



# Labor Sensorik SS22

Vorgelegt von:



Matrikelnummer: A horizontal black rectangle with a diagonal cross-hatch pattern, used to redact the matriculation number.

## Inhaltsverzeichnis

Labor 1 Drehzahlmessung .....	3
Labor 2A Wegmessung mit Potentiometer.....	31
Labor 2B NTC/PTC Widerstand.....	49
Labor 3 Dehnmessstreifen.....	63



# Labor Sensorik Versuch 1

Vorgelegt von:

[REDACTED]

[REDACTED]



## Inhaltsverzeichnis

1 Erläuterung zum Versuchsaufbau .....	4
1.1 Funktionsprinzip Hallsensor.....	5
1.2 Funktionsprinzip Drehkranz .....	7
1.3 Funktionsprinzip Induktiver Drehzahlsensor .....	8
1.4 Berechnung der Induktivität des Induktiven Sensors .....	9
2 Versuchsaufbau .....	10
2.1 Schematische Zeichnung der für den Aufbau benötigte Elektronik .....	11
3 Versuchsdurchführung .....	13
3.1 Erprobung des Induktiven Drehzahlsensors (Versuch 5.1.2.1) .....	13
3.2 Bestimmung des Magnetischen Flusses nach der Zeit .....	18
3.3 Schmitt-Trigger zur Verarbeitung des Ausgangssignals des Induktiven Drehzahlsensors	19
3.4 Erprobung des Hallsensors .....	22
3.5 Schmitt-Trigger zur Verarbeitung des Ausgangssignals des Hall-Drehzahlsensors .....	26
3.6 Berechnung der Drehzahl aus Generatorenspannung .....	27
4 Vergleich der Drehzahlmessarten .....	29
4.1 Induktiver Drehzahlsensor .....	29
4.2 Hallsensor .....	29
4.3 Generator als Drehzahlmesser .....	29



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1.0 Foto aus Laborskript [1] des Versuchsaufbaus .....	4
Abbildung 1.1.1 Visuelle Darstellung des Hallsensors.....	5
Abbildung 1.2.1 Schematische Zeichnung des Drehkranzes.....	7
Abbildung 1.2.2 Schematische Zeichnung des Funktionsprinzips Drehkranz .....	7
Abbildung 1.3.1 Schematische Darstellung des Aufbaus des Induktiven Drehzahlensors .....	8
Abbildung 2.1.0 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus .....	10
Abbildung 2.1.1 Foto aus Laborskript [1] Labornetzteil der für diesen Versuch verwendet wurde .....	11
Abbildung 2.1.2 Schematische Darstellung der für den Aufbau benötigte Elektronik .....	11
Abbildung 2.1.3 Steckbrettschaltungen die für den Versuchsaufbau benötigt wurden .....	12
Abbildung 3.1.1 Schematische Darstellung der für diesen Versuchsaufbau benötigten Elektronik .....	13
Abbildung 3.1.2 Tabelle der Oszilloskop Bilder mit Signaleigenschaften zu (Versuch 5.1.2.1) ..	15
Abbildung 3.1.3 Amplituden- und Drehzahlverlauf des Aufbaus .....	17
Abbildung 3.2.1 Gleichung zur Gleichung zur Bestimmung des Magnetflusses aus Spannung.	18
Abbildung 3.3.1 Schematische Darstellung der Elektronik für diesen Versuchsaufbau.....	19
Abbildung 3.3.2 Oszilloskopbilder $U_{IND}$ (Gelb) mit angeschlossenem Schmitt-Trigger (Blau)....	20
Abbildung 3.3.3 Oszilloskopbilder $U_{IND}$ (Gelb) mit angeschlossenem Schmitt-Trigger (Blau)....	21
Abbildung 3.4.1 Schematische Darstellung der für diesen Versuchsaufbau benötigten Elektronik .....	22
Abbildung 3.4.2 Tabelle der Oszilloskop Bilder mit Signaleigenschaften .....	24
Abbildung 3.4.3 Diagramm der Versorgungsspannung $U_{VERSORGUNG,HALL}$ zu Sensorausgangsspannung $U_{HALL}$ .....	25
Abbildung 3.5.1 Schematische Darstellung der Elektronik für diesen Versuchsaufbau.....	26
Abbildung 3.5.2 Analoges (Gelb) und Digitales (Blau) Signal bei 200Hz (Links) und 20Hz (Rechts) .....	27
Abbildung 3.6.1 Spannungs- und Frequenzwerte Generator.....	27
Abbildung 3.6.2 Drehzahlkennlinie Generator .....	28



## 1 Erläuterung zum Versuchsaufbau

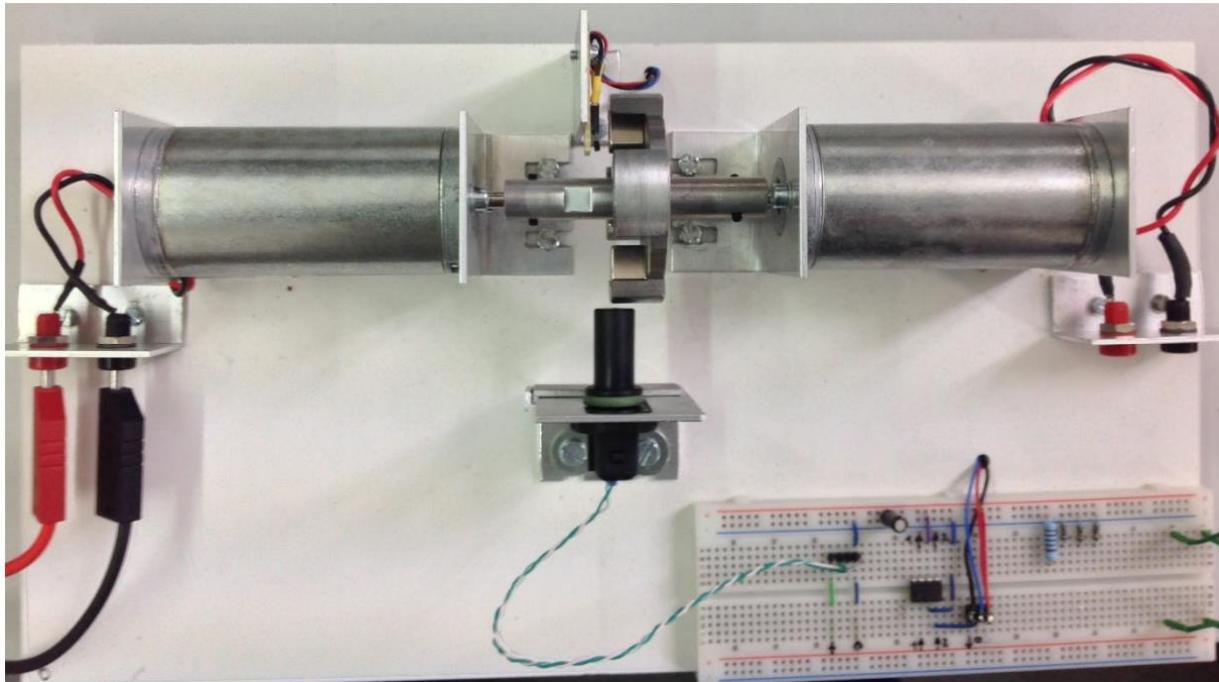


Abbildung 1.1.0 Foto aus Laborskript [1] des Versuchsaufbaus

In diesem Laborversuch geht es darum eine Drehzahlmessapparatur zu erproben. Diese Apparatur besteht aus einem sich rotierenden Zahnkranz sowie ein Hallsensor und einem Induktiven Sensor. Mit dieser Messapparatur soll die Drehzahl der miteinander verbundenen Motoren erfasst werden. Hierbei wird ein Motor von einem Netzteil bestromt, während der andere im Generatorbetrieb mitgedreht wird. Das Funktionsprinzip der Messapparatur wird im folgenden Abschnitt 2 und 3 erklärt.

Die Drehzahl der miteinander gekoppelten Motoren wird mithilfe zweier Drehzahlsensoren erfasst, die auf unterschiedliche Prinzipien aufbauen. Der Obere Sensor (in Abbildung 1.1.0) ist ein Hallsensor, während der untere Sensor ein Induktiver Drehzahlsensor ist. Die beiden Sensoren werden an einem Steckbrett angeschlossen, wo deren Ausgangssignale weiterverarbeitet werden können, um genauer analysiert werden zu können.



## 1.1 Funktionsprinzip Hallsensor

Um die Drehzahl eines sich rotierenden, mechanischen Teiles elektronisch zu erfassen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Je nach Anwendungsbereich müssen verschiedene Anforderungen an der Drehzahlmessung gewichtet werden, vor allem Kosten und Genauigkeit. Oftmals werden Drehzahlmessapparaturen mithilfe eines Hallsensors realisiert, da dieser einen recht kompakten und einfachen Aufbau besitzt. Die grundsätzliche Funktion eines solchen Sensors wird im Folgenden erklärt.

Grundsätzlich besteht der Hallsensor aus einer dünnen, viereckigen Halbleiterplatte. Dieser P-Halbleiter kann dann mithilfe einer Versorgungsspannung bestromt werden, um daraus Magnetfluss in ein elektrisches Signal zu konvertieren.

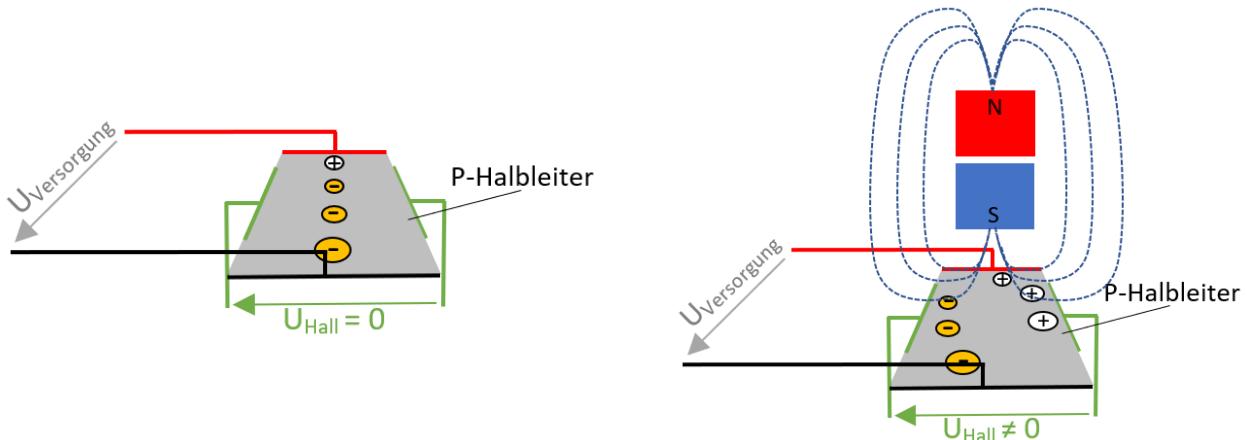


Abbildung 1.1.1 Visuelle Darstellung des Hallsensors

Die Versorgungsspannung  $U_{\text{Versorgung}}$  (siehe Abbildung 1.1.1) dient dazu das Halbleiterelement elektrisch zu beladen, damit es überhaupt leitfähig wird. Anders wäre die Erzeugung eines solches Signals nicht möglich. Diese Spannungsversorgung bringt den Vorteil mit sich, dass die Signalspannung gewissermaßen verstärkt wird. Desto größer die Versorgungsspannung, desto größer die Signalspannung  $U_{\text{Hall}}$ .

Das Ausgangssignal (siehe Abbildung 1.1.1) entsteht, wenn sich das Hallelement in einem Magnetfeld befindet, sodass über der zum Versorgungsstrom entgegengesetzten Richtung des P-Halbleiters ein Magnetfeld resultiert. Dieses Magnetfeld bewirkt auf dem Versorgungsstrom eine Lorentzkraft, die eine Ladungungleichung über dem Halbleiterelement bewirkt, was ein messbares Spannungssignal  $U_{\text{Hall}}$  bildet. Die Nähe zum Magnetfeld beeinflusst zusätzlich zu der



Versorgungsspannung das Ausgangssignal. Es gilt, desto näher das Magnetfeld, desto größer das Signal  $U_{Hall}$ .

Wird der in Abbildung 1.1.1 gezeigte Aufbau innerhalb eines Gehäuses platziert und einem Rotierenden Magnetfeld ausgesetzt, so erzeugt dieses Element ein Periodisches Spannungssignal, woraus die Drehzahl gelesen werden kann.



## 1.2 Funktionsprinzip Drehkranz

Um das rotierende Magnetfeld zu erzeugen, werden die beiden Elektromotoren (siehe Abbildung 1.1.0) mithilfe eines Drehkranszes miteinander gekoppelt. Dieser Drehkranz dient dazu ein rotierendes Magnetfeld zu erzeugen, welches von den beiden Sensoren erfasst werden kann.

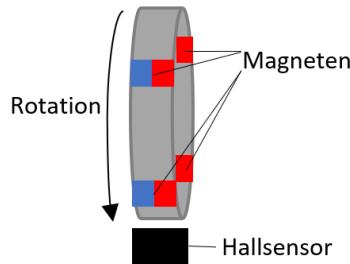


Abbildung 1.2.1 Schematische Zeichnung des Drehkranzes

Die Abbildung 1.2.1 zeigt, wie der Zahnkranz mit seinen Magneten direkt an dem rotierenden Bauteil montiert wird, von dem die Drehzahl erfasst werden soll. Die durch die Magnetfelder entstehenden Lorentzkräfte die, wie in Abschnitt 1.1 erklärt, von einem Hall-Sensor in ein elektrisches Signal gewandelt werden (siehe Abbildung 1.2.2). In diesem Versuchsaufbau wurde ein Drehkranz mit 4 Magneten benutzt, um eine möglichst ausgewuchtete Rotation zu erzielen und trotzdem ein klares, auswertbares Signal zu erzeugen. Das Ausgangssignal des Hall-Sensors ist halbsinusförmig, wenn sich der Zahnkranz gleichmäßig rotiert (siehe Versuchsdurchführung)

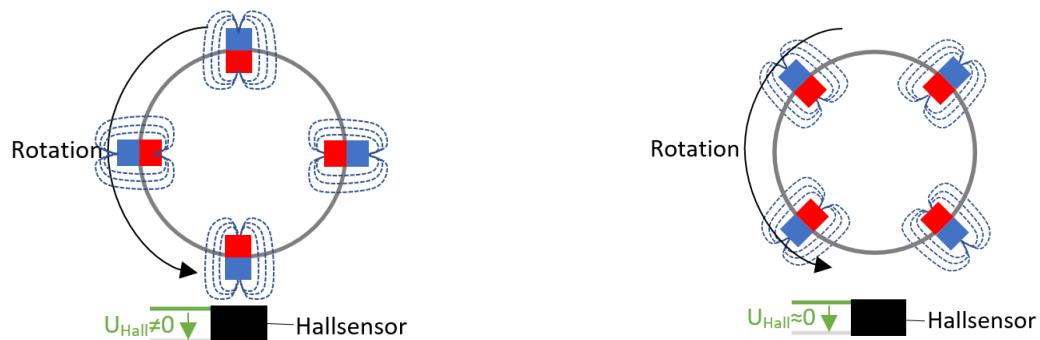


Abbildung 1.2.2 Schematische Zeichnung des Funktionsprinzips Drehkranz



### 1.3 Funktionsprinzip Induktiver Drehzahlsensor

Zusätzlich zu dem oben genannten Hallsensor, gibt es auch einen sogenannten induktiven Drehzahlsensor, der auf einer anderen Art und Weise für die Drehzahlmessung eingesetzt werden kann. In diesem Laborversuch wird der Induktive Drehzahlsensor, zusätzlich zu dem Hallsensor, eingesetzt, um die Drehzahl der miteinander gekoppelten Motoren zu erfassen.

Der induktive Drehzahlsensor basiert, ähnlich wie der Hallsensor, auf dem Prinzip der Lorentzkraft. Der Unterschied liegt allerdings darin, dass der Induktive Drehzahlsensor keinen zusätzlichen Stromanschluss benötigt, um ein Ausgangssignal zu erzeugen. Das liegt daran, dass bei dem Induktiven Drehzahlsensor die Drehzahl durch Änderungen in der Induktivität erfasst wird. Diese Induktivität beeinflusst die, über dem Sensor angelegte, Spannung so dass die Drehzahl einfach berechnet werden kann.

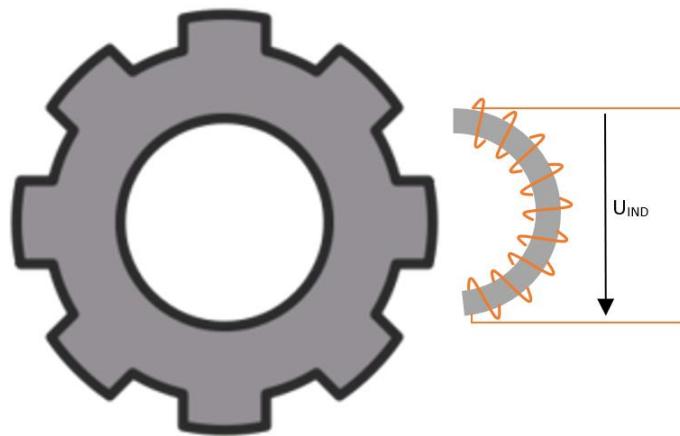


Abbildung 1.3.1 Schematische Darstellung des Aufbaus des Induktiven Drehzahlsensors

Die Abbildung 1.3.1 zeigt eine Ankerwicklung, die aus einer Induktivität mit einem metallkern besteht. Auf dieser Induktivität wird eine Wechselspannung  $U_{IND}$  gelegt.



