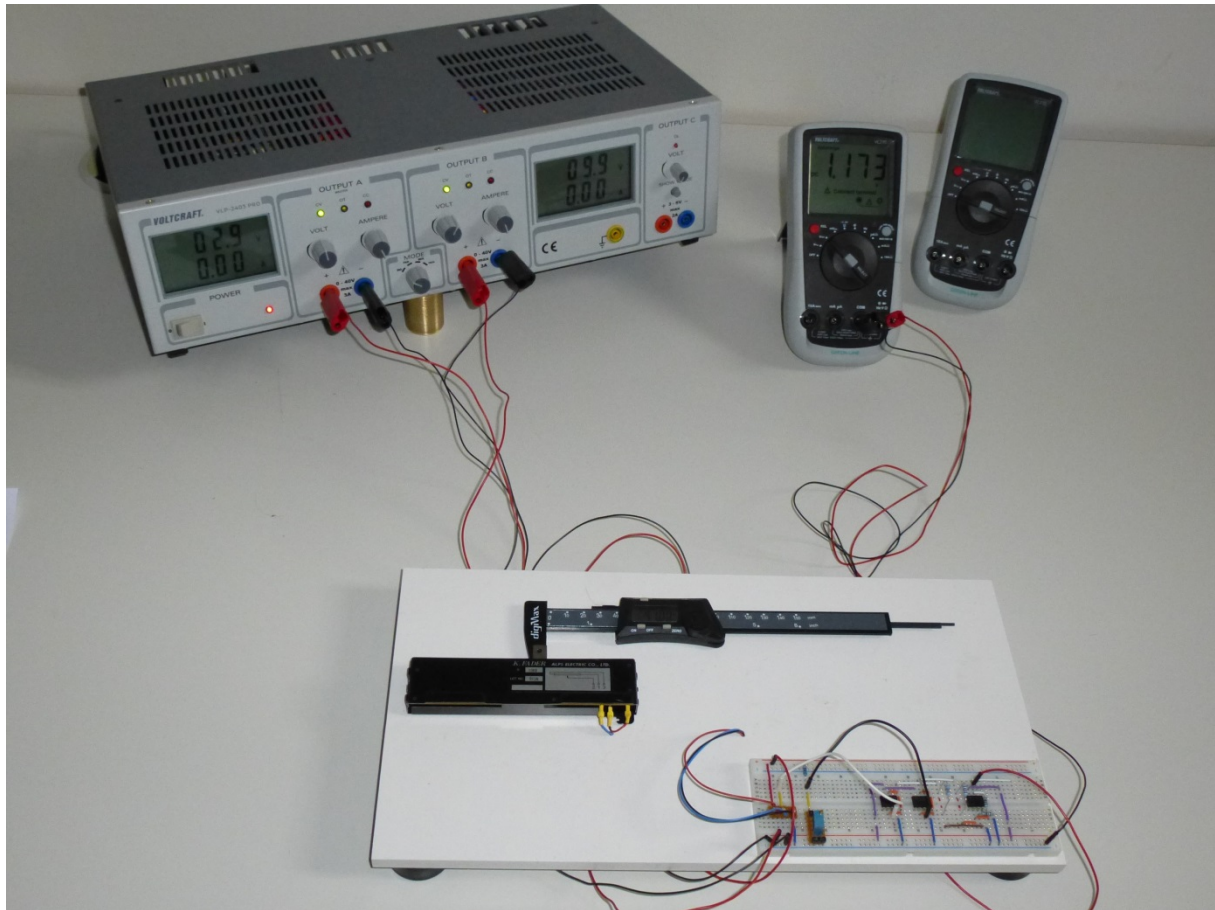


## Versuch 2: Widerstandssensoren, **2A: Potenziometrische Wegmessung**



### **1. Ziele:**

- Messen von Längen mit einem Linearpotenziometer („Schiebepotenziometer“), mit und ohne Lastwiderstand.
- Entwurf und Betrieb einer elektronischen Füllstandanzeige mit dem Schiebepotentiometer als Teil einer Messbrücke und zusätzlichem Instrumentenverstärker.



