Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Graz-Gösting
Höhere Abteilung für Elektronik

Labor – Protokoll

Abgegeben von: Christopher Schieszler Erstellt von: Christopher Schieszler, Adem Merdzic		Klasse: 4BHEL	Gruppe:
Übungsnummer: 1	Übungstage: 12.09.2025, 19.09.2025, 26.09.2025	Abgabetag: 30.09.2025	
Betreut von: PZ, TK	Korrigiert am:	von:	

Übungstitel:

Osziloskop

....

In diesem Laborprotokoll wird das analoge Frontend eines Oszilloskops berechnet und dimensioniert. Ziel ist es, die Eingangsstufe so auszulegen, dass definierte Eingangsspannungen korrekt erfasst und weiterverarbeitet werden können.

....

Inhaltsverzeichnis

1 Blockschaltbild

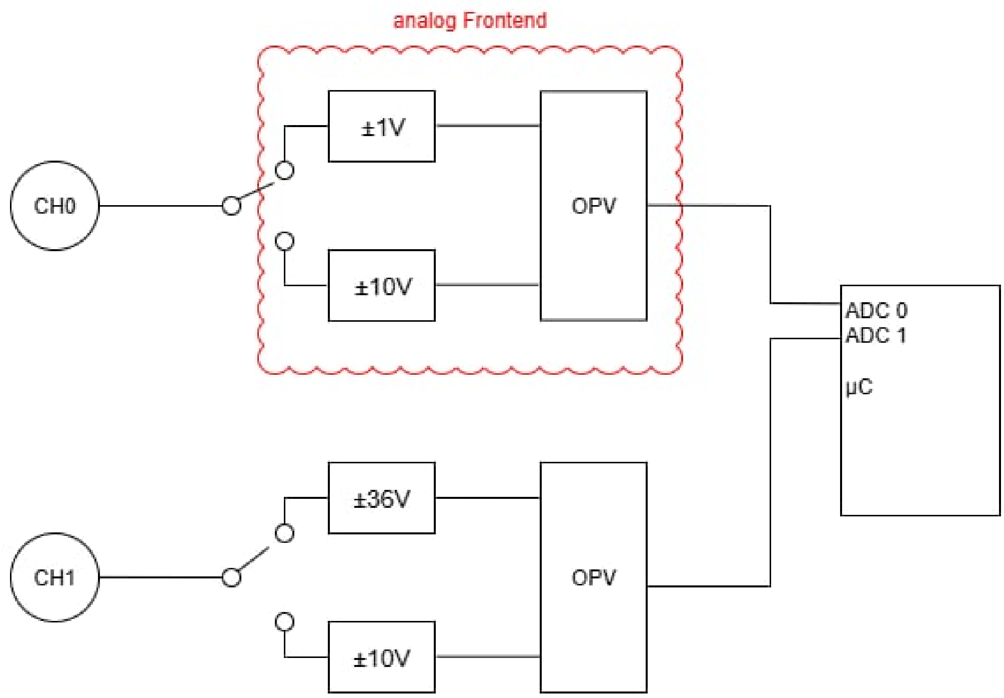

Abbildung 1: Blockschaltbild des Analog Frontend

2 Problemstellung

In diesem Semester soll im Rahmen des Labors ein zweikanaliges Oszilloskop entwickelt werden. Dieses Dokument beschreibt die Dimensionierung des analogen Frontends.

Das analoge Frontend muss Eingangsspannungen mit unterschiedlichen Bereichen (±1 V, ±10 V und ±36 V) so aufbereiten, dass sie vom Mikrocontroller-ADC besstmöglich verarbeiten kann. Dazu müssen die Signale auf den Messbereich 0 V bis 3,3 V umgemappt werden.

3 Vorgaben

- **Mikrocontroller-ADC:**
  - Auflösung: 8–10 Bit
  - Abtastrate: 5 MS/s

  - Messbereich des ADC's: $[0 \ldots 3{,}3]\,\mathrm{V}$

- **Zwei Kanäle (CH0, CH1):**
  - Es stehen zwei Eingänge zur Verfügung:
    - Kanal 1 (CH0): wählbar zwischen $\pm 1\,\mathrm{V}$ und $\pm 10\,\mathrm{V}$
    - Kanal 2 (CH1): wählbar zwischen $\pm 10\,\mathrm{V}$ und $\pm 36\,\mathrm{V}$

4 Aufgabenstellung

Es soll ein analoges Frontend für ein zweikanaliges Oszilloskop entworfen werden. Ziel ist es, die verschiedenen Eingangsspannungsbereiche so zu skalieren und mit einem Offset zu versehen, dass die Ausgangsspannung beider Kanäle in den zulässigen Eingangsbereich des Mikrocontroller-ADCs $[0 \ldots 3{,}3]\,\mathrm{V}$ fällt.