#### 1.4 Berechnung der Induktivität des Induktiven Sensors

Die über der Spule angelegte Spannung wird von der Impedanz der Spule beeinflusst. Die Induktive Impedanz  $X_L$  wird mit folgender Formel beschrieben:

$$X_L = 2\pi f L$$

wobei  $f$  die Frequenz, und  $L$  die Induktivität der Schaltung beschreibt. Diese Induktivität wird mit der Formel:

$$L = N \frac{d\phi}{di}$$

Wobei  $N$  die Anzahl der Wicklungen, und  $\frac{d\phi}{di}$  den veränderlichen Magnetfluss nach Stromänderung beschreibt. Dieser Magnetfluss hängt von dem Bauteil sowie von den gegenüberliegenden Materialien ab. Es wird ein Zahnkranz mit vier Zähne verwendet, die aus einem leitfähigen Metall bestehen, sodass sich je nach Position des Rades ein unterschiedlicher Fluss ergibt, was wiederum die Induktivität ändert. Diese Änderung kann dann aus dem Spannungssignal messtechnisch erfasst werden, um daraus eine Drehzahl zu berechnen.

## 2 Versuchsaufbau

Die oben erwähnten Sensoren, sowie Zahnkranz wurden wie folgt in diesem Laborversuch angewendet, um daraus eine Drehzahlmessapparatur zu bilden:

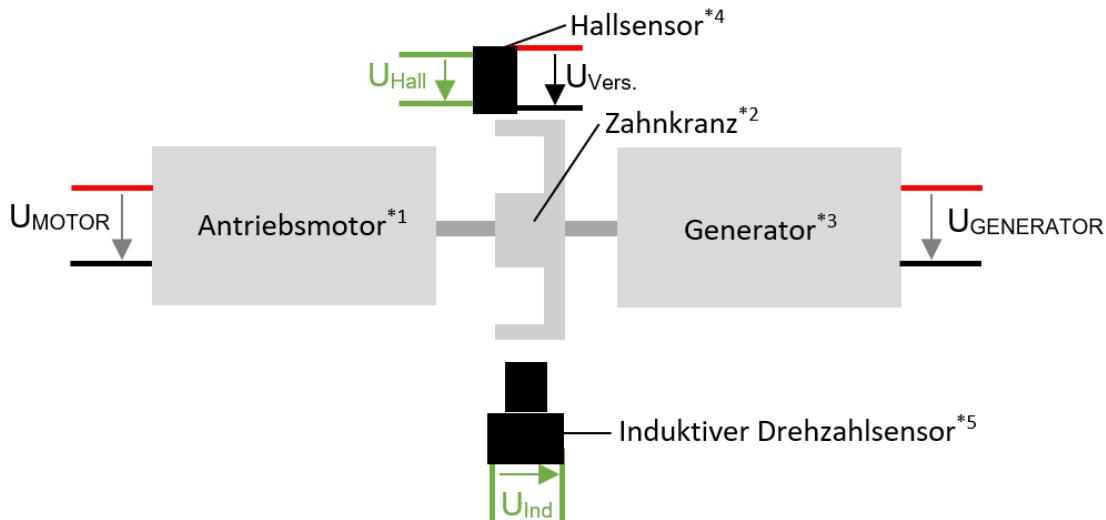


Abbildung 2.1 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Der Antriebsmotor \*1 kann mit Spannungen von  $U_{MOTOR} = 0..15V$  betrieben werden. Diese Antriebsspannung wird von einem Dreifachnetzteil eingestellt. Die über dem Motor angelegte Spannung führt zur Rotation des Zahnkranzes \*2 sowie Generators \*3.

Der Zahnkranz \*2 aus dem Versuchsaufbau (siehe Abbildung 2.1) ist mit 4 Magneten versehen, die in dem Hallsensor \*4 sowie in dem Induktiven Drehzahlsensor \*5 ein Spannungssignal  $U_{Hall}$  und  $U_{Ind}$  erzeugen. Diese beiden Ausgangssignale wurden an einem Oszilloskop angeschlossen, sodass diese grafisch ausgewertet werden konnten (siehe Abschnitt 3).

Wie bereits erwähnt, benötigt der Hallsensor für die Generierung des Spannungssignales eine Versorgungsspannung. Der Hallsensor wird ab einer Versorgungsspannung von 7V leitend, und kann mit maximal 12V betrieben werden. Die Versorgungsspannung  $U_{Versorgung}$  des Hallsensors wird auch von einem Netzteil erzeugt.

## 2.1 Schematische Zeichnung der für den Aufbau benötigte Elektronik

Um die für den Versuch benötigte Elektronik in einer möglichst klaren Form darzustellen, wurde in diesem Abschnitt eine Schematische Zeichnung (wie in der Aufgabenstellung gefordert) erstellt. Die elektrische Versorgung des Aufbaus erfolgt mithilfe eines Labornetzteils, welches an die jeweiligen Komponenten (siehe Abbildung 2.1.1) angeschlossen wird.



Abbildung 2.1.1 Foto aus Laborskript [1] Labornetzteil der für diesen Versuch verwendet wurde

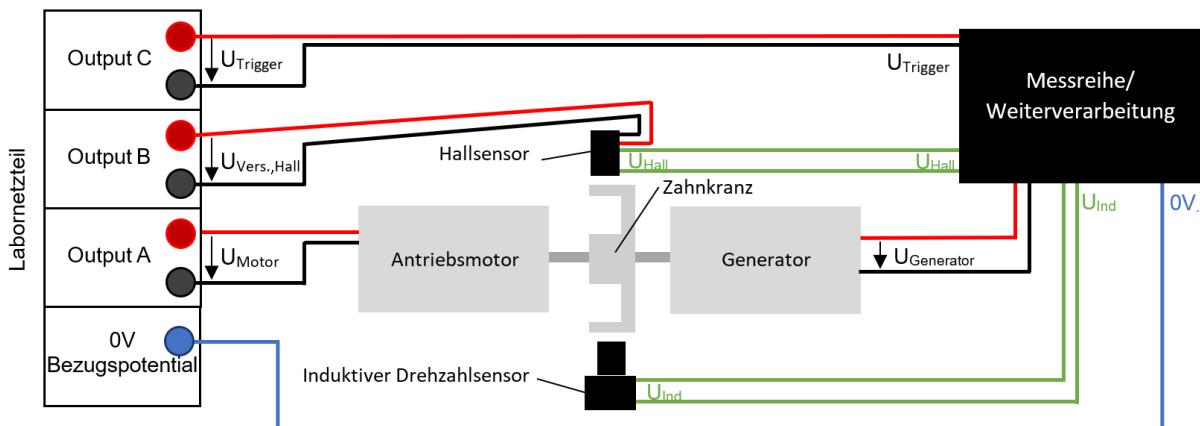


Abbildung 2.1.2 Schematische Darstellung der für den Aufbau benötigte Elektronik

Sichtbar ist, dass das Labornetzteil über drei Anschlüsse verfügt (A, B und C), die in diesem Laborversuch alle verwendet werden. Der Aufbau braucht eine Versorgungsspannung für den Antriebsmotor, für den Hallsensor und für den Schmitt Trigger der, der sich in der Messreihe befindet. Zudem benötigt die Messreihe einen 0V Bezugspotential, der auch von dem Labornetzteil geliefert wird. Die Messreihe/Weiterverarbeitung beinhaltet eine Messreihe, die an einem Steckbrett aufgebaut ist (siehe Abbildung 2.1.3), sowie Anschlüsse für ein Oszilloskop. Die Motordrehzahl wird mithilfe der Motorspannung geregelt.

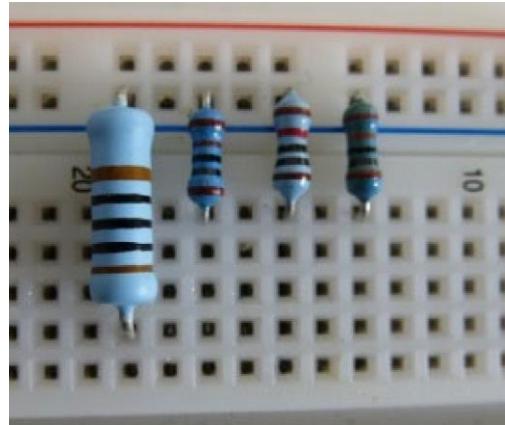
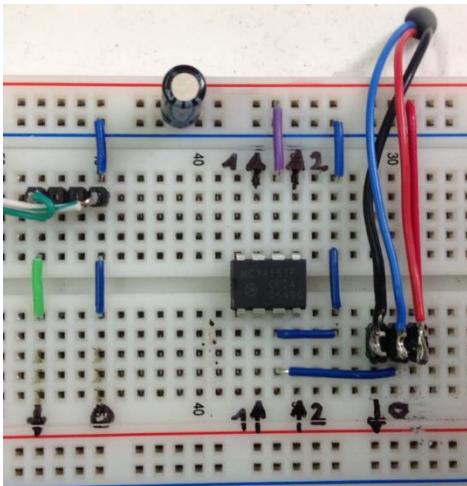


Abbildung 2.1.3 Steckbrettschaltungen die für den Versuchsaufbau benötigt wurden

Die obige Abbildung 2.1.3 zeigt die Anschlüsse für die jeweiligen Bauteile, sowie den Schmitt Trigger Baustein MC34151 der für die Digitalisierung der Analogen Signale verwendet wird. Der Schmitt Trigger dient als einfache Analog-Digitalwandlung, die die Analogen Ausgangssignale der beiden Sensoren in ein Digitales Signal mit derselben Frequenz wandelt.

Zudem wurde für den zweiten Elektromotor, der im Generatorbetrieb läuft, eine Schaltung mit 4 Widerständen aufgebaut, mit denen die Motorlast eingestellt werden kann. Die Widerstände  $R_L$  betragen: 0,1 k $\Omega$ , 1,0 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ . Die Motorlast beeinflusst die Drehzahl und die Leistung des Motors im Antriebsmodus.



### 3 Versuchsdurchführung

Mit diesem Versuchsaufbau konnte das Verhalten der jeweiligen Sensoren nun erprobt werden.

Hierzu wurden einige verschiedene Versuche durchgeführt

#### 3.1 Erprobung des Induktiven Drehzahlsensors (Versuch 5.1.2.1)

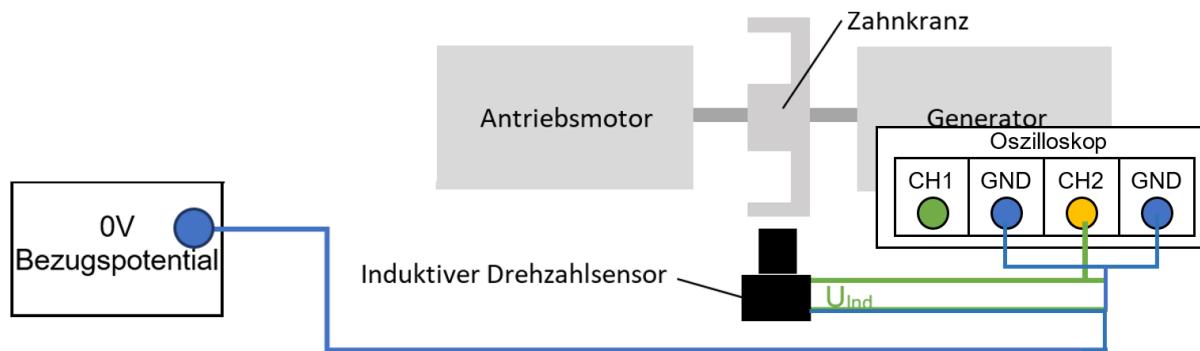
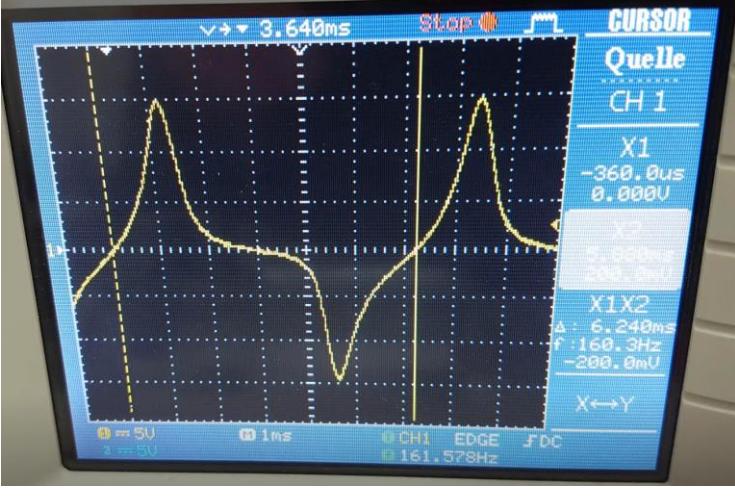


Abbildung 3.1.1 Schematische Darstellung der für diesen Versuchsaufbau benötigten Elektronik  
(siehe Abbildung 2.1.2 für die Vollständige Schematische Zeichnung)

In dem ersten Versuchsteil wurde der Induktive Drehzahlsensor ausprobiert. Hierzu wurde das Oszilloskop direkt an dem Ausgangssignal des Induktiven Drehzahlsensors angeschlossen, um das unverarbeitete Signal zu untersuchen. Es wurden verschiedene Drehzahlstufen über der Versorgungsspannung des Elektromotors eingestellt, um das Verhalten des Induktiven Drehzahlsensors unter verschiedenen Drehzahlen zu bestimmen. Die von dem Speicheroszilloskop erfassten Signalausschnitte, aus denen man die Signaleigenschaften rauslesen konnte, wurden abfotografiert und in folgende Tabelle (Abbildung 3.1.2) eingefügt.

Signaleigenschaften $U_{IND}$	Oszilloskop Bild Gelb= $U_{IND}$
<p>Frequenz=200Hz <math>n_{MOTOR}=3000</math> 1/min Periode=5ms Amplitude=18V</p>	
<p>Frequenz=160.3Hz <math>n_{MOTOR}=2405</math> 1/min Periode=6.24ms Amplitude=15V</p>	

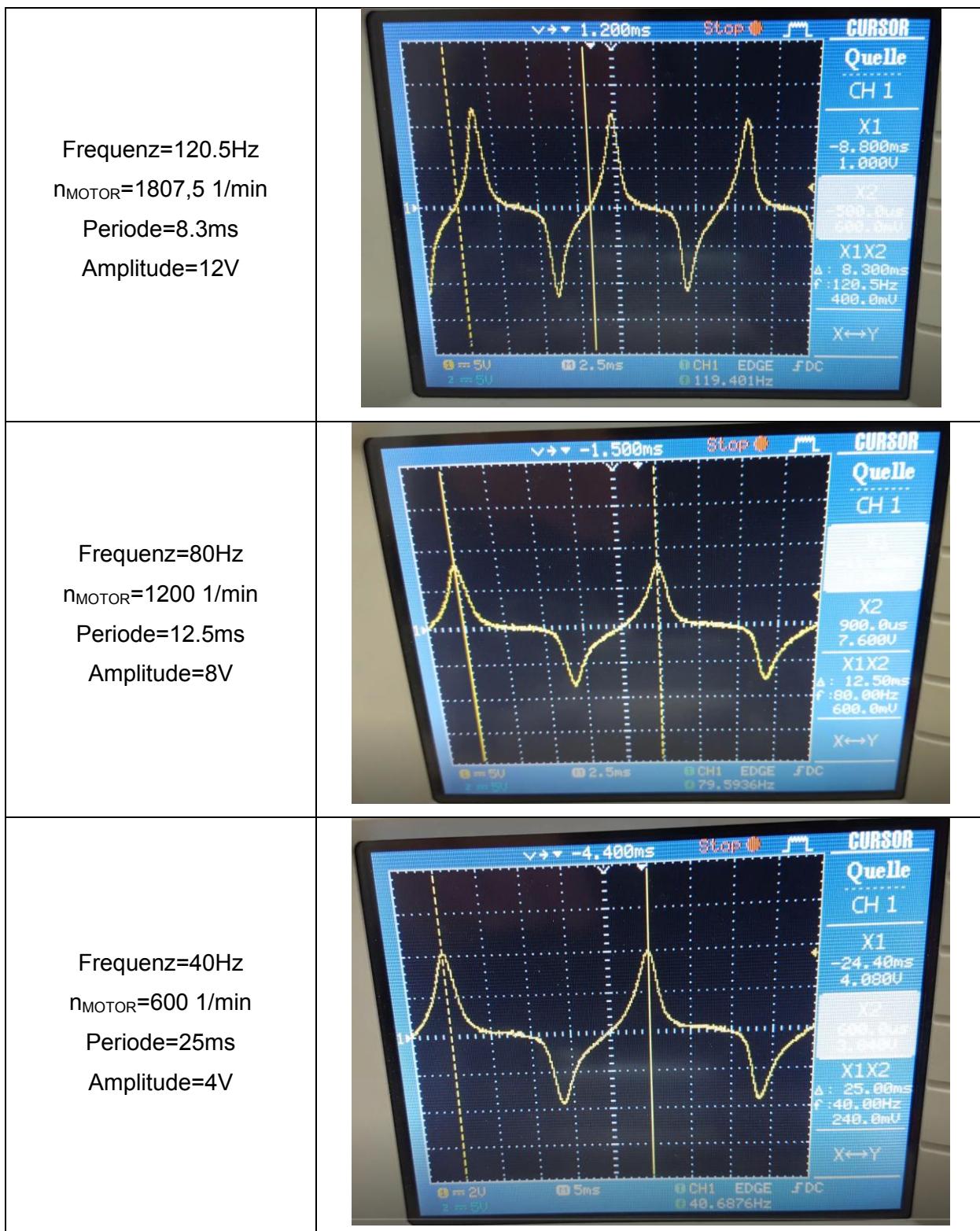


Abbildung 3.1.2 Tabelle der Oszilloskop Bilder mit Signaleigenschaften zu (Versuch 5.1.2.1)



Die Tabelle in Abbildung 3.1.2 zeigt, dass die Frequenz des Signales in Hz ungefähr das 10-Fache der Amplitude in V entspricht. Wie in Abschnitt 2.1 erläutert, erzeugt der Induktive Drehzahlsensor aus dem Rotierenden Drehkranz ein periodisches Signal mit einer Frequenz, die die 4-Fache Frequenz des Motors entspricht (da der Zahnkranz ja 4 Zähne mit gleicher Flussdichte besitzt):

$$f_{IND} = 4f_{MOTOR} \text{ in Hz}$$

$$f_{IND} \approx 10 \cdot \hat{U}_{IND}$$

Die Induzierte Spannung an einer Induktivität wird mit der Formel

$$u(t) = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

definiert, wobei

$u(t)$  den zeitabhängigen Spannungsverlauf,

$N$  die Anzahl der Wicklungen an der Spule und

$\frac{d\phi}{dt}$  die Ableitung des Magnetflusses nach der Zeit

beschreiben. Somit entspricht der Verlauf der Ableitung des Flusses dem Spannungsverlauf.