## 2. Grundlagen:

### 2.1

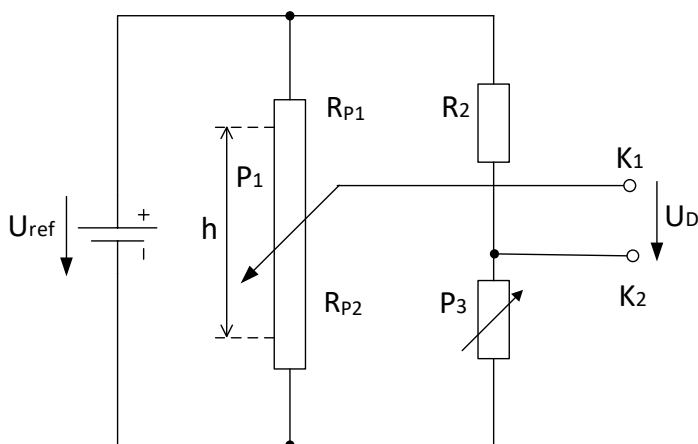
- Potenziometer, potenziometrische Wegmessung:
  - Entsprechendes Kapitel aus der Vorlesung „Sensorik“.
- Widerstands-Messbrücke:
  - Entsprechendes Kapitel aus der Vorlesung „Sensorik“.
- Operationsverstärker und Instrumentierungsverstärker:
  - Entsprechende Kapitel aus der Vorlesung „Sensorik“ und ggf. aus der Vorlesung „Elektronik und Messtechnik“.
- Umgang mit Widerstands-Normreihen:
  - Entsprechendes Kapitel aus der Vorlesung „Elektronik und Messtechnik“.

### 2.2 Schaltungen für die Füllstandanzeige

#### 2.2.1. Halbbrücke mit unsymmetrischer Widerstands-Konfiguration

(ergänzend zur Vorlesung)

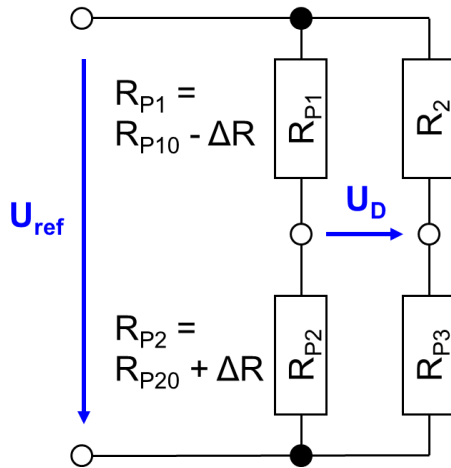
In Aufgabe 5.2 wird eine Widerstands-Messbrücke (Halbbrücke) mit einem Schiebepotenziometer ( $P_1$ ) verwendet. Dazu gehören noch ein Festwiderstand ( $R_2$ ) sowie ein weiteres Potenziometer ( $P_3$ ) zum Abgleichen der Brücke.



Diese Messbrücke kann bei einer beliebigen Stellung des Schiebepotenzimeters abgeglichen werden. Die beiden Teilwiderstände ( $R_{P1}$  und  $R_{P2}$ ) des Potenziometers haben dann somit unterschiedliche Ausgangswerte  $R_{P10}$  und  $R_{P20}$ , sie verhalten sich also nicht rein symmetrisch.