5 Zielsetzung

Das Frontend soll mithilfe von Widerstandsnetzwerken dimensioniert werden, um:

- die Eingangsspannungen der beiden Kanäle auf den ADC-Bereich $0 \ldots 3{,}3\,\mathrm{V}$ zu skalieren,
- einen geeigneten Offset hinzuzufügen, sodass negative Eingangsspannungen in den positiven Bereich verschoben werden,
- die Anpassung für die vorgesehenen Eingangsspannungsbereiche ($\pm 1\,\mathrm{V}$, $\pm 10\,\mathrm{V}$, $\pm 36\,\mathrm{V}$) zu ermöglichen.

6 Wie wir auf unsere schaltung gekommen sind

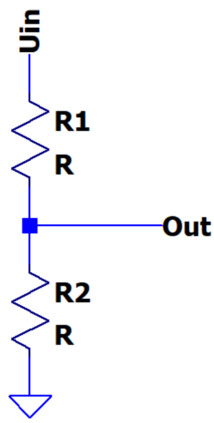

Abbildung 2: Spannungsteiler

Unser Ziel mit dem Spannungsteiler ist, die Spannung so anzupassen, dass sie besser in unseren Messbereich passt. So haben wir $-10\,\mathrm{V}$ bis $+10\,\mathrm{V}$ auf etwa $-1{,}65\,\mathrm{V}$ bis $+1{,}65\,\mathrm{V}$ umgewandelt.

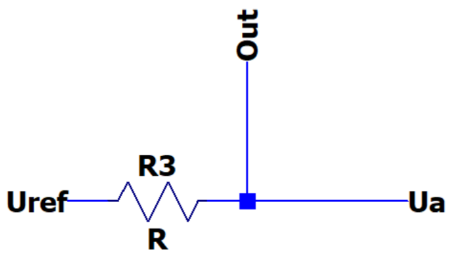

Abbildung 3: Offset

Unser nächstes Ziel ist es, negative Spannung am ADC zu vermeiden, indem wir mit R_3 das Potential anheben. So bekommen wir am Ende einen Spannungsbereich von 0 bis $3{,}3\,\mathrm{V}$.

7 Formeln für A & B mit Helmholtz bestimmt

Generell gilt beim Helmholz $U_a = U_a' + U_a''$ damit es einfacher zu lesen ist schrieben wir $U_a = U_{a1} + U_{a2}$.

Jetzt werden wir beide spannungsquelle einzelnd nacheinander mit einem KS(Kurzschluss) erstetzen um U_{ax} auszurechnen.

7.1 Herleitung von U_{a1} durch das KS von U_{ref}

$$U_{a1} = U_{\text{in}} \cdot \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + (R_2 \parallel R_3)} \qquad \text{(Spannungsteiler)} \tag{B1}$$

$$R_2 \parallel R_3 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \tag{B2}$$

$$U_{a1} = U_{\text{in}} \cdot \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2+R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2+R_3}} = U_{\text{in}} \cdot \frac{R_2 R_3}{R_1(R_2 + R_3) + R_2 R_3} \qquad \text{(gemeinsamer Nenner)} \tag{B3}$$

$$U_{a1} = U_{\text{in}} \cdot \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \qquad \text{(ausmultiplizieren)} \tag{B4}$$

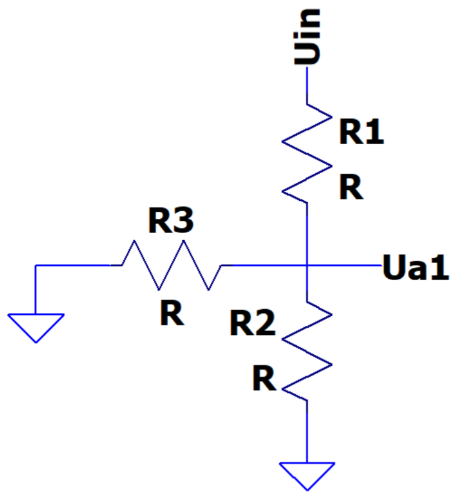

Abbildung 4: Helmholz für U_{ref} als KS

7.2 Herleitung von U_{a2} durch das KS von U_{in}

$$U_{a2} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_3 + (R_1 \parallel R_2)} \qquad \text{(Spannungsteiler)} \tag{A1}$$

$$R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{A2}$$

$$U_{a2} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}}{R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_3(R_1 + R_2) + R_1 R_2} \qquad \text{(gemeinsamer Nenner)} \tag{A3}$$

$$U_{a2} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \qquad \text{(ausmultiplizieren)} \tag{A4}$$