Sichtbar ist jedoch auch dass die Amplitude des Ausgangssignals vom Induktiven Drehzahlsensor bei sinkender Drehzahl kleiner wird. Der Zusammenhang zwischen der Drehzahl des rotierenden Zahnkranzes und der Amplitude des Ausgangssignales wurde in folgender Abbildung 3.1.3 dargestellt:

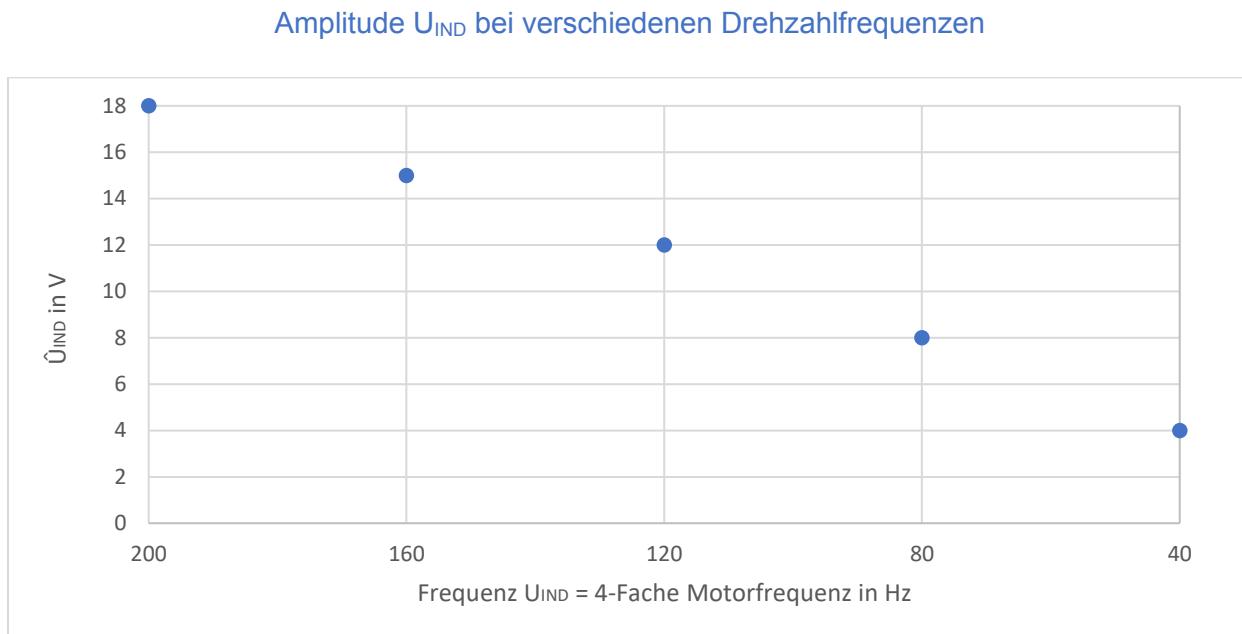


Abbildung 3.1.3 Amplituden- und Drehzahlverlauf des Aufbaus

Die obige Abbildung 3.1.3 zeigt dass der Spannungseffektivwert mit der Drehzahl proportional verbunden ist und mit der Ableitung des Magnetflusses steigt. Da bei einem Induktiven Drehzahlsensor jedoch nicht direkt die Induzierte Spannung gemessen wird, sondern ein daraus resultierendes Signal, kann es dazu kommen, dass andere Effekte auftreten. Dieses Verhalten ist aus zwei Hauptgründen für den Einsatz im Automobilbereich problematisch:

- 1) Durch die sich verändernde Effektivspannung, ist die Weiterverarbeitung des Signals erschwert da die dazu eingesetzten Bauteile (z.B. Verstärkerschaltungen) sich der Effektivspannung  $\hat{U}_{IND}$  anpassen müssen.
- 2) Der Sensor kann nur bestimmte Drehzahlbereiche effektiv umfassen, da er unter einer bestimmten Drehzahlgrenze ein Ausgangssignal liefert was eine zu niedrige Amplitude besitzt, die nicht mehr verarbeitet werden kann. Wegen dieser Eigenschaft werden im Automobilbereich Messreihen eingesetzt, die aus dem Analogen Ausgangssignal  $U_{IND}$  ein Digitales Signal erzeugen was von einem Steuergerät gut interpretiert werden kann.



### 3.2 Bestimmung des Magnetischen Flusses nach der Zeit

Die Gleichung

$$u(t) = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

kann nach dem Magnetfluss umgeformt und integriert werden. Dies liefert die Gleichung:

$$\phi(t) = \frac{1}{2 \cdot N} \cdot u^2(t)$$

*Abbildung 3.2.1 Gleichung zur Gleichung zur Bestimmung des Magnetflusses aus Spannung*

Somit besteht zwischen dem Magnetfluss und der Induzierten Spannung ein quadratisches Verhältnis. Bei einem, sich rotierenden, Zahnkranz mit gleichmäßig verteilten Zähnen, sollte idealerweise ein weitgehend sinusförmiges Signal resultieren. Die, in den Oszilloskop Bildern (siehe Abbildung 3.1.2) sichtbaren, Abweichungen sind ohne weitere Analyse nicht zu erklären.

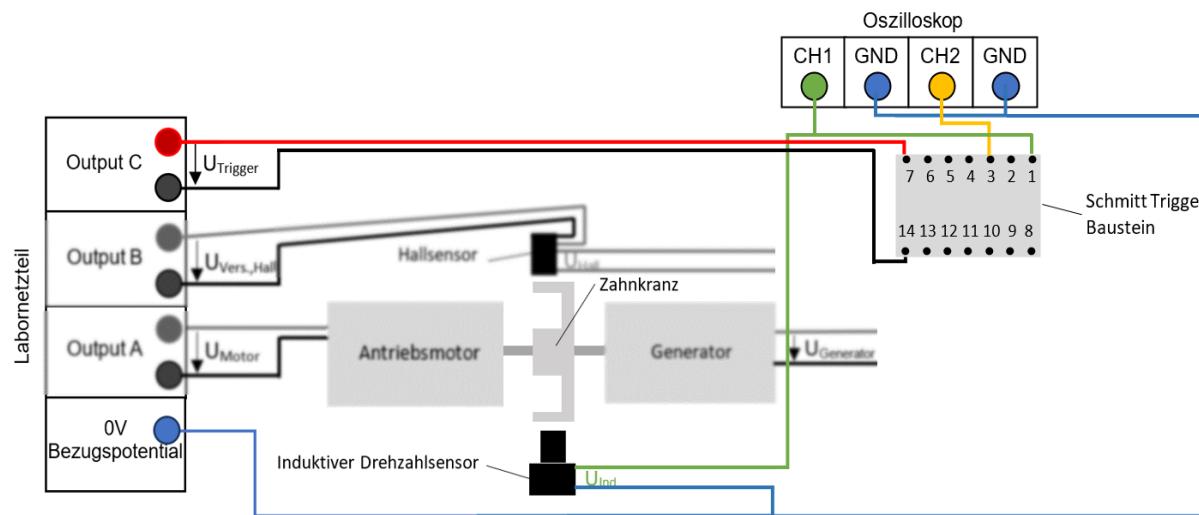
Eine mögliche Erklärung zu dem ungleichmäßigen Signalverlaufen aus Abbildung 3.1.2 könnte eine schlechte Platzierung der Magneten sein, sodass diese nicht vollständig mit dem Gehäuse verbunden sind.



### 3.3 Schmitt-Trigger zur Verarbeitung des Ausgangssignals des Induktiven Drehzahlsensors

In diesem Teilversuch wurde das Ausgangssignal des Induktiven Drehzahlsensors an einem Schmitt Trigger angeschlossen, um dieses Signal zu digitalisieren. Das Ausgangssignal des Schmitt Triggers wurde an dem Oszilloskop angeschlossen und ausgewertet.

Das Ausgangssignal des induktiven Drehzahlsensors  $U_{IND}$ , siehe Abbildung 3.1.2, wurde an dem Schmitt Trigger Baustein MC34151 mithilfe der in Abbildung 2.1.3 erwähnten Steckbrettschaltung, angeschlossen.



CH1 = Analoges Ausgangssignal vom Induktiven Drehzahlsensor

CH2 = von Trigger Baustein Analogisiertes Signal

Abbildung 3.3.1 Schematische Darstellung der Elektronik für diesen Versuchsaufbau

Die obige Abbildung 3.3.1 zeigt den Versuchsaufbau zu dem Versuch 3.3. Sichtbar ist, dass der Schmitt Trigger Baustein insgesamt 14 PINs besitzt. An dem 1. PIN wird das Signal von dem induktiven Drehzahlsensor angeschlossen. An PIN 7 und 14 wird die Spannungsversorgung angeschlossen. Der Ausgang des Schmitt Triggers befindet sich an PIN 3, und wird direkt an dem Channel 2 des Oszilloskops angeschlossen. Am Channel 1 des Oszilloskops wird das Analoge Ausgangssignal des Analogen Drehzahlsensors angeschlossen.

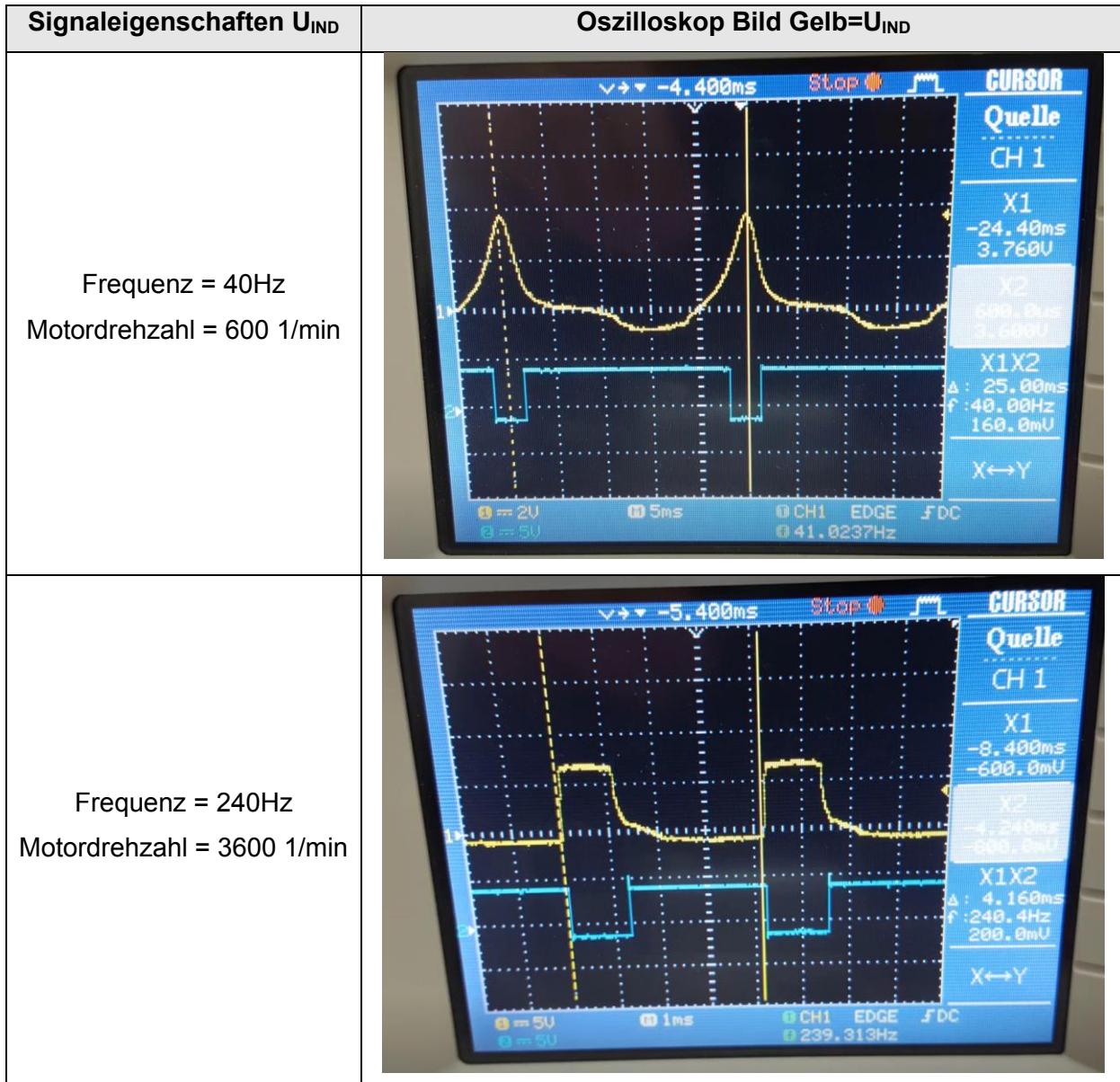


Abbildung 3.3.2 Oszilloskopbilder  $U_{IND}$  (Gelb) mit angeschlossenem Schmitt-Trigger (Blau)

Die obige Abbildung 3.3.2 zeigt die aufgenommenen Oszilloskop Bilder mit dem angeschlossenen Schmitt-Trigger zur Digitalisierung des Analogen Spannungssignals. Sichtbar ist, dass der Schmitt-Trigger ein Rechtecksignal mit derselben Frequenz liefert wie das ursprüngliche Analoge Signal  $U_{IND}$ . Die Periode des Ausgangssignals bleibt gleich, obwohl sich das Verhältnis der Hoch- und Tiefflanken proportional zur Amplitude ändert, da der Trigger-level gleichbleibt. Wie bereits in dem Abschnitt 3.2 erläutert, sinkt die Amplitude des Analogen Signals

$U_{IND}$  bei sinkender Frequenz. Somit kommt es ab einer bestimmten Frequenz zu einer Amplitude  $\hat{U}_{IND}$  ab der der Trigger-Level des Schmitt-Triggers nicht mehr erreicht wird, sodass dieser keine Flanken wechselt. Hierzu wurde die Drehzahl des Aufbaus (siehe Abbildung 2.1.2) langsam runtergefahren, bis eine Drehzahl erreicht wurde bei der der Schmitt-Trigger nicht mehr triggerte.

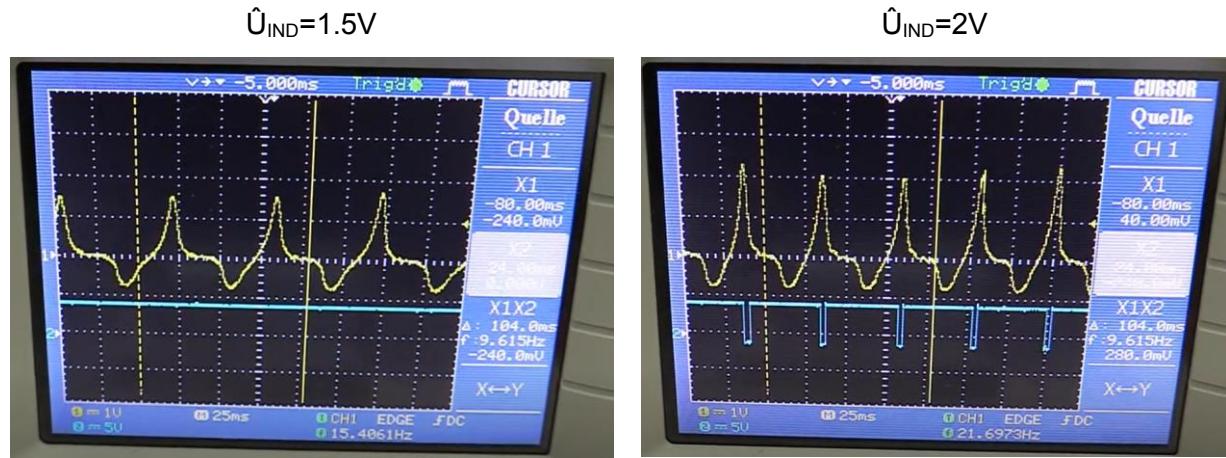


Abbildung 3.3.3 Oszilloskopbilder  $U_{IND}$  (Gelb) mit angeschlossenem Schmitt-Trigger (Blau)

Sichtbar ist, dass der Schmitt-Trigger erst ab ca. 2V Triggert, sodass das Analoge Signal  $U_{IND}$  diesen Spitzenvwert  $\hat{U}_{IND}$  nicht unterschreiten darf. Aus dem Versuchsteil 3.2 ist bereits bekannt, dass die Drehzahlfrequenz des Zahnkranzes ungefähr das 10-Fache der Spannung repräsentiert, sodass die Grenzfrequenz bei der der Trigger nicht mehr ausgelöst wird, zwischen 15 und 20Hz liegt. Das entspricht eine Motordrehzahl von ungefähr 5Hz oder 300 U/min. Diese untere Grenze könnte man durch Verringerung des Trigger-Levels oder durch Verstärkung des Analogen Signals dem Einsatzort anpassen.