Es handelt sich hier um eine Halbbrücke mit unsymmetrischer Konfiguration der Brückenwiderstände. Diese lässt sich auch mit folgendem Schaltbild beschreiben:



Die Brücke werde bei folgender Potenziometerstellung abgeglichen:

$$R_{P1} = R_{P10} \quad R_{P2} = R_{P20}$$

Dann gilt die Abgleichbedingung:

$$\frac{R_{P10}}{R_{P20}} = \frac{R_2}{R_{P3}}$$

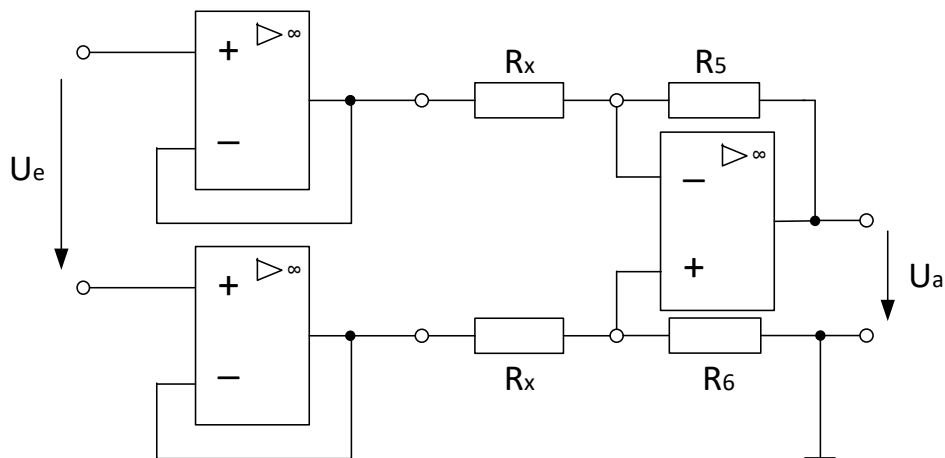
(Anmerkung: Die absoluten Werte der beiden Abgleichwiderstände  $R_2$  und  $R_{P3}$  sind nicht von Bedeutung. Hauptsache, das Verhältnis  $R_2 / R_{P3}$  ist korrekt.

Dann lässt sich (analog zu den Ausführungen der Vorlesung „Sensorik“) folgender Zusammenhang zwischen der Widerstandsänderung  $\Delta R$  und der Diagonalspannung  $U_D$  herleiten:

$$U_D = U_{REF} \cdot \frac{\Delta R}{R_{P10} + R_{P20}}$$



### 2.2.2. Verwendete einfache Variante eines Instrumentenverstärkers



Diese Schaltung wird mit drei diskreten Operationsverstärkern aufgebaut.

### 2.2.3. Zahlenwerte der Widerstands-Normreihe E24:

1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3
3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1		