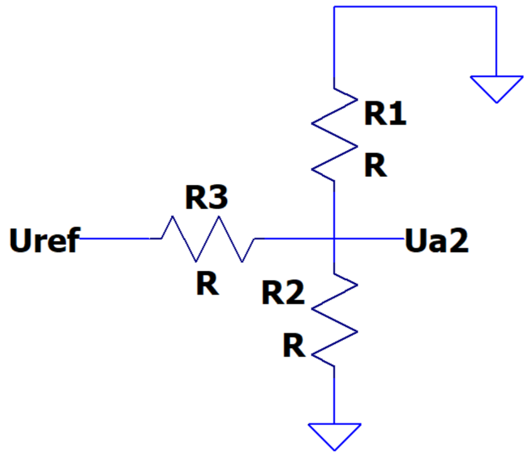

Abbildung 5: Helmholz für U_{in} als KS

8 Was machen wir jetzt mit A B

Für das Dreipunkt-Netzwerk (R_1 von U_{in} zum Knoten, R_2 nach Masse, R_3 zu U_{ref}) gilt:

Wie in (B4) und (A4) gezeigt, ergeben sich die beiden Übertragungsfaktoren.

Um unsere rechnungen einfacher zu machen deffienieren wir diese Brüche mit A und B.

$$B = \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}, \qquad A = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$$

Damit gilt insgesamt

$$U_a = B\, U_{\text{in}} + A\, U_{\text{ref}}. \tag{1}$$

Zur Abkürzung setzen wir den Nenner

$$s := R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 \tag{S5}$$

9 A B für die Wiederstands Dimensionierung ausrechnen

Das machen wir in dem wir die Grenzfälle ausrechnen

jetzt rechnen wir allgemein A B aus

$$U_{\text{out}} = B\, U_{\text{in}} + A\, U_{\text{ref}}$$

$$\begin{cases} I: & U_{\text{Out,max}} = B \cdot U_{\text{in,max}} + A \cdot U_{\text{ref}}, \\ II: & U_{\text{Out,min}} = B \cdot U_{\text{in,min}} + A \cdot U_{\text{ref}}. \end{cases}$$

Schritt 1: Subtraktion der beiden Gleichungen Wir bilden $(I) - (II)$ und erhalten

$$U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}} = B\,(U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}) + A\, U_{\text{ref}} - A\, U_{\text{ref}}.$$

Die Terme mit A heben sich auf:

$$U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}} = B\,(U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}).$$

Daraus folgt unmittelbar

$$\boxed{B = \frac{U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}}}{U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}}} \tag{B}$$

Schritt 2: Einsetzen von B in Gleichung (I) Wir nehmen Gleichung (I):

$$U_{\text{Out,max}} = B\,U_{\text{in,max}} + A\,U_{\text{ref}}$$

und lösen nach A auf:

$$A = \frac{U_{\text{Out,max}} - B\,U_{\text{in,max}}}{U_{\text{ref}}}.$$

Jetzt setzen wir den gefundenen Wert für B ein:

$$A = \frac{U_{\text{Out,max}} - \dfrac{U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}}}{U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}}\,U_{\text{in,max}}}{U_{\text{ref}}} \tag{A}$$

Ergebnis Damit lauten die gesuchten Faktoren:

$$\boxed{\begin{aligned} B &= \frac{U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}}}{U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}}, \\ A &= \frac{U_{\text{Out,max}} - \dfrac{U_{\text{Out,max}} - U_{\text{Out,min}}}{U_{\text{in,max}} - U_{\text{in,min}}}\,U_{\text{in,max}}}{U_{\text{ref}}}. \end{aligned}}$$

Damit können A und B direkt aus den bekannten Werten $U_{\text{in,max}}, U_{\text{in,min}}, U_{\text{Out,max}}, U_{\text{Out,min}}$ und U_{ref} berechnet werden.