### 3.4 Erprobung des Hallsensors

In diesem Versuchsteil ging es darum den Hallsensor zu erproben. Der Aufbau ist in Abbildung 3.4.1 schematisch dargestellt. Das Oszilloskop wurde direkt an dem Ausgangssignal des Hallsensors angeschlossen, um das unverarbeitete Signal zu untersuchen. Zudem wurde der Hallsensor mit einer Versorgungsspannung von dem Stecker C des Labornetzteils mit einer Versorgungsspannung versorgt.

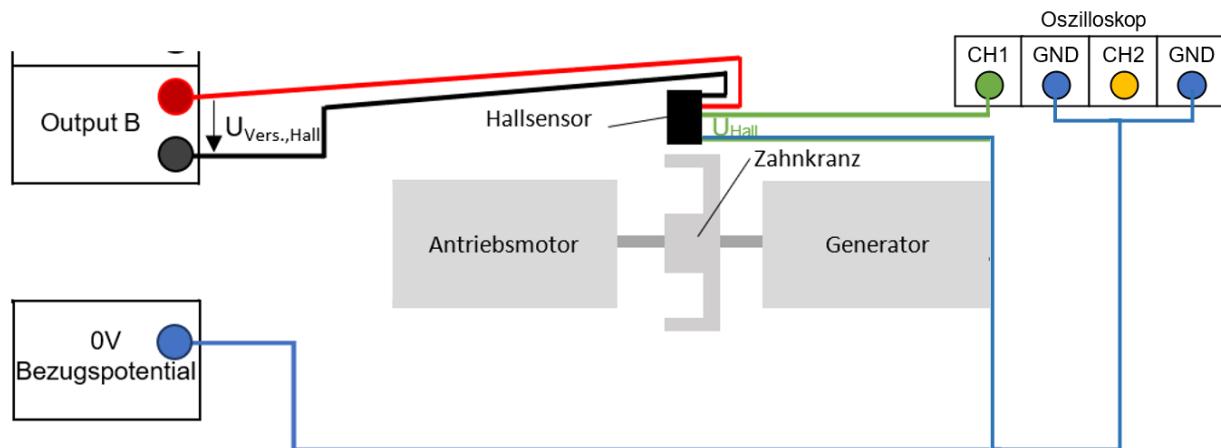
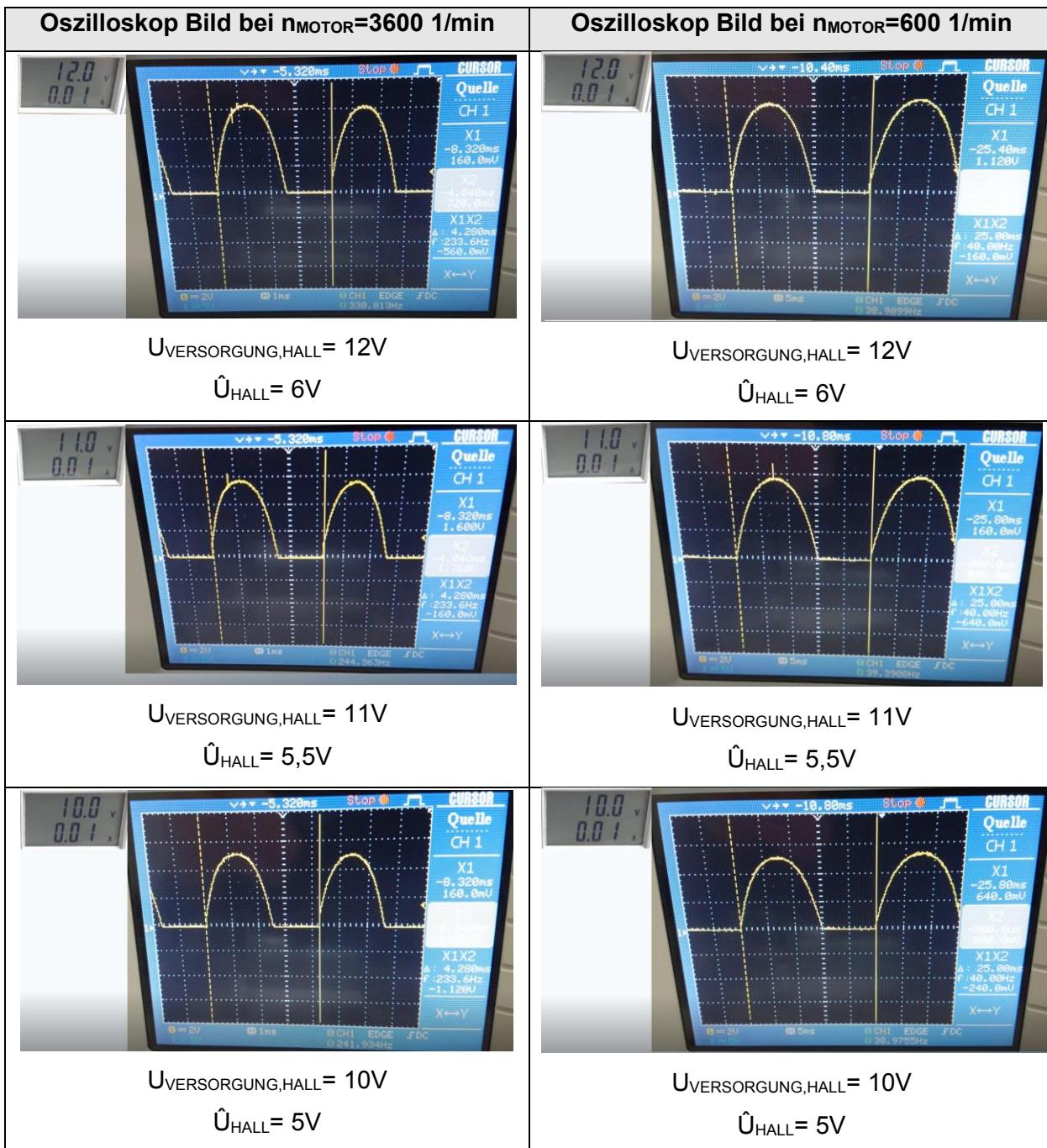


Abbildung 3.4.1 Schematische Darstellung der für diesen Versuchsaufbau benötigten Elektronik

Es wurden zwei verschiedene Drehzahlstufen über der Versorgungsspannung des Elektromotors eingestellt, um das Verhalten des Hallsensors unter verschiedenen Drehzahlen zu bestimmen. Die von dem Speicheroszilloskop erfassten Signalausschnitte, aus denen man die Signaleigenschaften rauslesen konnte, wurden abfotografiert und in der Tabelle (Abbildung 3.4.2) eingefügt.

Bei den zwei Drehzahlstufen wurden verschiedene Hallsensor-Versorgungsspannungen zwischen 12..3.5V eingestellt, während die Ausgangsspannung von dem Oszilloskop erfasst wurde.



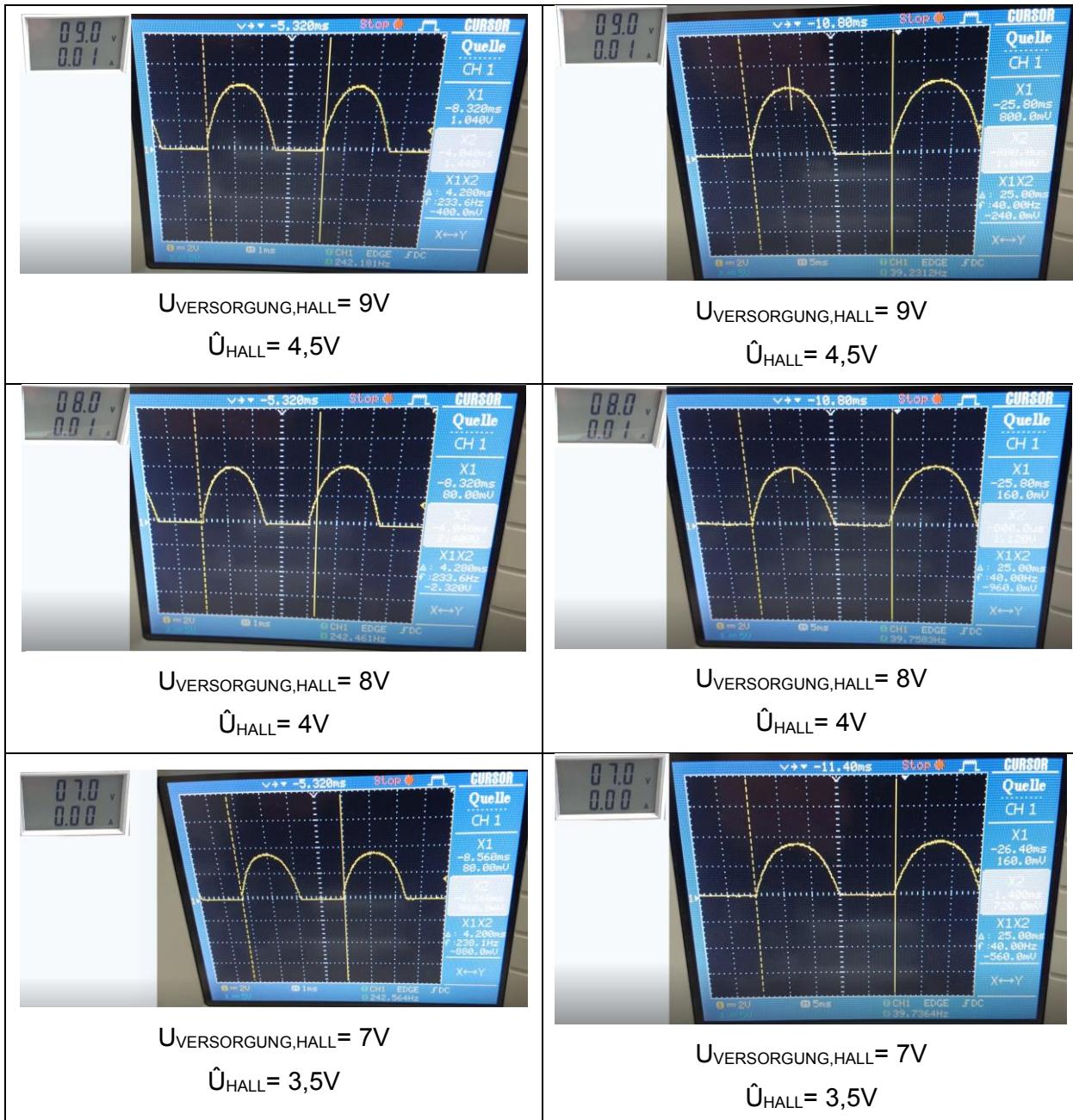


Abbildung 3.4.2 Tabelle der Oszilloskop Bilder mit Signaleigenschaften

Sichtbar ist, dass die Amplitude des Spannungssignals bei verschiedenen Drehzahlen konstant bleibt. Dieses Verhalten macht den Hallsensor attraktiver als der Induktive Sensor. Die Ausgangsspannung des Hallsensors ist nur von der Versorgungsspannung abhängig, und kann somit für verschiedene Trigger-Level angepasst werden. Diese Verhalten sind auf dem grundsätzlichen Funktionsprinzip des Hallsensors (siehe Abschnitt 1.1) zurückzuführen.



Diagramm Versorgungsspannung  $U_{VERSORGUNG,HALL}$  und Sensorausgangsspannung  $U_{HALL}$

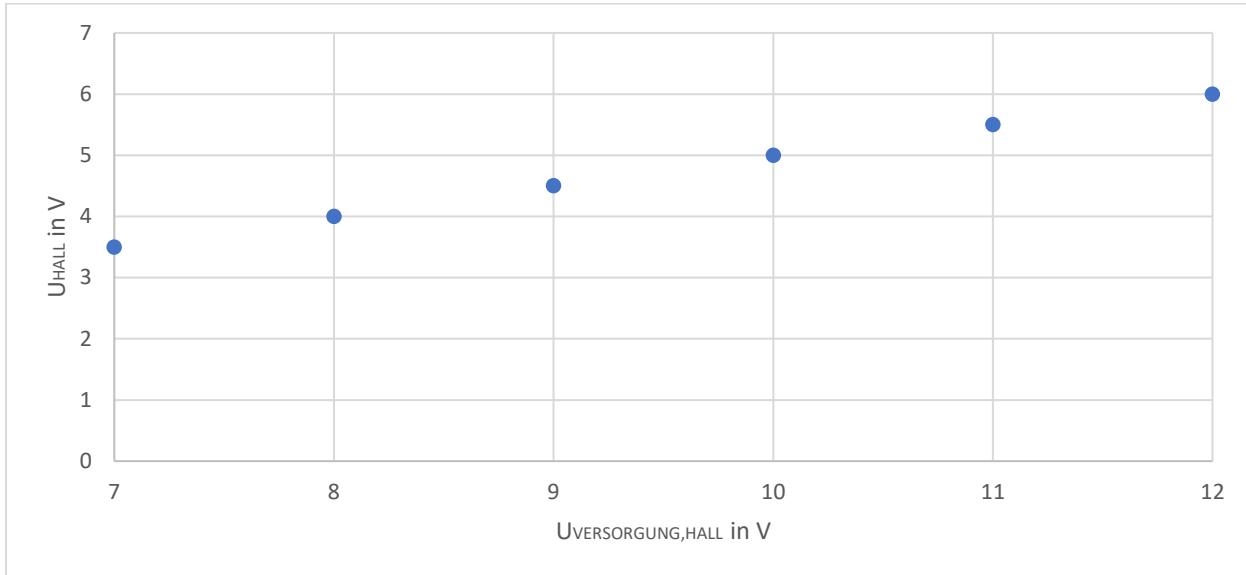


Abbildung 3.4.3 Diagramm der Versorgungsspannung  $U_{VERSORGUNG,HALL}$  zu Sensorausgangsspannung  $U_{HALL}$

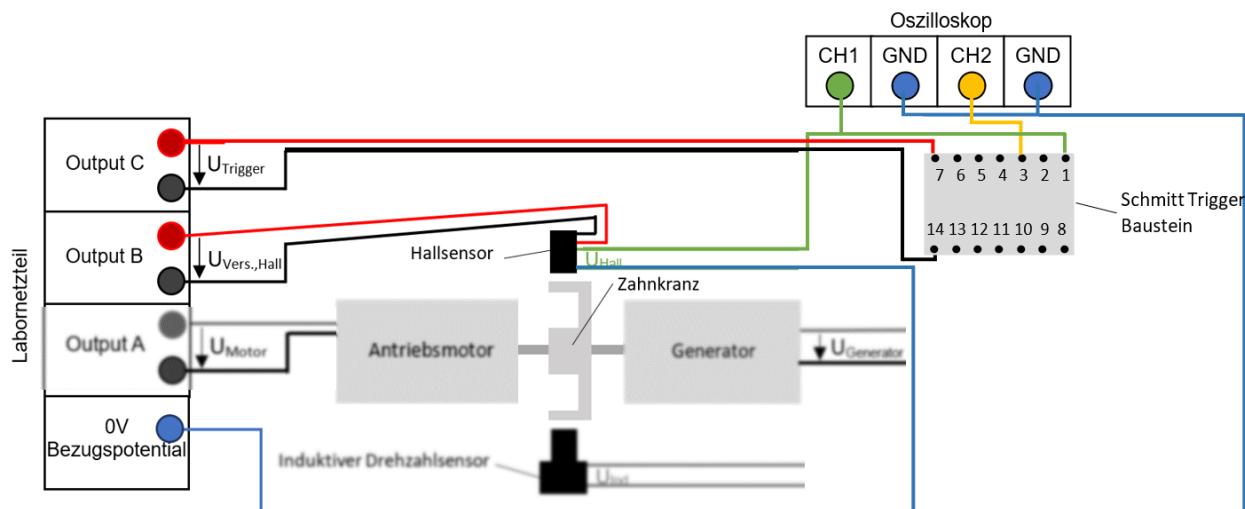
Das Diagramm stellt den Verlauf der Sensorausgangsspannung  $U_{HALL}$  bei verschiedenen Versorgungsspannungen dar. Sichtbar ist, dass das Verhältnis  $U_{VERSORGUNG,HALL}$  zu  $U_{HALL}$  proportional ist, und dass, die Ausgangsspannung ungefähr die Hälfte der Versorgungsspannung beträgt:

$$U_{HALL} = \frac{1}{2} U_{VERSORGUNG,HALL}$$

Somit eignet sich der Hallsensor für Einsatzbereiche, wo ein großer Drehzahlbereich mit einer einfachen Messreihe ausgewertet werden soll.