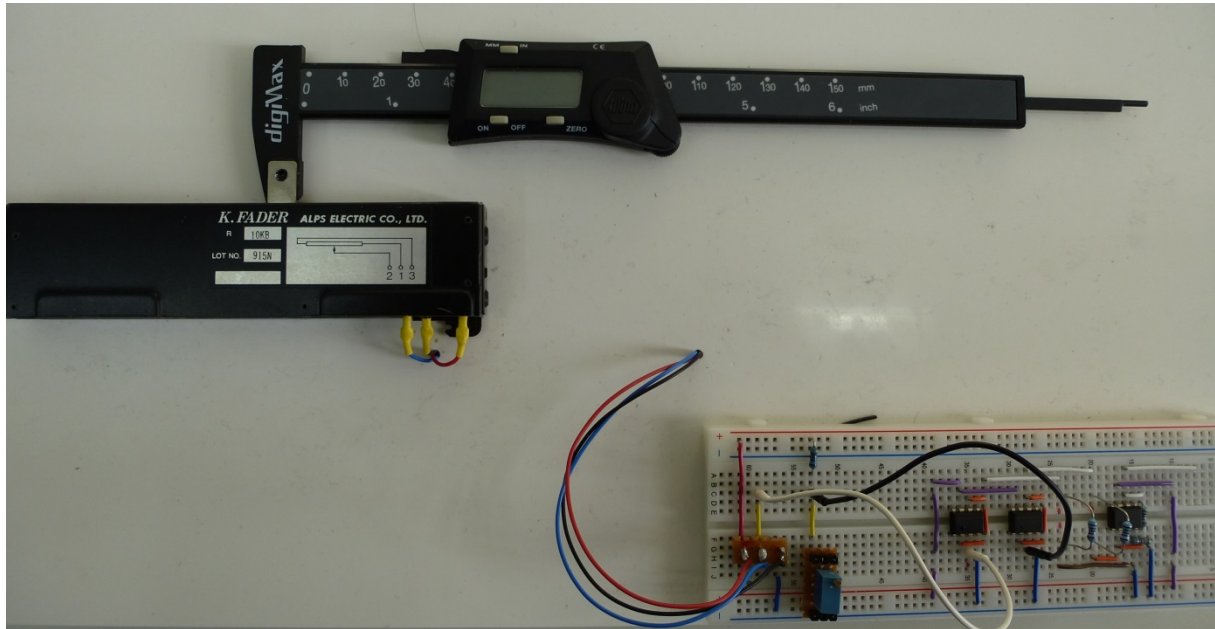


### 3. Zum Ablauf

- Bereiten Sie den Versuch zu Hause vor:  
Verschaffen Sie sich einen Überblick!  
Bearbeiten Sie vorab zu Hause die in den einzelnen Kapiteln gegebenen Aufgaben.  
Diese Ausarbeitung müssen Sie namentlich kennzeichnen und abgeben!
- Führen Sie die Versuche während der Laborveranstaltung durch.
- **WICHTIG 1: Vor jeder Inbetriebnahme einer Schaltung den Aufbau durch den Laborbetreuer abnehmen lassen! Nach jeder Messung den Betreuer gegenzeichnen lassen.**
- **WICHTIG 2: Das Netzgerät bleibt während der Versuche eingeschaltet. Beim Umbauen wird die Spannung auf null Volt eingestellt.  
GRUND: Ständiges EIN- und Ausschalten schadet den Geräten.**
- Schreiben Sie im Nachgang einen Versuchsbericht, in dem Sie die geforderten Aufgaben bearbeiten. Abgabe spätestens eine Woche nach Durchführung des Labors.  
Die von Ihnen ermittelten Messwerte (Tabellen aus diesem Skript) sind als Anhang mit abzugeben.
- **WICHTIG 3:**
  - Maßeinheiten, physikalische Größen, Zahlenwerte z.B. in Tabellen sind normgerecht nach DIN 22 / DIN 1301 / DIN 1338 anzugeben. Siehe gegebene Unterlagen.
  - Grafische, quantitative Diagramme sind normgerecht nach DIN 461 darzustellen. Siehe z.B. Wikipedia: „DIN 461“.