9.1 $\pm 10\,\mathrm{V} \to 0\ldots 3{,}3\,\mathrm{V}$

Wie in (B) und (A) gezeigt, lassen sich B und A direkt berechnen durchs einsetzen der grenzfälle berechnen:

$$\text{(K10-1)} \quad A = \tfrac{1}{2}, \qquad \text{(K10-2)} \quad B = \tfrac{33}{200}, \qquad \text{(K10-3)} \quad R_1 + R_3 = 1\,\mathrm{M\Omega}. \tag{2}$$

$$\begin{cases} I: & \dfrac{R_1R_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} & = \dfrac{1}{2} \\ II: & \dfrac{R_2R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} & = \dfrac{33}{200} \\ III: & R_1 + R_3 & = 1\,\mathrm{M\Omega} \end{cases}$$

Schritt (K10-S1): I durch II dividieren. Wenn wir I durch II dividieren dann fällt das s weg:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{A}{B} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{33}{200}} = \frac{100}{33} \;\Rightarrow\; R_1 = \frac{100}{33} R_3.$$

Schritt (K10-S2): Ergebniss von (K10-S1) in (K10-3) einsetzen.

$$1\,\mathrm{M\Omega} = \left(\tfrac{100}{33} + 1\right) R_3 \;\Rightarrow\; R_3 = \frac{1\,\mathrm{M\Omega}}{\frac{100}{33} + 1} \approx 248{,}1\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K10-S3): R_1 ausrechnen in dem wir in (K10-S2) rückeinsetzen.

$$R_1 = \tfrac{100}{33} \cdot 248{,}1\,\mathrm{k\Omega} \approx 751{,}9\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K10-S4): R_2 nur mit (I) und $A = \frac{1}{2}$. Wie in (S5) definiert, gilt $s = R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3$:

$$\frac{1}{2} = \frac{R_1R_2}{s} \;\Rightarrow\; 2R_1R_2 = R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3 \;\Rightarrow\; R_2(R_1 - R_3) = R_1R_3$$

$$\boxed{R_2 = \frac{R_1R_3}{R_1 - R_3}} \tag{K10-S4}$$

Einsetzen der Werte ergibt $R_2 \approx 370{,}3\,\mathrm{k\Omega}$.

Ergebnis (± 10 V).

$$R_1 \approx 752\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 \approx 370\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 \approx 248\,\mathrm{k\Omega}.$$

E24-Variante (± 10 V).

$$R_1 = 750\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 = 370\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 = 240\,\mathrm{k\Omega} \quad \Rightarrow \quad U_{\mathrm{out,max}} \approx 3.279\,\mathrm{V}.$$

9.2 $\pm 36\,\mathrm{V} \to 0 \ldots 3{,}3\,\mathrm{V}$

Wie in (B) und (A) gezeigt, lassen sich B und A direkt berechnen durchs einsetzen der grenzfälle berechnen:

$$\text{(K36-1)} \quad A = \tfrac{1}{2}, \qquad \text{(K36-2)} \quad B = \tfrac{11}{240}, \qquad \text{(K36-3)} \quad R_1 + R_3 = 1\,\mathrm{M\Omega}. \tag{3}$$

Schritt (K36-S1): Verhältnis R_1/R_3.

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{A}{B} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{11}{240}} = \frac{120}{11} \;\Rightarrow\; R_1 = \frac{120}{11} R_3.$$

Schritt (K36-S2): R_3 aus (K36-3).

$$R_3 = \frac{1\,\mathrm{M\Omega}}{\frac{120}{11} + 1} \approx 83{,}97\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K36-S3): R_1.

$$R_1 = \tfrac{120}{11} \cdot 83{,}97\,\mathrm{k\Omega} \approx 916\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K36-S4): R_2 wie in (K10-S4) hergeleitet.

$$R_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 - R_3} \approx \frac{916 \cdot 83{,}97}{916 - 83{,}97}\,\mathrm{k\Omega} \approx 92{,}44\,\mathrm{k\Omega}.$$

Ergebnis (± 36 V).

$$R_1 \approx 916\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 \approx 92{,}4\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 \approx 84\,\mathrm{k\Omega}.$$

E24-Variante (± 36 V).

$$R_1 = 910\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 = 91\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 = 82\,\mathrm{k\Omega} \quad \Rightarrow \quad U_{\mathrm{out,max}} \approx 3.286\,\mathrm{V}.$$

9.3 $\pm 1\,\mathrm{V} \to 0 \ldots 1{,}1\,\mathrm{V}$ (mit $U_{\mathrm{ref}} = 3{,}3\,\mathrm{V}$)

Wie in (B) und (A) gezeigt, lassen sich B und A direkt berechnen durchs einsetzen der grenzfälle berechnen: Gegeben: $A = \frac{1}{6}$, $B = \frac{11}{20}$; zusätzlich $R_1 + R_3 = 1\,\mathrm{M\Omega}$.