### 3.5 Schmitt-Trigger zur Verarbeitung des Ausgangssignals des Hall-Drehzahlsensors

In diesem Teilversuch wurde, der in Abbildung 3.5.1 gezeigte Aufbau unter Verwendung des Hallsensors verwendet.



CH1 = Analoges Ausgangssignal vom Induktiven Drehzahlsensor

CH2 = von Trigger Baustein Analogisiertes Signal

*Abbildung 3.5.1 Schematische Darstellung der Elektronik für diesen Versuchsaufbau*

Die obige Abbildung 3.5.1 zeigt den Versuchsaufbau zu diesem Versuch. Sichtbar ist, dass der Schmitt Trigger Baustein insgesamt 14 PINs besitzt. An dem 1. PIN wird das Signal von dem induktiven Drehzahlsensor angeschlossen. An PIN 7 und 14 wird die Spannungsversorgung angeschlossen. Der Ausgang des Schmitt Triggers befindet sich an PIN 3, und wird direkt an dem Channel 2 des Oszilloskops angeschlossen. Am Channel 1 des Oszilloskops wird das Analoge Ausgangssignal des Analogen Drehzahlsensors angeschlossen.



Abbildung 3.5.2 Analoges (Gelb) und Digitales (Blau) Signal bei 200Hz (Links) und 20Hz (Rechts)

Das Oszilloskop Bild aus Abbildung 3.5.2 verdeutlicht das Verhalten des Hallsensors. Ersichtlich ist, dass der Hallsensor direkt an dem Schmitt-Trigger angeschlossen werden kann, um effektiv ein digitales Drehzahlsignal zu erzeugen. Der Trigger-Level wird auch bei sehr geringen Drehzahlen erreicht.

### 3.6 Berechnung der Drehzahl aus Generatorenspannung

Zusätzlich zu den oben genannten Methoden zur Bestimmung der Drehzahl mithilfe eines Sensors, kann die Drehzahl auch aus der Generatorenspannung bestimmt werden, da diese entsprechend auch Drehzahlabhängig ist.

Hierzu wird die Spannungs- Drehzahlkennlinie des als Generator betriebenen Motors betrachtet, aus der die Drehzahl bestimmt werden kann. Diese Kennlinie wurde mithilfe des Hallsensors und einem sehr präzisen Spannungsmessgerät in der Tabelle in Abbildung 3.6.1 protokolliert.

$n_{MOTOR}$ in 1/min	$U_G$ in V (bei $R_L = 100 \text{ k}\Omega$ )	$U_G$ in V (bei $R_L = 100 \Omega$ )
3600	9,348V	8,084V
3000	7,943V	6,478V
2400	6,296V	5,028V
1800	4,730V	3,443V
1200	3,045V	1,853V
600	1,517V	0,68V

Abbildung 3.6.1 Spannungs- und Frequenzwerte Generator



Aus den Werten, die in der Tabelle in Abbildung 3.6.1 protokolliert wurden, wurde ein Diagramm erzeugt, welches die Drehzahl- Spannungskennlinie des Generators bei zwei verschiedenen Lastwiderständen darstellt.

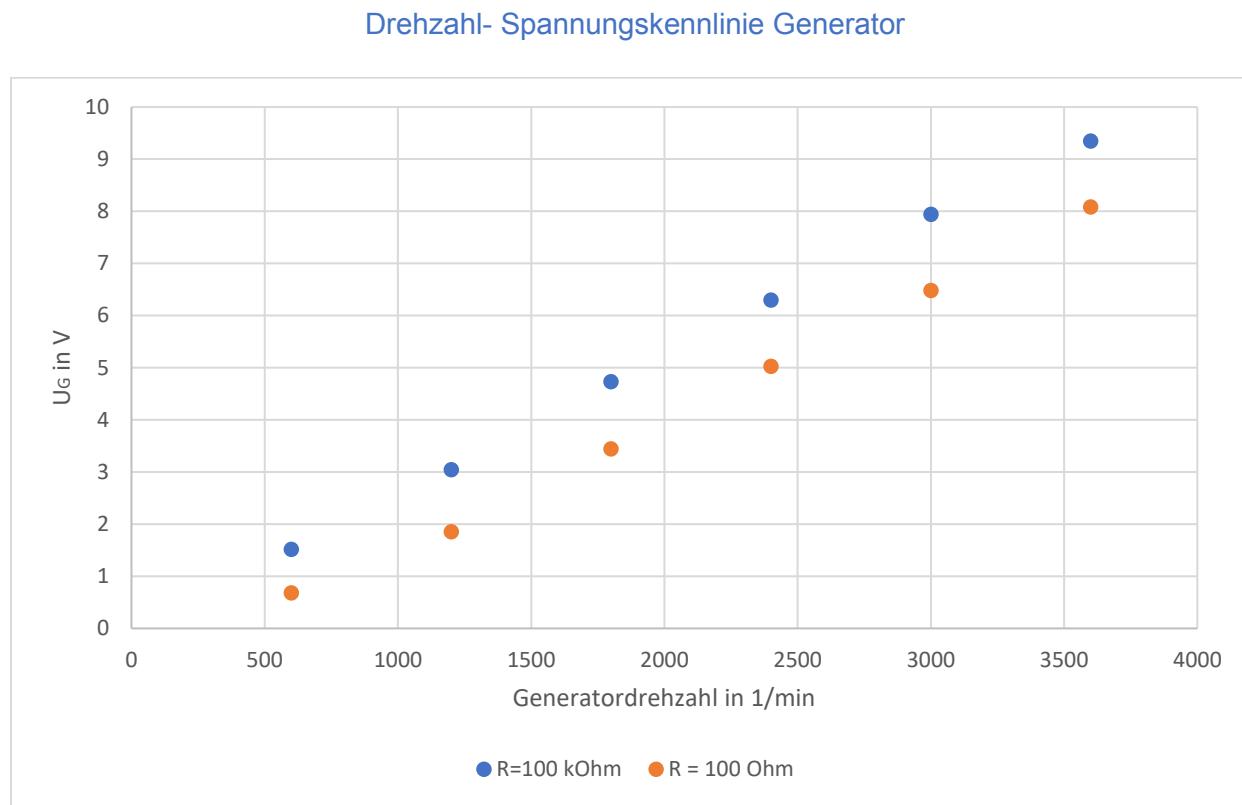


Abbildung 3.6.2 Drehzahlkennlinie Generator

Die Kennlinie in Abbildung 3.6.2 stellt den Konstanten Verlauf zwischen der Generatordrehzahl und der Generatorenspannung dar. Aus dieser Kennlinie kann also auch die Drehzahl des Aufbaus bestimmt werden. Hierzu kann ein beliebiger Lastwiderstand gewählt werden, da es keine große Auswirkung auf die Kennlinie hat. Die Steigung der Kennlinie mit dem Widerstand  $R_L=100\text{kOhm}$  ist etwas steiler als die Kennlinie mit 100 Ohm, und diese Spannung ist auch etwas größer als mit dem kleineren Widerstand. Diese Faktoren müssen daher für den Einsatz eines Elektromotors als Drehzahlsensor beachtet werden. Insgesamt ist es jedoch in den meisten Fällen sinnvoller die o.g. Sensoren zu verwenden, da diese einfacher und kompakter aufgebaut sind als der Elektromotor.

## 4 Vergleich der Drehzahlmessarten

Die in diesem Laborversuch verwendeten Drehzahlmessapparaturen besitzen jeweils Vor- und Nachteile, auf denen im Folgenden eingegangen wird, können jedoch alle für die Drehzahlmessung eingesetzt werden.

### 4.1 Induktiver Drehzahlsensor

Die Hauptvorteile des Induktiven Drehzahlsensors sind auf seine einfache, kostengünstige Bauweise zurückzuführen. Dadurch dass er, als Sensor, nur zwei elektrischen Anschlüsse benötigt, ist er aus elektronischer Sicht recht einfach einsetzbar.

Der größte Nachteil des Induktiven Drehzahlsensors ist, dass dessen Ausgangsspannung drehzahlabhängig ist, sodass der Sensor eine eher aufwendigere Messreihe benötigt. Die Ausgangsspannung des Sensors ist auch nicht anpassbar, wie es bei dem Hallsensor ist.

### 4.2 Hallsensor

Der Hauptvorteil des Hallsensors ist, dass er eine hohe Präzision und Anpassbarkeit aufweist. Die Ausgangsspannung des Hallsensors kann direkt über dessen Versorgungsspannung eingestellt werden, und bleibt bei verschiedenen Drehzahlen konstant. Das hat den Vorteil, dass der Hallsensor in vielen Bereichen, mit wenig Anpassung eingesetzt werden kann.

Der Nachteil des Hallsensors ist, dass er mehrere Anschlüsse benötigt, und eine etwas kompliziertere Bauform besitzt.

### 4.3 Generator als Drehzahlmesser

Der Generator, der in diesem Laborversuch verwendet wurde, kann auch für die Drehzahlmessung eingesetzt werden. Der Generator baut wie der Induktive Sensor auf dem Prinzip der Induktion und der Lorentzkraft auf, sodass diese beiden Sensoren teils ähnliches Verhalten besitzen. Da ein Elektromotor jedoch ziemlich viele Teile besitzt, und einen mechanischen Widerstand mit sich bringt, kann er nur bedingt als Drehzahlmessapparatur eingesetzt werden.

Labor Sensorik SS22  
Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer 70474565



## Abbildungsverzeichnis

[1] Prof. Dr. Sabbert, D., & Dipl.-Ing. Quednau, R. (2021, März 15). Versuchsanleitung zum 3. Laborversuch Sensorik und Aktorik. Wolfsburg; Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften Fakultät Fahrzeugtechnik.

Zudem stammen alle Messdaten aus der vorgegebenen Online-Aufzeichnung die von Prof. Dr. Sabbert präsentiert und zur Verfügung gestellt wurde.

Labor Sensorik SS22  
Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer 70474565



# Labor Sensorik Versuch 2A

Vorgelegt von:

Martin Determann

Matrikelnummer: 70474565



## Inhaltsverzeichnis

2A.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau.....	4
2A.2 Versuchsaufbau.....	6
2A.3 Versuchsdurchführung.....	8
2A.4 Auswertung der Messergebnisse.....	9
2A.4.1 Auswertung des Spannungsverlaufes .....	9
2A.4.2 Genauere Auswertung der gemessenen Werten und Verhältnissen.....	10
2A.5 Realisierung der Füllstandsanzeige .....	13
2A.5.1 Messbrücke zur Realisierung der Füllstandsanzeige.....	13
2A.5.2 Instrumentenverstärker zur Weiterverarbeitung des Spannungssignals .....	15
2A.5.3 Versuchsdurchführung Füllstandsanzeige .....	16
2B.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau.....	22
2B.2 Widerstandsmessung über verschiedene Temperaturen.....	24
2B.3 Einsatz der Widerstände in Messreihe .....	29
2B.4 Aufbau Komparatorschaltung mit Leuchtdiode .....	31
Abbildungsverzeichnis .....	32



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2A1.1 Bild aus Laborskript [1] Erläuterung Versuchsaufbau .....	4
Abbildung 2A.1.2 Darstellung Schiebepotentiometer Schematisch und als Schaltbild.....	5
Abbildung 2A.2.1 zeigt, wie in 5.1.1 a), c) gefordert, sämtliche Anschlüsse am Steckbrett.....	6
Abbildung 2A.2.2 Darstellung mit RL als elektrische Schaltbilder (linkes Bild aus Laborskript [1]) .....	7
Abbildung 2A.3.1 Messwerttabelle zum ersten Teilversuch.....	8
Abbildung 2A.4.1 Diagramm aus den Messwerten des ersten Teilversuches.....	9
Abbildung 2A.4.2 Tabelle der Proportionalitätswerte Potentiometerschaltung .....	10
Abbildung 2A.4.3 Kennlinie Um/Uref zum Verfahrensweg $\Delta x$ .....	11
Abbildung 2A.4.4 Kennlinie Potentiometerwiderstand zum Verfahrensweg $\Delta x$ .....	12
Abbildung 2A.5.1 Schematische Darstellung der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1] .....	13
Abbildung 2A.5.2 Schaltbilder der Messbrücke der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1].....	14
Abbildung 2A.5.3 Schaltbild und Steckbrettzeichnung Instrumentenverstärker aus Laborskript [1].....	15
Abbildung 2A.5.4 Gesamtschaltbild der elektronischen Füllstandsanzeige aus Laborskript [1] .	16
Abbildung 2A.5.5 Diagonalspannungswerte zur Abgleichung der Messbrücke .....	17
Abbildung 2A.5.6 Tabelle zu Versuchsteil 2A.5 .....	18
Abbildung 2B.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	22
Abbildung 2B.2.1 Schematische Darstellung des Ersten Teilversuches in Versuch 2B .....	24
Abbildung 2B.2.2 Messwerttabelle Laborversuch .....	25
Abbildung 2B.2.3 Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand.....	26
Abbildung 2B.2.4 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand .....	26
Abbildung 2B.2.6 Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand.....	28
Abbildung 2B.2.7 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand.....	28
Abbildung 2B.3.1 Schematische Darstellung des NTC Sensors im Kühlkörper .....	29
Abbildung 2B.3.2 Aus Laborskript [1] zeigt OPV-schaltung in aus diesem Versuchsaufbau.....	29
Abbildung 2B.3.3 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus .....	30
Abbildung 2B.3.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	31



## 2A.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau

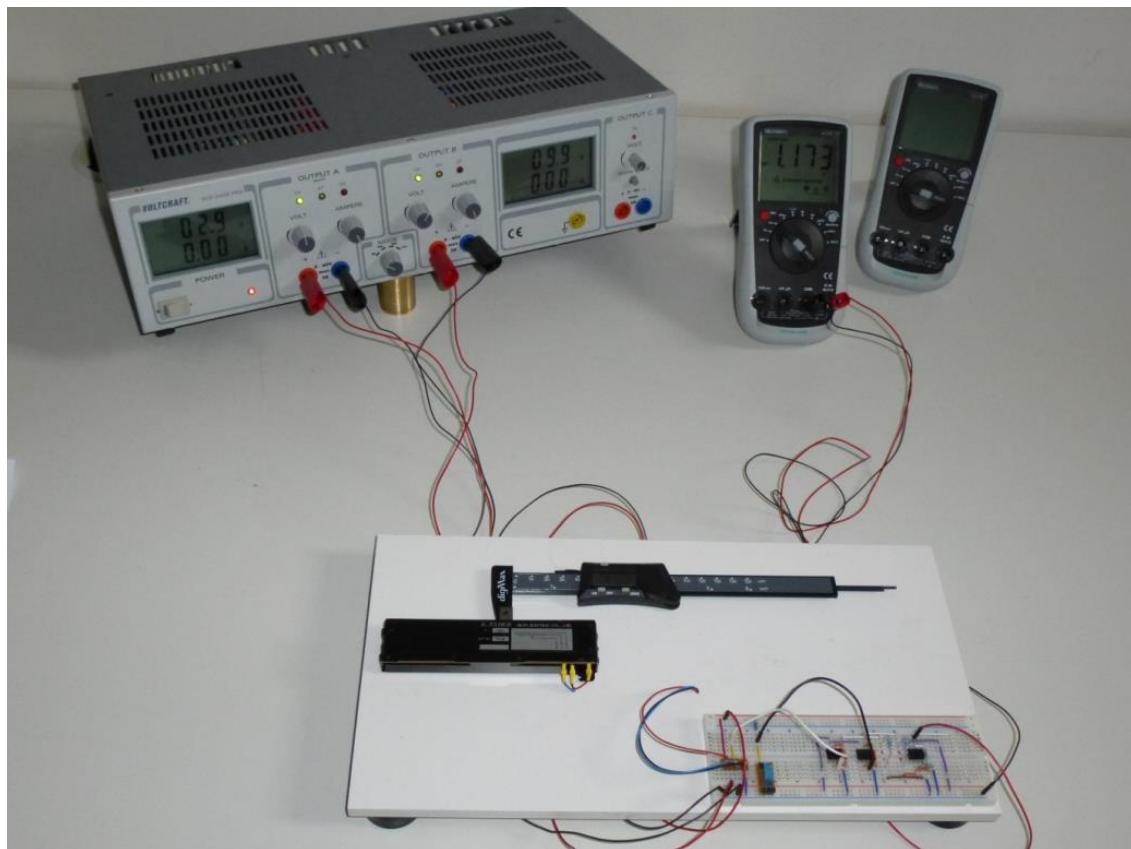


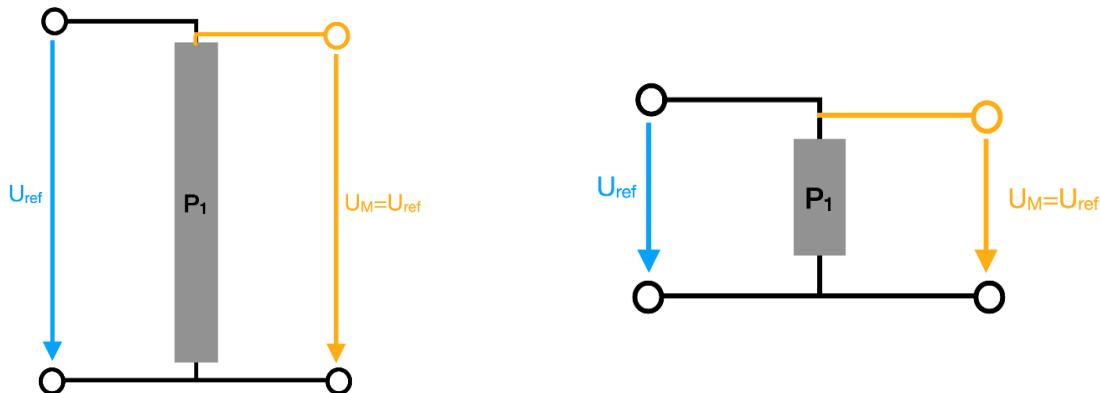
Abbildung 2A1.1 Bild aus Laborskript [1] Erläuterung Versuchsaufbau

In diesem Laborversuch geht es darum eine Wegmessung mithilfe eines Linearpotentiometers (Schiebepotentiometers) zu realisieren. Der Schiebepotentiometer beschreibt einen einstellbaren Widerstand, der, in diesem Labor, über einen Weg (physikalische Distanz eines Schiebereglers) eingestellt werden soll.