## 4. Geräte- und Materialliste:

### 4.1 Versuchsträger mit Sensorpotentiometer, Messschieber, Steckbrett

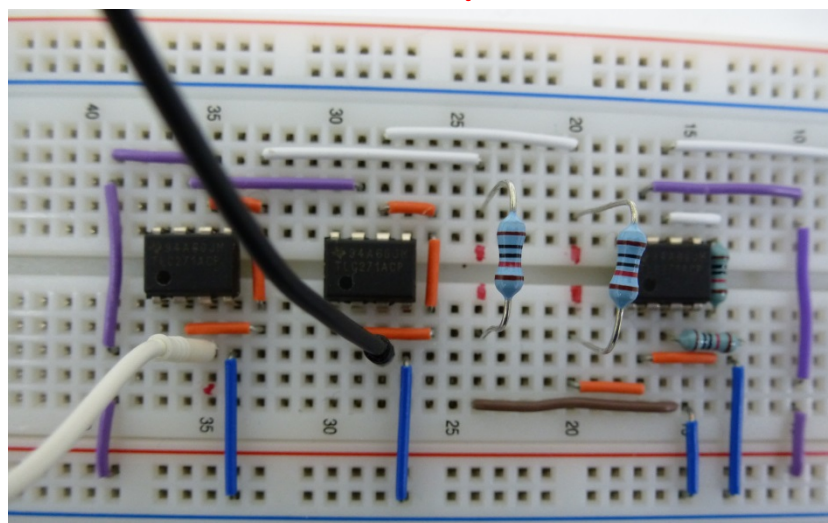
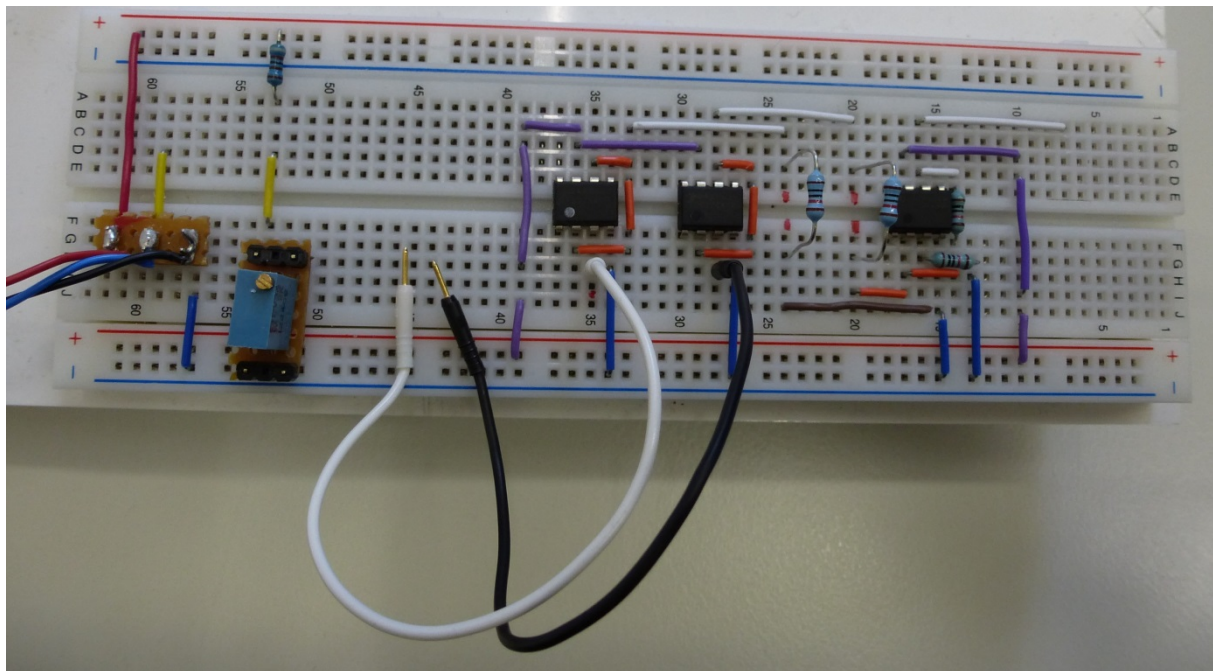


#### Versuchsträger:

- Sensorpotentiometer („P1“)
- Messschieber
- Steckbrett



## 4.2. Steckbrett



### Steckbrett:

- Anschlüsselement für das Sensorpotentiometer ( $P_1 = 10\text{k}\Omega$  Maximalwert).
- Widerstand  $R_2 = 9,1\text{k}\Omega$  (Toleranz 1%).
- Potentiometer  $P_3$  (Maximalwert  $2\text{k}\Omega$ , Toleranz 5%).
- Instrumentenverstärker, fertig aufgebaut mit 3 x TLC271 und  $R_5 = R_6 = 10\text{k}\Omega$ .