Schritt (K1-S1): Verhältnis R_1/R_3.

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{A}{B} = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{11}{20}} = \frac{10}{33} \;\Rightarrow\; R_1 = \frac{10}{33}R_3.$$

Schritt (K1-S2): R_3 aus der Summe.

$$R_3 = \frac{1\,\mathrm{M\Omega}}{\frac{10}{33}+1} = \frac{33}{43}\,\mathrm{M\Omega} \approx 767{,}4\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K1-S3): R_1.

$$R_1 = \frac{10}{33}R_3 = \frac{10}{43}\,\mathrm{M\Omega} \approx 232{,}6\,\mathrm{k\Omega}.$$

Schritt (K1-S4): R_2 nur aus (I) mit $A = \frac{1}{6}$ (ohne Hilfsgrößen). Aus $A = \frac{R_1R_2}{s}$ und $s = R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3$ (siehe (S5)):

$$\begin{aligned} &\frac{1}{6}\,(R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3) = R_1R_2 \\ \Rightarrow\quad & R_2\big(R_1(\tfrac{1}{6}-1) + \tfrac{1}{6}R_3\big) = -\tfrac{1}{6}R_1R_3 \\ \Rightarrow\quad & \boxed{R_2 = \frac{R_1R_3}{5R_1 - R_3}}. \end{aligned}$$

Einsetzen der Werte ergibt $R_2 \approx 451{,}4\,\mathrm{k\Omega}$.

Ergebnis (±1 V).

$$R_1 \approx 232{,}6\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 \approx 451{,}4\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 \approx 767{,}4\,\mathrm{k\Omega}.$$

Simulation bei $U_{\mathrm{in}} = 1.1\,\mathrm{V}$.

E24-Variante (±1 V)

$$\begin{aligned} & R_1 = 220\,\mathrm{k\Omega}, \qquad R_2 = 430\,\mathrm{k\Omega}, \qquad R_3 = 750\,\mathrm{k\Omega} \\ \Rightarrow\quad & U_{\mathrm{out,max}} \approx 1.09\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

Der ADC-Messbereich wird damit sehr gut ausgenutzt (wir werden das Ergebnis noch mit einem Nichtinvertierenden Verstärker mit einem V von 3 verstärken damit wir unser UAmax von ca. 1.1V auf ca. 3.3V hoch skalieren).

Tabelle 1: E24-Rundung und simulierte Ausgangsspitzen

Stufe	R_1	R_2	R_3	$U_{\text{out,max}}$
$\pm 10\,\text{V}$	$750\,\text{k}\Omega$	$370\,\text{k}\Omega$	$240\,\text{k}\Omega$	$3.279\,\text{V}$
$\pm 36\,\text{V}$	$910\,\text{k}\Omega$	$91\,\text{k}\Omega$	$82\,\text{k}\Omega$	$3.286\,\text{V}$
$\pm 1\,\text{V}$	$220\,\text{k}\Omega$	$430\,\text{k}\Omega$	$750\,\text{k}\Omega$	$1.09\,\text{V}$