Mit diesem Potentiometer soll im Anschluss eine Füllstandsmessung realisiert werden, wie in dem Kfz. Bereich für die Ermittlung des Tankfüllstandes verwendet wird. Hierbei wird die Position des Schiebereglers von dem Tankfüllstand bestimmt.

Der Schiebepotentiometer besteht prinzipiell aus einem Widerstandsstreifen mit einem Schleifkontakt, der mit dem Ausgang des Bauteils verbunden ist. An diesem Widerstandsstreifen  $P_1$  wird eine Spannung angelegt, die von dem Schleifkontakt, über dem Widerstandsstreifen abfällt.

Schleifkontakt (gelb) befindet sich in Ursprünglicher Lage:



Schleifkontakt mit Verfahrensweg =  $\Delta x$  (dunkelblau) = Abstand von Ursprünglicher Lage:

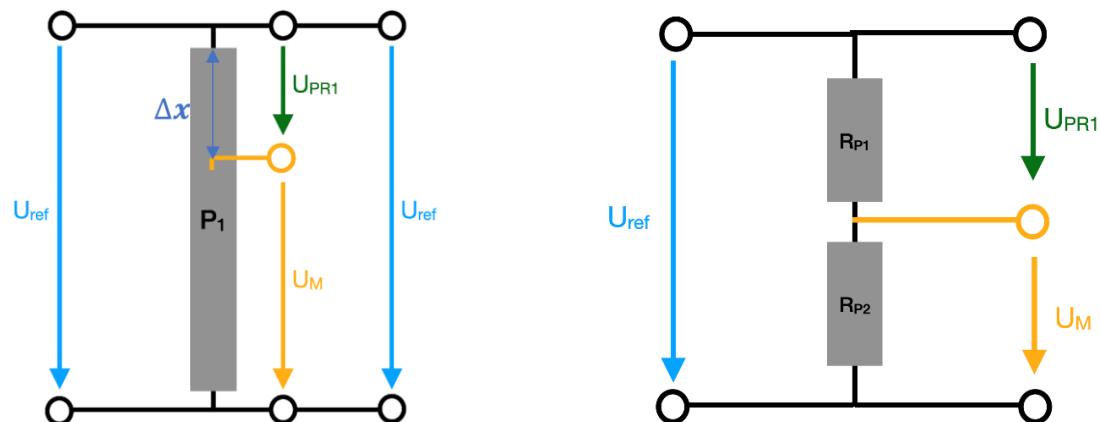


Abbildung 2A.1.2 Darstellung Schiebepotentiometer Schematisch und als Schaltbild

Ändert sich die Position des Schleifkontakte (siehe Abbildung 2A.1.2) so wird der Widerstandsstreifen  $P_1$  in zwei Widerstände unterteilt. Das sorgt dafür, dass der über dem Schleifkontakt gemessene Spannungsabfall  $U_M$  sich mit der Position des Schleifkontakte ändert, und somit Wegabhängig ist. Dieser Weg wird als Verfahrensweg bezeichnet. Dieser Schleifkontakt wird über einem Schieberegler mit dem Gehäuse verbunden, sodass dieser Verfahrensweg mechanisch eingestellt werden kann.

Der Zusammenhang zwischen dem Spannungsverhältnis, dem Widerstandsverhältnis und dem Längenänderungsverhältnis wird mit folgender Gleichung beschrieben:

$$\frac{U_M}{U_{ref}} = \frac{\Delta R}{R} = x_{rel} = \frac{x}{x_{max}}$$



## 2A.2 Versuchsaufbau

Im folgenden Abschnitt wird der Versuchsaufbau erläutert. Mit der in Abbildung 1.1 gezeigten Schaltung wurden drei verschiedene Versuchsteile durchgeführt, um den Potentiometer zu erproben.

In dem ersten Versuchsteil wurde ein recht einfacher Versuchsaufbau verwendet, um die Eigenschaften des in diesem Laborversuch verwendeten Potentiometers zu untersuchen.

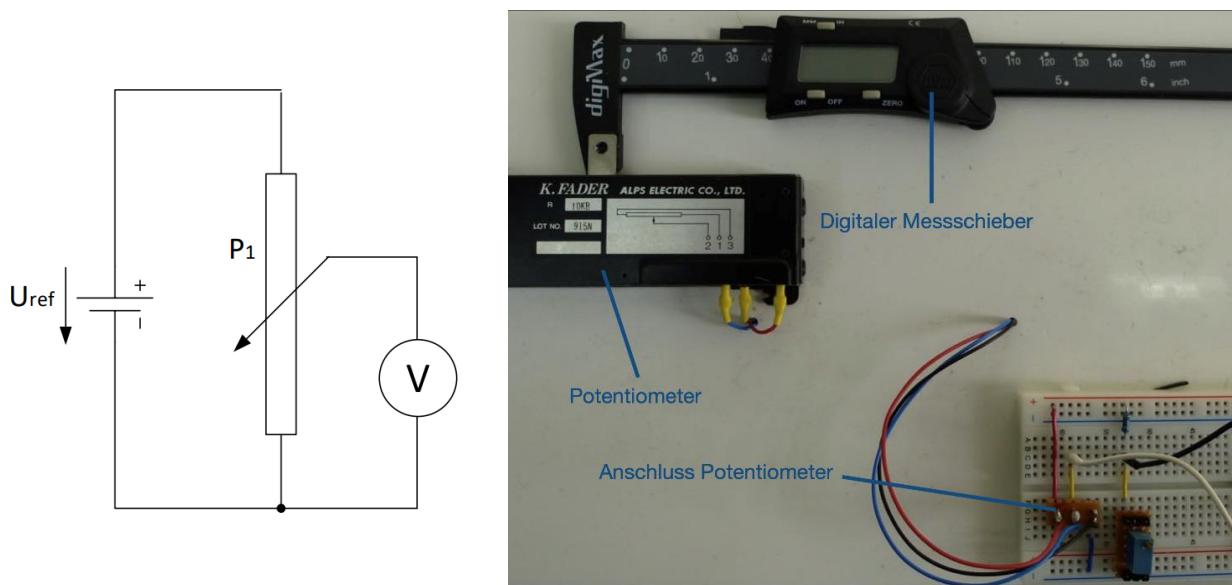


Abbildung 2A.2.1 zeigt, wie in 5.1.1 a), c) gefordert, sämtliche Anschlüsse am Steckbrett

Hierzu wurde eine Spannung  $U_{\text{ref}} = 3V$  (**rotes Kabel in Abbildung 2A.2.1**) sowie Masse (**schwarzes Kabel in Abbildung 1**) an dem Anschluss des Potentiometers angelegt, und der Spannungsabfall über dem, vom Schleifkontakt abgegriffenen, Teilwiderstand gemessen (**blaues Kabel in Abbildung 1**). Zudem befindet sich ein Lastwiderstand (**wie in 5.1.1 b gefordert**) zwischen den Messpitzen des Oszilloskops, auf dem im späteren Versuch eingegangen wird.

Die Anschlüsse des Potentiometers für die Versorgungsspannung  $U_{\text{ref}}$ , die Ausgangsspannung  $U_M$  und Masse wurden an einem Steckbrett angeschlossen. Der Potentiometer wurde mithilfe eines Labornetzteiles mit einer Spannung von  $U_{\text{ref}} = 3V$  an dem Anschluss des Potentiometers im Steckbrett angelegt.

Dann wurde die, von dem Schleifkontakt abgegriffene, Ausgangsspannung  $U_M$  über verschiedene Verfahrenswege mit einem Voltmeter gemessen. Der Verfahrensweg wurde in 5mm Schritte eingestellt, bis zum Erreichen der Maximalen Einstellbreite von 100mm. Der Verfahrensweg des in diesem Laborversuch verwendeten Potentiometers wurde mit einem digitalen Messchieber eingestellt, um eine möglichst präzise Einstellung zu erzielen.

Im Anschluss wurden die Messungen mit einem zusätzlichen Lastwiderstand  $R_L$  wiederholt. Der Lastwiderstand  $R_L = 10\text{k}\Omega$  soll ein Eingangswiderstand einer nachfolgenden Messkette simulieren. Von Interesse ist hierbei die Auswirkung auf den Messwerten, die der zusätzliche Lastwiderstand bewirkt.

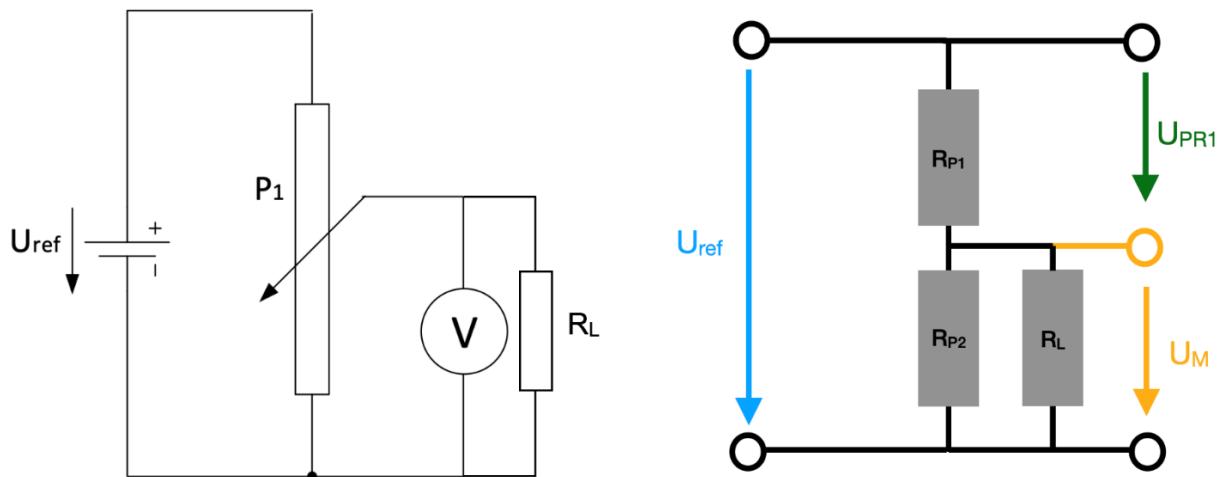


Abbildung 2A.2.2 Darstellung mit  $R_L$  als elektrische Schaltbilder (linkes Bild aus Laborskript [1])

In dieser Konfiguration wird das Verhältnis zwischen der Referenz- und Ausgangsspannung verändert, da der gesamte Spannungsabfall der Parallelschaltung zwischen dem Lastwiderstand und dem Potentiometerwiderstand einen geringeren Gesamtwiderstand besitzt, und somit auch weniger Spannung abfällt.

Die obige Abbildung 3.3 zeigt, wie die Ausgangsspannung  $U_M$  von dem Lastwiderstand verringert wird, da der gesamtwiderstand der Parallelschaltung  $R_{P2}||R_L$  kleiner ist, als wenn kein Lastwiderstand angeschlossen ist. Für das Spannungsverhältnis ergibt sich nun:

$$\Delta x = \frac{U_M}{U_{ref}} = \frac{R_{P2}||R_L}{R_{P1} + R_{P2}||R_L}$$

(Gleichung basiert auf der obigen Abbildung 2A.2.2)



## 2A.3 Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung wurde der Potentiometer von einem Digitalen Messschieber auf bestimmte Längen  $x$  verschoben, und die Ausgangsspannungen  $U_m$  wurden in die untenliegende Tabelle (Abbildung 2A.3.1) eingetragen. Der Versuch wurde im ersten Schritt mit- und im Zweiten Schritt ohne eines Lastwiderstandes durchgeführt.

<b><math>x</math> in mm</b>	<b><math>U_m</math> in V (ohne <math>R_L</math>)</b>	<b><math>U_m</math> in V (mit <math>R_L</math>)</b>
0	0	0
5	0,076	0,072
10	0,233	0,215
15	0,392	0,347
20	0,547	0,471
25	0,706	0,593
30	0,868	0,714
35	1,030	0,832
40	1,183	0,948
45	1,340	1,067
50	1,498	1,189
55	1,655	1,317
60	1,814	1,454
65	1,976	1,600
70	2,131	1,755
75	2,292	1,926
80	2,449	2,111
85	2,607	2,319
90	2,767	2,556
95	2,923	2,825
100	3,013	3,000

Abbildung 2A.3.1 Messwerttabelle zum ersten Teilversuch



## 2A.4 Auswertung der Messergebnisse

### 2A.4.1 Auswertung des Spannungsverlaufes

Aus den protokollierten Daten wurde dann ein Diagramm (siehe Abbildung 2A.4.1) erzeugt, der den Spannungsverlauf des Potentiometerausgangssignals  $U_m$  darstellt.

**Diagramm der Spannungsverläufe Potentiometer Schaltung**

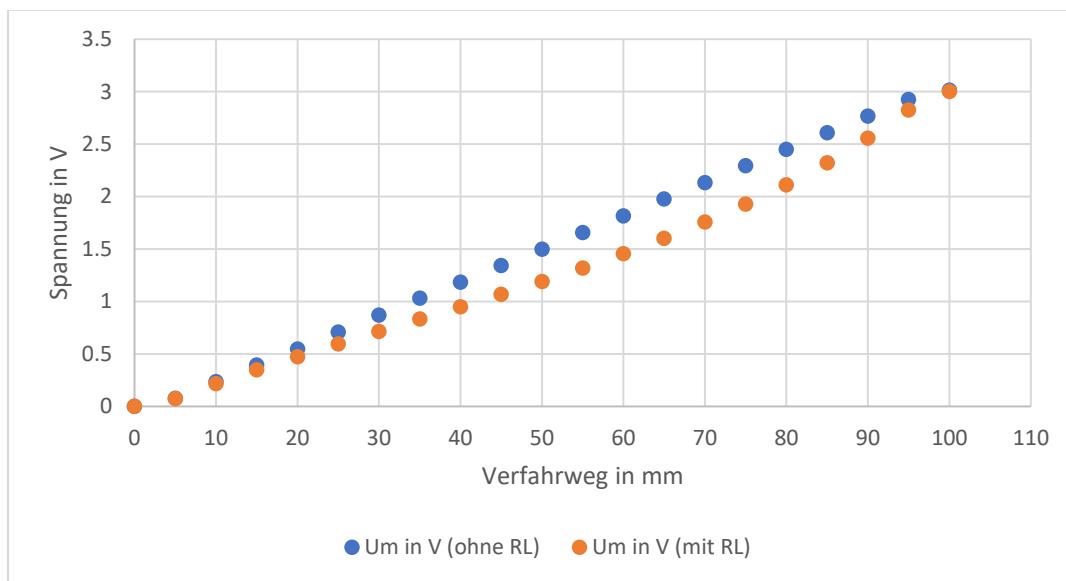


Abbildung 2A.4.1 Diagramm aus den Messwerten des ersten Teilversuches

Sichtbar ist, dass das Verhältnis zwischen Verfahrweg und Spannung nahezu konstant ist. Es sind keine größeren Abweichungen zu sehen und die Verläufe sind weitgehend ähnlich. Die Kennlinie der gemessenen Ausgangsspannung des Potentiometers  $U_m$  ohne Lastwiderstand ist jedoch etwas gerader als die Kennlinie mit dem Lastwiderstand. Trotz der geringen Abweichung sind die Kennlinien weitgehend ähnlich, sodass von einer erfolgreichen Versuchsdurchführung ausgegangen werden kann.

Wie in Abschnitt 2A.1 erklärt, ist der Spannungsabfall mit angeschlossenem Lastwiderstand etwas niedriger als ohne. Aus diesem Grund sollte ein möglichst großer Eingangswiderstand für die Messreihe verwendet werden, damit die Ausgangsspannung möglichst groß und auswertbar ist.

Zusätzlich zu der Spannungskennlinie, wurde noch eine Tabelle (siehe Abbildung 2A.4.2) mit der jeweiligen Proportionalität über verschiedene Verfahrenswege bestimmt.

