügte Bilder:

3 Versuchsaufbau und Durchführung

Die Verstärkerschaltung, die gemäß der Simulation aufgebaut wurde, befindet sich auf einem Steckbrett. Die Stromversorgung für den Versuch wurde über ein externes Netzteil mit einer Spannung von $V_{CC} = 24\text{ V}$ bereitgestellt. Der Funktionsgenerator speiste ein sinusförmiges Eingangssignal mit einer variablen Frequenz im Bereich von 100 Hz bis 10 MHz in die Schaltung ein. Die gemessene Ausgangsspannung wurde kontinuierlich aufgezeichnet, um die Verstärkung des Verstärkers und den Frequenzgang zu analysieren.

Aufbau des Labors

Zu Beginn des Versuchs wurde der Laboraufbau gemäß den Vorgaben aus der Laborvorgabe [1] realisiert. Der Versuch wurde unter Verwendung der im Labor verfügbaren Geräte durchgeführt, die eine präzise Messung der Ausgangsspannung ermöglichten. Die folgende Abbildung zeigt den Gesamtaufbau des Labors mit den verwendeten Messgeräten.

Geräteübersicht

Im Rahmen des Versuchs wurden folgende Geräte verwendet:

Gerät	Verwendung
Funktionsgenerator	Signalquelle für Eingangssignale (Sinus, Rechteck)
Oszilloskop	Messung der Ausgangsspannung und Analyse des Frequenzgangs
Steckbrett	Aufbau der Verstärkerschaltung
BNC-Tastköpfe	Signalabgriff am Eingang und Ausgang des Verstärkers
Multimeter	Messung der Versorgungsspannung und Stromstärke

Tabelle 2: Verwendete Geräte im Laborversuch

Verstärkerschaltung

Die Verstärkerschaltung, die als Ausgangspunkt für die Messungen diente, wurde auf einem Steckbrett aufgebaut. Der verwendete Verstärker war eine klassische OPV-Schaltung, deren Eigenschaften mit Hilfe einer LTSpice-Simulation vorab überprüft wurden. Die folgende Abbildung zeigt die schematische Darstellung der Emittterverstärkerschaltung, die im Experiment verwendet wurde.

Versuchsablauf

Der Ablauf des Experiments war wie folgt:

1. Aufbau der Verstärkerschaltung auf dem Steckbrett gemäß den Vorgaben [1], Simulationsergebnissen und Berechnungen.
2. Verbindung des Funktionsgenerators und Oszilloskops mit der Schaltung über BNC-Tastköpfe und Splitter, um das Eingangssignal und die Ausgangsspannung zu visualisieren.
3. Einspeisung sinusförmiger Signale mit variablen Amplituden, von 1 mV_{pp} bis 1 V_{pp} .

4. Dokumentation der Ausgangsamplitude bei verschiedenen Frequenzen, um die Verstärkungscharakteristik des Verstärkers zu überprüfen.
5. Aufzeichnung des Frequenzgangs und Erstellung des Bode-Diagramms basierend auf den experimentellen Daten.

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 Verstärkung des Transistorverstärkers

Abbildung ?? zeigt die Verstärkung des Transistorverstärkers bei verschiedenen Eingangsspannungen.

Die Verstärkung wurde berechnet, indem die Ausgangsspannung (V_{pp}) durch die Eingangsspannung (V_{pp}) dividiert wurde. Die Daten zeigen, dass die Verstärkung bei höheren Eingangsspannungen zunächst ansteigt und dann stabil bleibt, bevor sie bei noch höheren Eingangsspannungen wieder abnimmt.

Die Charakteristik des Transistorverstärkers wurde mithilfe einer Frequenzanalyse experimentell ermittelt. Dabei wurde die Verstärkerschaltung mit sinusförmigen Eingangssignalen im Bereich von 100 Hz bis 10 MHz angeregt. Für jede Frequenz wurde die Ausgangsspannung $u_o(t)$ gemessen und daraus die Verstärkung in Dezibel berechnet.

4.2 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.

4.3 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.

4.4 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.

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

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.

4.5 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.

4.6 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.

4.6.1 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
2	Verwendete Geräte im Laborversuch	4