10 Nichtinvertierender Verstärker für den $\pm 1\,\text{V}$-Bereich

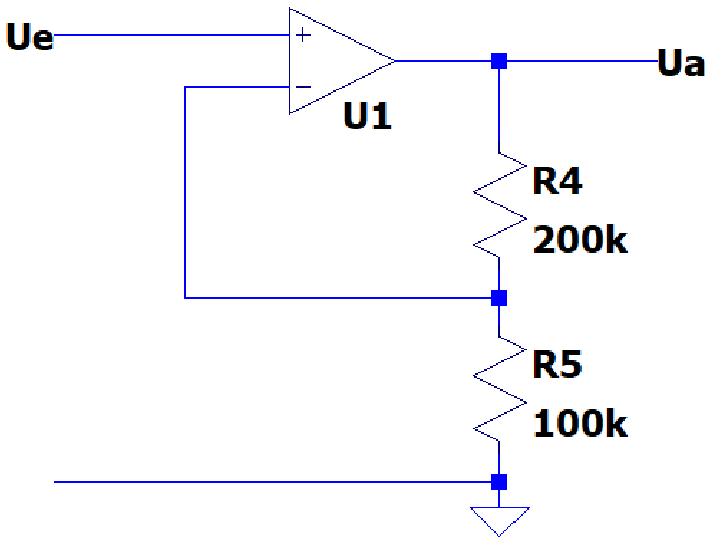

Abbildung 6: Nichtinvertierender Verstärker zur Anpassung des $\pm 1\,\text{V}$-Bereichs an den ADC

Für den Messbereich $\pm 1\,\text{V}$ wird am Ausgang des Widerstandsnetzwerks nur etwa $U_{\text{out,max}} \approx 1{,}1\,\text{V}$ erreicht. Um den ADC-Bereich von $0 \ldots 3{,}3\,\text{V}$ besser auszunutzen, wird ein nichtinvertierender Verstärker mit einer Verstärkung von ca. $V = 3$ eingesetzt.

Die Verstärkung eines nichtinvertierenden Verstärkers berechnet sich zu

$$V = 1 + \frac{R_4}{R_5}.$$

Wir möchten $V \approx 3$. Setzen wir $R_5 = 100\,\text{k}\Omega$, ergibt sich

$$R_4 = (V - 1) \cdot R_5 = (3 - 1) \cdot 100\,\text{k}\Omega = 200\,\text{k}\Omega.$$

Damit liegt der Ausgangspegel für $U_{\mathrm{in}} = 1{,}1\,\mathrm{V}$ bei

$$U_{\mathrm{a}} = V \cdot U_{\mathrm{e}} \approx 3 \cdot 1{,}1\,\mathrm{V} = 3{,}3\,\mathrm{V}.$$

Die gewählten Werte $R_4 = 200\,\mathrm{k\Omega}$ und $R_5 = 100\,\mathrm{k\Omega}$ liegen in der E24-Reihe und passen gut zur gewünschten Verstärkung.

11 Impedanzwandler vor dem ADC

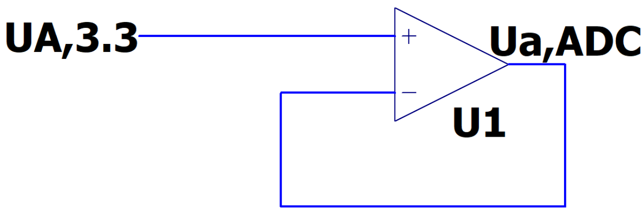

Abbildung 7: Impedanzwandler (Buffer) vor dem ADC-Eingang

Für alle Messbereiche außer dem $\pm 1\,\mathrm{V}$-Bereich wird vor dem ADC ein **Impedanzwandler** eingesetzt.

Der Impedanzwandler hat folgende Aufgaben:

- Er stellt einen *hohen Eingangswiderstand* bereit und belastet somit den Spannungsteiler nicht. Dadurch bleiben die berechneten Teilerverhältnisse exakt und die Eingangsspannung wird nicht verfälscht.
- Er bietet einen *sehr niedrigen Ausgangswiderstand*, sodass der ADC-Eingang (der kapazitiv und schaltend belastet) sicher und schnell geladen werden kann. Dies ist wichtig, um bei hohen Abtastraten stabile Messwerte zu erhalten.
- Er dient als Pufferstufe, damit sich das Verhalten des Widerstandsnetzwerks nicht durch den variablen Eingangswiderstand des ADCs ändert.

Da der ADC-Eingang oft kapazitiv ist und während der Abtastung kurzzeitig Stromspitzen zieht, könnte ohne Puffer die Spannung am Teiler zusammenbrechen oder verzerrt werden. Der Impedanzwandler trennt die Quelle und sorgt für eine stabile, niederohmige Ansteuerung des ADCs.

Abkürzungen

Oszi Oszilloskop

KS Kurzschluss

LL Leerlauf

$R_2 \parallel R_3$ Parallelschaltung zweier Widerstände

ADC Analog-Digital-Umsetzer (Analog-to-Digital Converter)

Quellenverzeichnis

- **Abbildung 1:** Blockschaltbild des analogen Frontends. Dieses Blockschaltbild wurde uns von **Gruppe 1** zur Verfügung gestellt.