#### 2A.4.2 Genauere Auswertung der gemessenen Werten und Verhältnissen

Zur genaueren Auswertung der Messwerte wurde vorerst die Untenliegende Tabelle aufgestellt (siehe Abbildung 2A.4.2) wobei:

$\Delta x$  = Verfahrensweg,  $U_M$  = gemessene Ausgangsspannung,  $U_{ref}$  = Referenzspannung = 3V,

$R_L$  = Lastwiderstand = 10 k $\Omega$ ,  $\Delta R_{pot}$  = Änderung des Potentiometerwiderstandes,

$\Delta R_{pot,L}$  = Änderung des Gesamtwiderstandes Potentiometer- und Lastwiderstand

$\frac{U_M}{U_{ref}}$ (ohne $R_L$ )	$\frac{U_M}{U_{ref}}$ (mit $R_L$ )	$\Delta R_{pot}$ in $\Omega$ (ohne $R_L$ )	$\Delta R_{pot,L}$ in $\Omega$ (mit $R_L$ )	$\Delta x$
0,00	0,00	0	0	0,00
0,03	0,02	253	240	0,05
0,08	0,07	777	717	0,10
0,13	0,12	1307	1157	0,15
0,18	0,16	1823	1570	0,20
0,24	0,20	2353	1977	0,25
0,29	0,24	2893	2380	0,30
0,34	0,28	3433	2773	0,35
0,39	0,32	3943	3160	0,40
0,45	0,36	4467	3557	0,45
0,50	0,40	4993	3963	0,50
0,55	0,44	5517	4390	0,55
0,60	0,48	6047	4847	0,60
0,66	0,53	6587	5333	0,65
0,71	0,59	7103	5850	0,70
0,76	0,64	7640	6420	0,75
0,82	0,70	8163	7037	0,80
0,87	0,77	8690	7730	0,85
0,92	0,85	9223	8520	0,90
0,97	0,94	9743	9417	0,95
1,00	1,00	10043	10000	1,00

Abbildung 2A.4.2 Tabelle der Proportionalitätswerte Potentiometerschaltung



Aus der obigen Tabelle in Abbildung 2A.4.2 wurden folgende Diagramme (siehe Abbildung 2A.4.3 und 2A.4.4), zur Visualisierung der Messwerte erzeugt:

Verhältnis  $U_m/U_{ref}$  zum Verfahrensweg  $\Delta x$

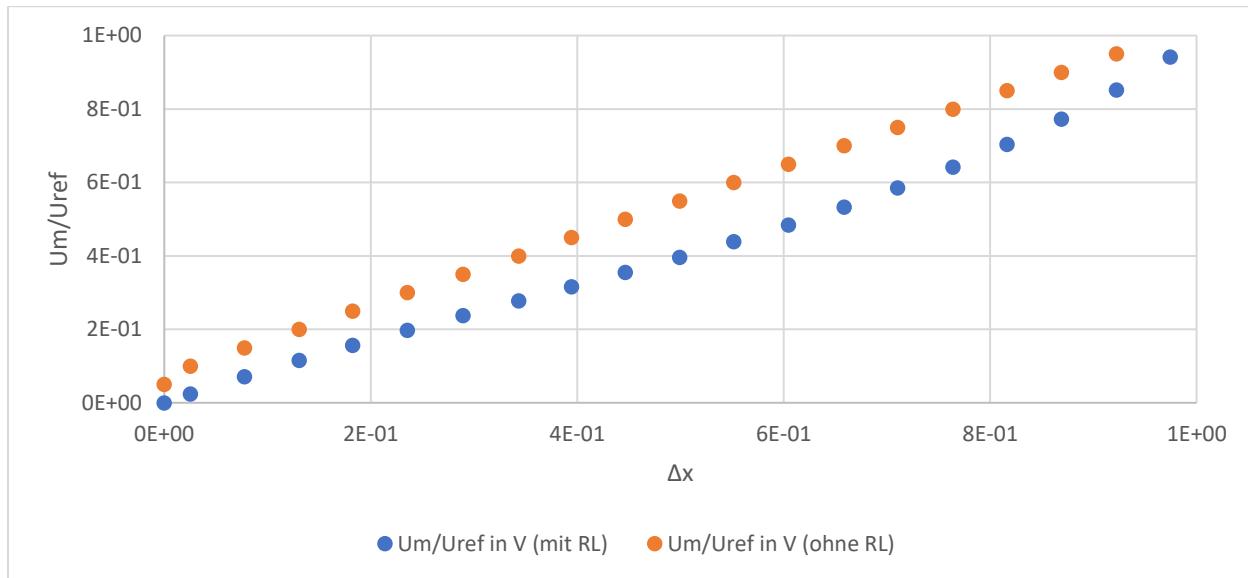


Abbildung 2A.4.3 Kennlinie  $Um/Uref$  zum Verfahrensweg  $\Delta x$

Das Diagramm in Abbildung 2A.4.3 zeigt die Nahezu konstante Kennlinie zwischen dem Spannungsverhältnis  $U_m/U_{ref}$  zu dem Verfahrensweg  $\Delta x$ . Die Kennlinie beschreibt ein konstantes Verhältnis mit einer Steigung = 1. Sichtbar ist jedoch das mit angeschlossenem Lastwiderstand, eine größere Abweichung zur Konstanten Steigung vorhanden ist. Zudem ist die Kennlinie mit angeschlossenem Widerstand etwas nach unten Versetzt. Diese Abweichung ist in der Praxis unerwünscht, da sie das Ausgangssignal verringert, und somit die Genauigkeit verschlechtert. Daher ist es empfehlenswert einen möglichst hohen Lastwiderstand für eine weitere Messreihe zu benutzen.



Verhältnis R in Ohm zum Verfahrensweg  $\Delta x$

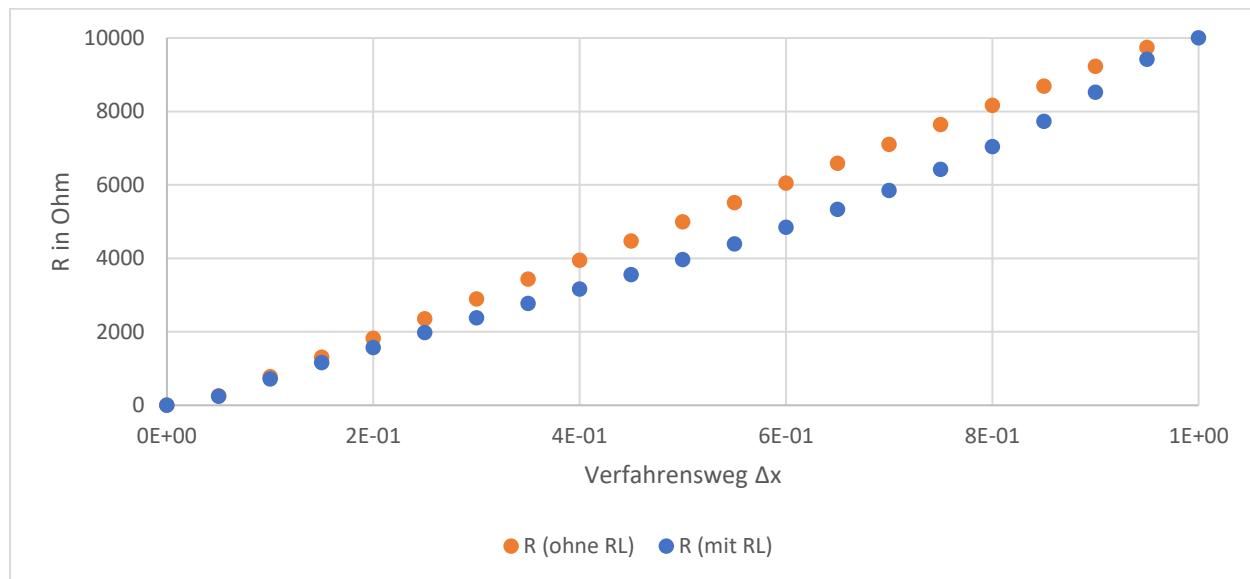


Abbildung 2A.4.4 Kennlinie Potentiometerwiderstand zum Verfahrensweg  $\Delta x$

Das Diagramm in Abbildung 2A.4.4 zeigt ein weitgehend ähnliches Verhalten wie das in Abbildung 2A.4.3, jedoch wird hier der Gesamtwiderstand in Ohm im Verhältnis zu dem Verfahrensweg betrachtet. Logischerweise ähneln sich die Kennlinien im Verlauf.

Neben dem, in Abschnitt 2A.2, bereits erklärten, geringeren Spannungsabfall bei angeschlossenem Lastwiderstand, ist eine zusätzliche Abweichung bei der Messung mit angeschlossenem Lastwiderstand erkennbar. Diese Abweichung ist vermutlich auf Messungenauigkeiten zurückzuführen.



## 2A.5 Realisierung der Füllstandsanzeige

Mithilfe des, in Abschnitt 2A.4 untersuchten Potentiometers, soll eine Füllstandsanzeige realisiert werden. Hierzu wird die, in Abbildung 2A.5.1 gezeigte, Messbrücke verwendet, um aus dem Füllstands-abhängigen Weg eine auswertbare Spannung zu erzeugen. Aus dem Laborversuch sind bereits alle benötigten Daten zu dem Potentiometer bekannt, um diesen einzusetzen.

### 2A.5.1 Messbrücke zur Realisierung der Füllstandsanzeige

Bei einer Füllstandsanzeige soll, laut Laborskript [1], der Schiebepotentiometer in einem Bereich von 10 bis 90mm arbeiten, wobei 10mm einen leeren- und 90mm einen vollen-Füllstand entspricht. Zudem soll die Differenzspannung bei leerem Füllstand 0V betragen, und bei vollem Füllstand  $U_{ref}$  betragen.

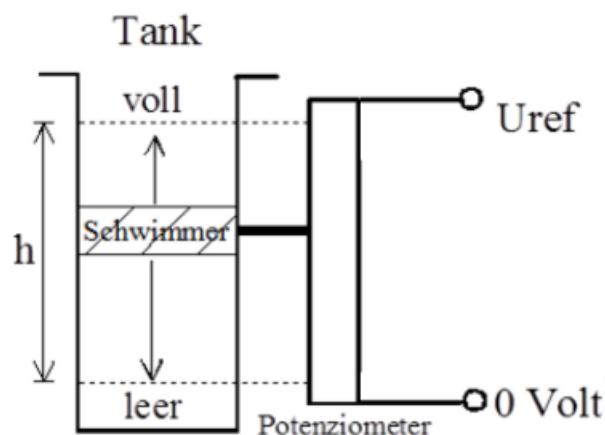


Abbildung 2A.5.1 Schematische Darstellung der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1]

Die obige Abbildung stellt die Schematische Zeichnung der Füllstandsanzeige dar. Ein Schwimmer, der sich im Tank befindet, soll mit einem Schiebepotentiometer verbunden sein, sodass er diesen je nach Füllstand auf einen bestimmten Verfahrensweg bringt. Das Ausgangssignal soll so weiterverarbeitet werden, dass ein Spannungssignal resultiert, dessen Wert in Volt den Tankfüllstand in Liter entsprechen soll.

Für eine weitere Verarbeitung des resultierenden Spannungssignals, wird das Potentiometer an einer Widerstandsmessbrückenschaltung angeschlossen, woraus eine Differenzspannung resultieren soll, die auf vereinfachter Art und Weise verwendet werden kann, um eine Füllstandsanzeige zu realisieren.

Die untenliegende Abbildung 2A.5.2 stellt die Schematische Zeichnung sowie das Elektrische Schaltbild der Widerstandsmessbrücke dar:

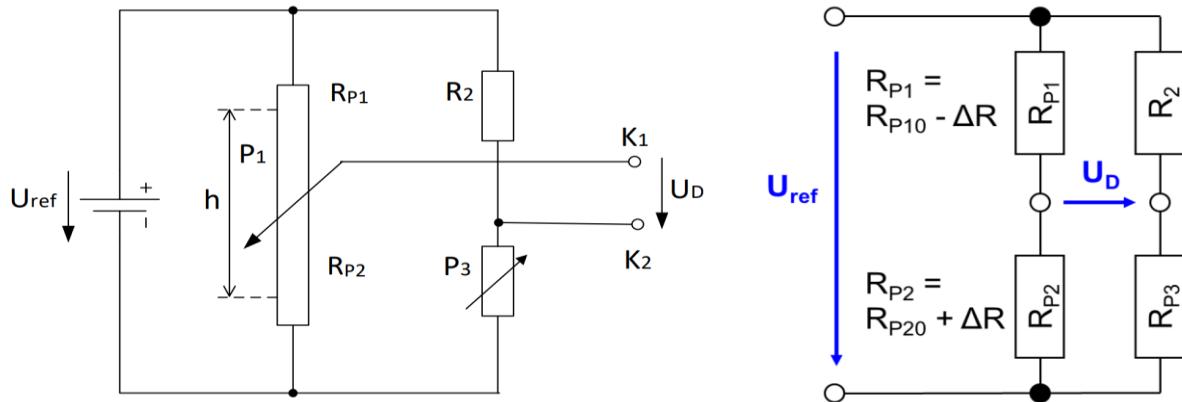


Abbildung 2A.5.2 Schaltbilder der Messbrücke der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1]

Die Messbrücke, siehe Abbildung 2A.5.2, dient dazu einen Vergleichswert zu erzeugen, in diesem Fall mithilfe des variablen Widerstandes  $P_3$ .

Aus der obigen Zeichnung ergibt sich, mit etwas Umformung, die Ausgangsspannung  $U_D$  als:

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

Wobei  $R_{P10}$  und  $R_{P20}$  die jeweiligen Widerstände vor und nach dem Schleifkontakt darstellen.

## 2A.5.2 Instrumentenverstärker zur Weiterverarbeitung des Spannungssignals

Für die Weiterverarbeitung des Spannungssignals  $U_D$  wird ein Instrumentenverstärker verwendet. Dieser dient dazu ein weiteres Ausgangssignal zu erzeugen was direkt an eine Anzeige verbunden werden kann, bzw. welches dem Füllstand in L entspricht.

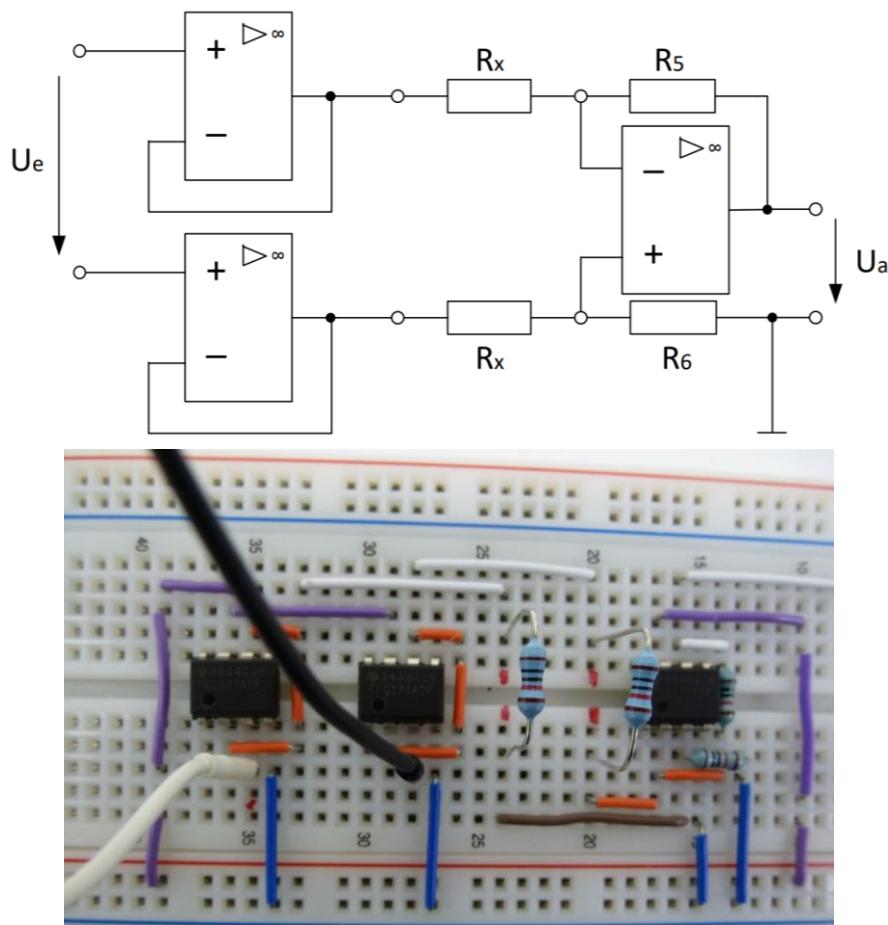


Abbildung 2A.5.3 Schaltbild/Steckbrettzeichnung Instrumentenverstärker aus Laborskript [1]

Die Abbildung 2A.5.3 aus dem Laborskript [1] zeigt den Aufbau des, in diesem Laborversuch verwendeten, Instrumentenverstärkers. Sichtbar ist, dass für diese Instrumentenverstärkerschaltung drei Operationsverstärker eingesetzt werden, wobei die ersten beiden Operationsverstärker als Impedanzwandler dienen. Diese werden eingesetzt, um den Eingangswiderstand der Weiterverarbeitung möglichst groß zu halten, um dessen Einfluss auf das Spannungssignal zu minimieren. Dass ein geringer Lastwiderstand vorteilhaft ist, wurde bereits im Vorherigen Versuchsteil 2A.4.1 gezeigt.

### 2A.5.3 Versuchsdurchführung Füllstandsanzeige

Das Ausgangssignal  $U_a$  kommt von dem Letzten Operationsverstärker, welcher Teil einer Subtrahiererschaltung bildet. Somit ergibt sich für die Gleichung des Ausgangssignals:

$$U_a = \frac{R_{5,6}}{R_X} \cdot U_e, \text{ mit } R_5 = R_6$$

Wobei das Eingangssignal  $U_e$  der Differenzspannung  $U_d$  des Spannungsteilers entspricht.