#### 4.3 Spannungsversorgung: Dreifach-Labornetzteil



##### Spannungsversorgung:

- OUTPUT A:** Referenzspannung  $U_{ref} = 3 \text{ V}$   
(wird gelegt auf die obere rote Schiene des Steckbretts)
- OUTPUT B:**  $U_B = 10 \text{ V}$ , Spannungsversorgung für die OPV  
(wird gelegt auf die untere rote Schiene des Steckbretts)
- 0 Volt:** gemeinsames Bezugspotenzial  
(wird gelegt auf die untere blaue Schiene des Steckbretts)

#### 4.4. Sonstiges

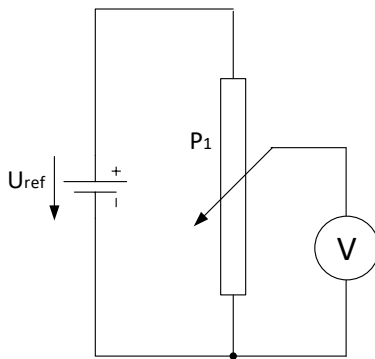
- 2 Digitalmultimeter
- 1 Schraubendreher
- Diverse Messkabel, Verbindungsdrähte





## 5. Aufgaben

### 5.1. Linearpotentiometer als Spannungsteiler



#### 5.1.1. Vorbereitung (schriftlich vorab, müssen Sie dem Betreuer zeigen und abgeben!)

- Klären Sie folgende Fragen (handschriftlich, d.h. zum Beispiel mit Text, Zeichnung etc.):
  - a. Wo auf dem Steckbrett finden Sie den Anschluss für das Potentiometer?  
Welche Farben der Anschlusskabel entsprechen welchen Stellen in der oben gegebenen Schaltung?
  - b. Wo muss auf dem Steckbrett der Lastwiderstand  $R_L$  angeschlossen werden?
  - c. Dazu gehört auch eine Zeichnung/Bild: Wo schließen Sie wie/was an?

#### 5.1.2 Durchführung und Auswertung

- Bauen Sie die oben gezeigte Schaltung auf (nutzen Sie die bereits vorhandenen Elemente).
- Wählen Sie  $U_{ref} = 3,0$  Volt.
- Messen Sie die Spannung  $U_m$  über den gesamten Verschiebeweg  $x$  des Potenziometers (siehe Tabelle 1 unten).
- Schalten Sie anschließend einen Lastwiderstand  $R_L = 10k\Omega$  parallel zum Potenziometerausgang ( $R_L$  steht z.B. stellvertretend für den Eingangswiderstand einer nachfolgenden Messstelle). Messen Sie erneut!

#### Auswertung:

- Zeichnen Sie ein Diagramm der beiden aufgenommenen Sensorkennlinien.
- Beschreiben Sie die Ergebnisse ihrer Messungen.
- Leiten Sie dazu den Zusammenhang zwischen dem Spannungsverhältnis  $U_m/U_{ref}$ , dem Widerstandsverhältnis  $\Delta R/R$  und dem Verschiebeweg  $\Delta x/x$  her. Mit und ohne Lastwiderstand.
- Wie groß, relativ zum Widerstand des Potenziometers, sollte ein (realer!) Eingangswiderstand  $R_L$  einer nachfolgenden Messstelle sein?



x in mm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	x <sub>max</sub>
U <sub>m</sub> in V ohne R <sub>L</sub>												
U <sub>m</sub> in V mit R <sub>L</sub> =10kΩ												

**Tabelle 1**

**Betreuer:**

--

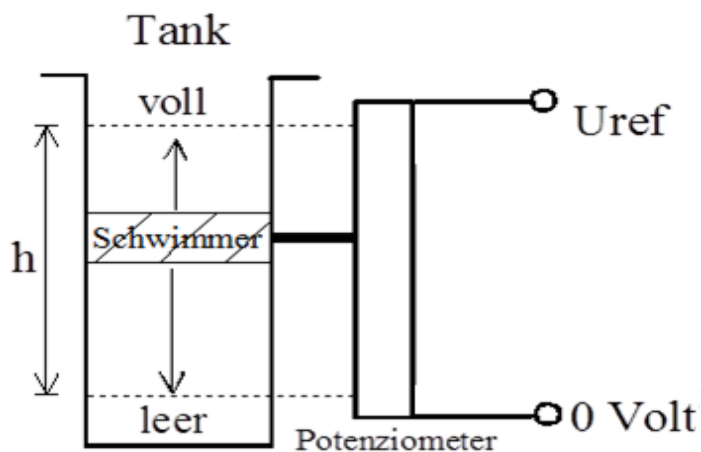


## 5.2. Füllstandssensor und Anzeige

### 5.2.1 Allgemeine Aufgabenstellung:

Für einen Flüssigkeitstank soll ein Füllstandssensor mit dem bereits oben verwendeten Schiebepotenzimeter und einer Messbrücke dimensioniert werden. (Das Schiebepotentiometer ist Teil der Messbrücke, siehe 2.2.1.)

Mit einem nachgeschaltetem Instrumentenverstärker und einem Multimeter soll eine Füllstandanzeige realisiert werden.



#### „Technische Daten“ des Tanks (kubisch geformt)

- Arbeitsbereich des Füllstandsmessers:  $h = 10 \text{ mm} \dots 90 \text{ mm}$

Die folgenden Daten finden Sie im Text bzw. sie können diese im Labor überprüfen.

- Gesamtwiderstand des Potenziometers:  $R_{P1} = \text{ k}\Omega$
- Maximaler Verfahrweg:  $x = \text{ mm}$
- Position für „Tank voll“:  $x = 90 \text{ mm} = h_{\text{voll}}$ ,  
 $R_{x=90\text{mm}} = \text{ k}\Omega$
- Position für „Tank leer“:  $x = 10 \text{ mm} = h_{\text{leer}}$ ,  
 $R_{x=10\text{mm}} = \text{ k}\Omega$
- Genutzter Verfahrweg des Sensors:  $\Delta h = 80 \text{ mm}$

Der Einbau ist symmetrisch, so dass oben („voll“) und unten („leer“) jeweils eine Gangreserve übrig bleibt.



**Der folgende Wert wird Ihnen vom Laborbetreuer am Labortag vorgegeben:**

- Nutzvolumen des Tanks:  $V_{\text{Tank}} =$   Liter



### 5.2.2. Vorbereitung (schriftlich vorab, müssen Sie dem Betreuer zeigen und abgeben!)

- Klären Sie folgende Fragen (handschriftlich, d.h. zum Beispiel mit Text, Zeichnung etc.):
  - a. Wo auf dem Steckbrett finden sich die Bauteile für die Messbrücke, wo findet sich der Instrumentenverstärker?
  - b. Identifizieren Sie die drei Operationsverstärker des Instrumentenverstärkers auf dem Steckbrett. Welcher OPV übernimmt welche Funktion?
  - c. Wo finden sich auf dem Steckbrett  $R_x$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ?
  - d. Bei leerem Tank soll die Brücke abgeglichen sein.
    - In welcher Position des Potenziometers wird die Brücke dann abgeglichen?
    - Welchen Wert nimmt  $U_D$  theoretisch bei leerem, bzw. vollem Tank an? Warum?
  - e. Die verwendete Schaltung des Instrumentenverstärkers soll so dimensioniert werden, dass der Zahlenwert der Ausgangsspannung  $U_a$  dem Füllstand des Tanks in Litern entspricht.
    - Bereiten Sie theoretisch die Berechnung der dafür notwendigen Verstärkung  $V$  des Instrumentenverstärkers und der Widerstände  $R_x$  zur Erfüllung dieser Bedingung vor.
  - f. Was muss bei Nutzung von Widerständen aus der E24-Normreihe beachtet werden, wenn gelten soll: Der Wert der Ausgangsspannung  $U_a$  des Verstärkers darf einen Fehler von -5% des Zahlenwertes vom Tankvolumen  $V_{\text{Tank}}$  haben.

### 5.2.3 Durchführung und Auswertung

#### Durchführung:

- Bauen Sie den „Füllstandssensor“ als Messbrücke mit  $P_1$ ,  $R_2$  und  $P_3$  auf.
- Gleichen Sie die Brücke ab. (Bei leerem Tank soll die Brücke abgeglichen sein).
- Ermitteln Sie die fehlenden Werte (siehe 5.2.1) für die Dimensionierung des Verstärkers.
- Messen Sie nach: Welchen Wert nimmt  $U_D$  bei leerem, bzw. vollem Tank an (Tabelle 2)?
- Verbinden Sie die abgeglichene Messbrücke ( $K_1$ ,  $K_2$ ) mit dem Messverstärker auf dem Steckbrett (schwarzes und weißes Verbindungskabel,  $R_5 = R_6 = 10k\Omega$ ).
- Die genutzte Verstärkerschaltung soll so dimensioniert werden, dass der Zahlenwert der Ausgangsspannung  $U_a$  dem Füllstand des Tanks in Litern entspricht. Berechnen Sie die notwendige Verstärkung  $V$  des Messverstärkers und die entsprechenden Widerstände  $R_x$  zur Erfüllung der oben genannten Bedingung.  
Hinweis: Das Volumen  $V_{\text{Tank}}$  des Tanks wird Ihnen von den Betreuern mitgeteilt.
- Wählen Sie einen passenden Widerstand  $R_x$  aus der E24 Reihe  
Dabei muss gelten: Der Wert der Ausgangsspannung  $U_a$  des Verstärkers darf einen Fehler von -5% des Zahlenwertes vom Tankvolumen  $V_{\text{Tank}}$  haben (Tabelle 3).



- Kontaktieren Sie den Laborbetreuer! Präsentieren Sie ihm Ihre Berechnung und Widerstandswahl. Sie erhalten dann die entsprechenden Widerstände.
- Ersetzen Sie die entsprechenden Widerstände in der Schaltung auf dem Steckbrett.
- Schließen Sie als Anzeigeelement ein Multimeter an den Verstärkerausgang (Pin 6) und nehmen Sie Ihre „Füllstandanzeige“ in Betrieb. Überprüfen Sie die korrekte Funktion, indem Sie einige Spannungswerte über den Verschiebeweg des Potentiometers messen, also die Kennlinie des Füllstandsensors.
- → Kontaktieren Sie dann den Laborbetreuer und präsentieren Sie ihm das Ergebnis.

**Auswertung:**

- Beschreiben/Berechnen Sie ausführlich die Funktion der realisierten Anzeige. Wie entsteht aus einer aktuellen Literzahl im Tank die Spannungsanzeige am Multimeter?
- Zeichnen und beschreiben Sie in diesem Zusammenhang auch ein Diagramm der aufgenommenen Kennlinie.
- Beschreiben Sie die Funktion der drei Schaltungsteile des Instrumentenverstärkers.
- Warum ist es notwendig, die Ausgänge K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub> der Messbrücke mittels Impedanzwandler ( $V=1$ ) vom Messverstärker zu entkoppeln?
- Berechnen und Beschreiben Sie nochmals ausführlich die Wahl der Widerstände  $R_x$  (und daraus resultierend der Verstärkung  $V$ ) unter den gegebenen Randbedingungen.





Tank leer	$U_D$ in V	
Tank voll	$U_D$ in V	

**Tabelle 2**

$V$ (berechnet)	
$R_x$ (berechnet) in $k\Omega$	
$R_x$ gewählt aus E24-Reihe in $k\Omega$	

**Tabelle 3**

**Betreuer:**

--