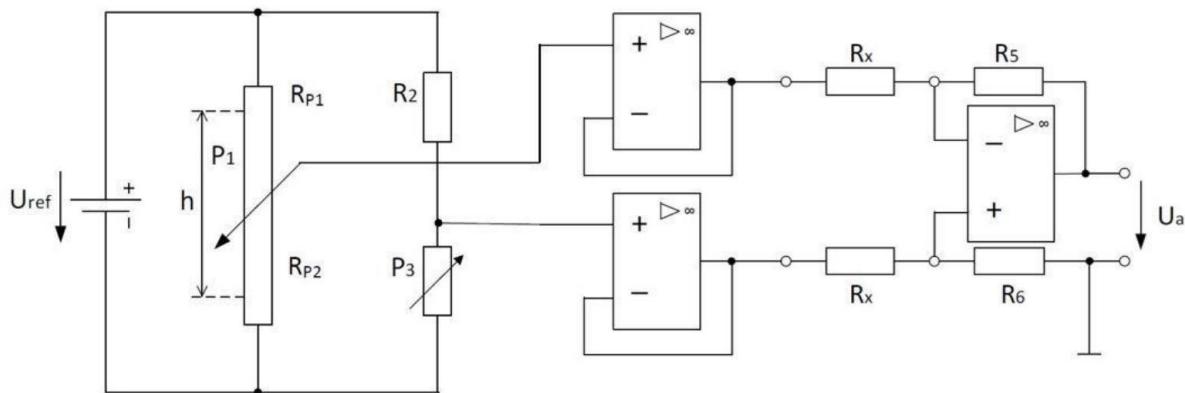


Abbildung 2A.5.4 Gesamtschaltbild der elektronischen Füllstandsanzeige aus Laborskript [1]

Wird die Differenzspannung an den Instrumentenverstärker angeschlossen, so kann das verstärkte Ausgangssignal über dem Widerstand  $R_X$  so eingestellt werden, dass es innerhalb eines bestimmten Spannungswertebereiches bleibt. Wird nach  $R_X$  umgeformt, so erhält man die Gleichung:

$$R_X = \frac{R_{5,6} \cdot U_e}{U_a}, \text{ mit } R_5 = R_6$$

In diesem Versuch soll der Spannungswert  $U_a$  den Füllstand des Tankes in Liter entsprechen:

$$R_X = \frac{R_{5,6} \cdot U_e}{U_a = \text{Füllstand in l}}, \text{ mit } R_5 = R_6 = 10\text{kOhm}$$

Für die Bestimmung des benötigten Widerstandes  $R_X$  wurden vorerst die Diagonalspannungswerte der Messbrücke in der Tabelle in Abbildung 2A.5.5 protokolliert:

Verfahrensweg $\Delta x$ in mm	Diagonalspannung = $U_e$ in V
10	0
90	2.535

Abbildung 2A.5.5 Diagonalspannungswerte zur Abgleichung der Messbrücke

Bei einem vollen Tank mit einem Volumen von 4.1l ergibt sich dann für den Widerstand  $R_X$ :

$$R_X = \frac{R_{5,6} \cdot U_e}{U_a = \text{Füllstand in l}} = \frac{10k\Omega \cdot 2.535}{4.1l} = 6183\Omega$$

Mit diesem Wert für  $R_X$  kann dann der Verstärkungsfaktor des Instrumentenverstärkers bestimmt werden:

$$V = \frac{R_{5,6}}{R_X} = \frac{10k\Omega}{6183\Omega} = 1.6$$

Für diesen Versuchsaufbau wird nun ein Widerstand aus der E24 Normreihe gewählt, der so nahe wie möglich zu dem Berechneten Wert für  $R_X$  ist. Was auch beachtet werden muss ist die maximal zulässige Abweichung von -5%, sodass der Widerstand nicht größer sein darf als der Berechnete Wert. Einen zu großen Widerstand würde ein zu hohen Ausgangswert erzeugen. Daher wird der Widerstand  $R_X = 6.2 \text{ k}\Omega$  eingesetzt.

$$\text{Somit ergibt sich für die wahre Verstärkung den Wert } V = \frac{R_{5,6}}{R_{X,Wahr}} = \frac{10k\Omega}{6.2k\Omega} = 1.6$$

Um die, in den vorherigen Abschnitten, bestimmten Werte und den Gesamten Aufbau nochmal genauer zu untersuchen, und um mögliche Fehler auszuschließen werden am Versuchsaufbau unterschiedliche Werte für den Füllstand bzw. den damit verbundenen Verfahrensweg, eingestellt, sodass die am Instrumentenverstärker resultierenden Ausgangsspannungen ausgelesen und erprobt werden können.



Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung wurden in der untenliegenden Tabelle in Abbildung 2A.5.6 eingetragen:

Verfahrensweg $\Delta x$	Dazugehörige Tankfüllstand in l	Ausgangsspannung am Verstärker in V	Abweichung in %
10.00mm	0	0	0
50.01mm	2.05	2.01	1.95
90.00mm	4.10	4.065	0.85

Abbildung 2A.5.6 Tabelle zu Versuchsteil 2A.5

Sichtbar ist, dass die Ausgangsspannung dem Tankfüllstand nahezu vollständig entspricht. Die geringe Abweichung wäre in den meisten Einsatzbereichen tolerierbar. Zudem könnten diese Abweichungen durch Kalibrierverfahren mithilfe einer Berechnung kompensiert werden, sodass ein richtiger Füllstand angezeigt werden könnte. Somit ist dieser Versuchsaufbau gelungen.

Labor Sensorik SS22  
Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer 70474565



# Labor Sensorik Versuch 2B

Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer: 70474565



## Inhaltsverzeichnis

2A.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau.....	4
2A.2 Versuchsaufbau.....	6
2A.3 Versuchsdurchführung.....	8
2A.4 Auswertung der Messergebnisse.....	9
2A.4.1 Auswertung des Spannungsverlaufes .....	9
2A.4.2 Genaue Auswertung der gemessenen Werten und Verhältnissen.....	10
2A.5 Realisierung der Füllstandsanzeige .....	13
2A.5.1 Messbrücke zur Realisierung der Füllstandsanzeige.....	13
2A.5.2 Instrumentenverstärker zur Weiterverarbeitung des Spannungssignals .....	15
2A.5.3 Versuchsdurchführung Füllstandsanzeige .....	16
2B.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau.....	22
2B.2 Widerstandsmessung über verschiedene Temperaturen.....	24
2B.3 Einsatz der Widerstände in Messreihe .....	29
2B.4 Aufbau Komparatorschaltung mit Leuchtdiode .....	31
Abbildungsverzeichnis .....	32



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2A1.1 Bild aus Laborskript [1] Erläuterung Versuchsaufbau .....	4
Abbildung 2A.1.2 Darstellung Schiebepotentiometer Schematisch und als Schaltbild.....	5
Abbildung 2A.2.1 zeigt, wie in 5.1.1 a), c) gefordert, sämtliche Anschlüsse am Steckbrett.....	6
Abbildung 2A.2.2 Darstellung mit RL als elektrische Schaltbilder (linkes Bild aus Laborskript [1]) .....	7
Abbildung 2A.3.1 Messwerttabelle zum ersten Teilversuch.....	8
Abbildung 2A.4.1 Diagramm aus den Messwerten des ersten Teilversuches.....	9
Abbildung 2A.4.2 Tabelle der Proportionalitätswerte Potentiometerschaltung .....	10
Abbildung 2A.4.3 Kennlinie Um/Uref zum Verfahrensweg $\Delta x$ .....	11
Abbildung 2A.4.4 Kennlinie Potentiometerwiderstand zum Verfahrensweg $\Delta x$ .....	12
Abbildung 2A.5.1 Schematische Darstellung der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1] .....	13
Abbildung 2A.5.2 Schaltbilder der Messbrücke der Füllstandsanzeige aus Laborskript [1].....	14
Abbildung 2A.5.3 Schaltbild und Steckbrettzeichnung Instrumentenverstärker aus Laborskript [1].....	15
Abbildung 2A.5.4 Gesamtschaltbild der elektronischen Füllstandsanzeige aus Laborskript [1] .	16
Abbildung 2A.5.5 Diagonalspannungswerte zur Abgleichung der Messbrücke .....	17
Abbildung 2A.5.6 Tabelle zu Versuchsteil 2A.5 .....	18
Abbildung 2B.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	22
Abbildung 2B.2.1 Schematische Darstellung des Ersten Teilversuches in Versuch 2B .....	24
Abbildung 2B.2.2 Messwertetabelle Laborversuch .....	25
Abbildung 2B.2.3 Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand.....	26
Abbildung 2B.2.4 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand .....	26
Abbildung 2B.2.6 Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand .....	28
Abbildung 2B.2.7 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand.....	28
Abbildung 2B.3.1 Schematische Darstellung des NTC Sensors im Kühlkörper .....	29
Abbildung 2B.3.2 Aus Laborskript [1] zeigt OPV-schaltung in aus diesem Versuchsaufbau.....	29
Abbildung 2B.3.3 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus .....	30
Abbildung 2B.3.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	31



## 2B.1 Hintergrund zum Versuchsaufbau

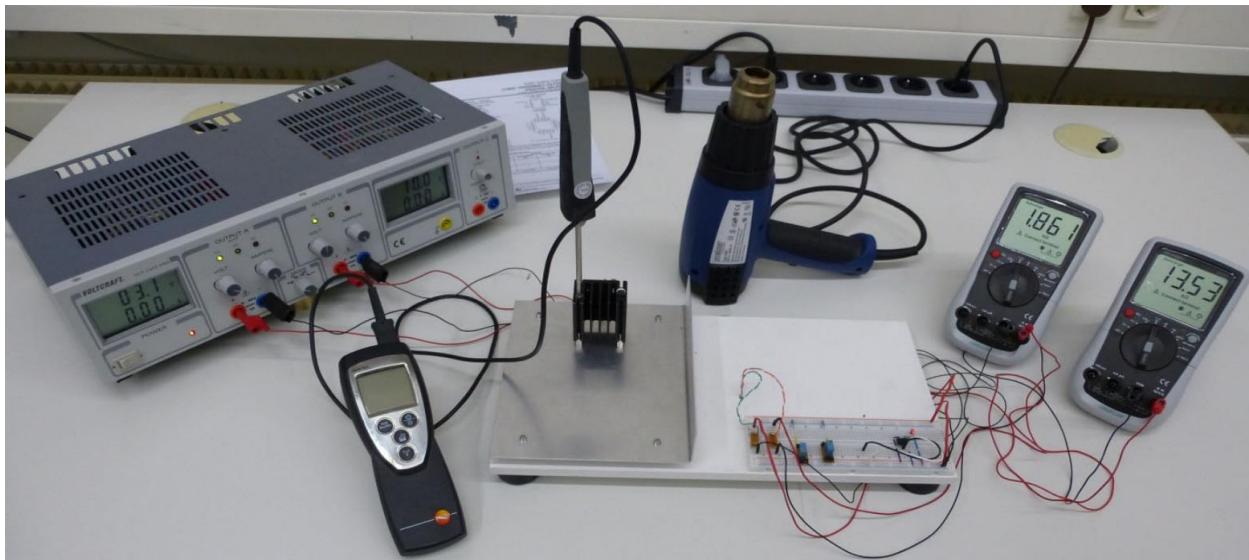


Abbildung 2B.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1]

In diesem Versuchsteil wurde das Temperaturverhalten zweier Temperaturabhängige Widerstände erprobt. Hierbei handelte es sich um einen PTC, sowie einen NTC Widerstand, dessen Eigenschaften erprobt werden sollten. Um die Eigenschaften der Temperaturabhängigen Widerstände nochmal zu überprüfen, wurden die in diesem Laborversuch verwendeten PTC und NTC Sensoren in einem Kühlkörper zur Temperaturmessung platziert.

Aus diesen Widerständen sollte eine Warnanzeige realisiert werden. Für die Warnanzeige wurde eine Wheatstone Messbrücke eingesetzt, um aus den Widerständen eine Differenzspannung zu erzeugen.

Die Weiterverarbeitung des aus der Messbrücke resultierenden Signals erfolgte mithilfe einer Komparatorschaltung, die, zur Veranschaulichung, eine Leuchtdiode steuerte.

### PTC Widerstand

Der PTC Widerstand wird oft als Kaltleiter bezeichnet, da er bei kälteren Temperaturen besser leitet als bei wärmeren. Der Kaltleiter besteht aus Kristallelementen, die eine Spannungs-Sperrschiicht bilden, die einen Stromfluss verhindern. Der PTC Widerstand ist bei sehr geringen, sowie sehr hohen Temperaturen meist unpräzise. Daher kann der PTC Widerstand nur innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches eingesetzt werden. Innerhalb dieses



Temperaturbereiches, weißt PTC Widerstand sehr große Änderungen bei verschiedenen Temperaturen auf, mit einem nahezu konstanten Verhältnis zwischen Temperatur und Widerstand.

Das Verhalten des PTC Widerstandes kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$R(T) = R_R \cdot e^{B(T-T_R)}$$

wobei  $R_R$  (in Ohm) den Bezugswiderstand bei der Temperatur  $T = T_R$  (in Celsius) ist.  $B$  beschreibt eine Materialkonstante die Bauteilabhängig ist. Diese Gleichung ist jedoch nicht bei allen Widerständen anwendbar, da manche PTC Widerstände sehr große Abweichungen besitzen.

Aufgrund dieser Einschränkung kann der PTC Widerstand nur da eingesetzt werden, wo ein eingeschränkten Temperaturbereich vorliegt. Der PTC Widerstand wird trotz diesen Einschränkungen eingesetzt, da er meist kostengünstiger in der Herstellung ist. [2]

### NTC Widerstand

Bei dem NTC Widerstand sieht es allerdings anders aus. Der Warmleiter besteht aus Halbleiterwerkstoffen, die bei Höheren Temperaturen leitend werden. Die höheren Temperaturen verursachen eine Freisetzung der Elektronen in den Halbleiterstoffen die im NTC eingesetzt werden, sodass dieser besser leitend wird.

Im Gegensatz zum PTC, weißt der NTC Widerstand eine ziemlich gleichmäßige Temperaturabhängigkeit bei einem breiten Temperaturbereich auf.

Die Formel des Widerstandes  $R$  in Ohm in Abhängigkeit zur Temperatur ergibt sich als:

$$R(T) = R_R \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_R}\right)}$$

wobei  $R_R$  (in Ohm) den Bezugswiderstand bei der Temperatur  $T = T_R$  (in Celsius) ist.  $B$  beschreibt eine Materialkonstante die Bauteilabhängig ist.

Der größere Temperaturbereich und die höhere Präzision des NTC's macht es anwendbarer. Kalt- sowie Warmleiter bestehen aus den unterschiedlichsten Legierungen, und können somit auch andere Eigenschaften besitzen. Die Begriffe PTC und NTC beziehen sich nur auf dem Grundsätzlichen Temperaturverhalten der jeweiligen Materialzusammensetzungen. [3]



## 2B.2 Widerstandsmessung über verschiedene Temperaturen

Um die in diesem Laborversuch verwendeten Sensoren erstmal ein wenig zu erproben, wurde eine einfache Widerstandsmessung über den Widerständen bei verschiedenen Temperaturen im Bereich von 45°C bis 160°C durchgeführt.

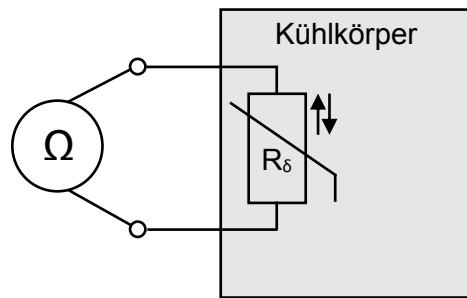


Abbildung 2B.2.1 Schematische Darstellung des Ersten Teilversuches in Versuch 2B

Die Widerstandsmessung wurde mit einem Multimeter durchgeführt, und in die untenliegende Tabelle aus Abbildung 2B.2.2 protokolliert.

$R_{NTC}$ in kOhm	$R_{PTC}$ in Ohm	Temperatur in °C
8058	63.,28	178
7814	62,73	175
7615	64,25	170
7370	67,06	165
6948	70,95	160
6382	75,41	155
5655	80,89	150
5207	85,34	145
4519	94,99	140
3627	103,7	135
2866	112,3	130
2084	121,6	125
1580	132,9	120
1089	143,0	115



713,4	155,6	110
386,6	173,4	105
194,8	190,6	100
300,8	222,5	100
296,9	208,0	100
113,6	208,4	95
132,8	227,5	95
157,5	222,5	95
52,26	228,8	90
21,67	253,5	85
7,710	281,9	80
2,637	317,7	75
1,332	349,7	70
0,381	388,8	65
0,167	446,4	60
0,119	506,1	55
0,097	566,6	50
0,081	633,6	45
0,068	718,6	40
0,061	806,1	35
0,056	918,1	30
0,052	1064	25
0,051	1179	20

Abbildung 2B.2.2 Messwertetabelle Laborversuch



Aus diesen Messwerten wurden dann die Temperaturkennlinien der beiden Widerstände visuell dargestellt.

Diagramm zum NTC Widerstand bei verschiedenen Temperaturen

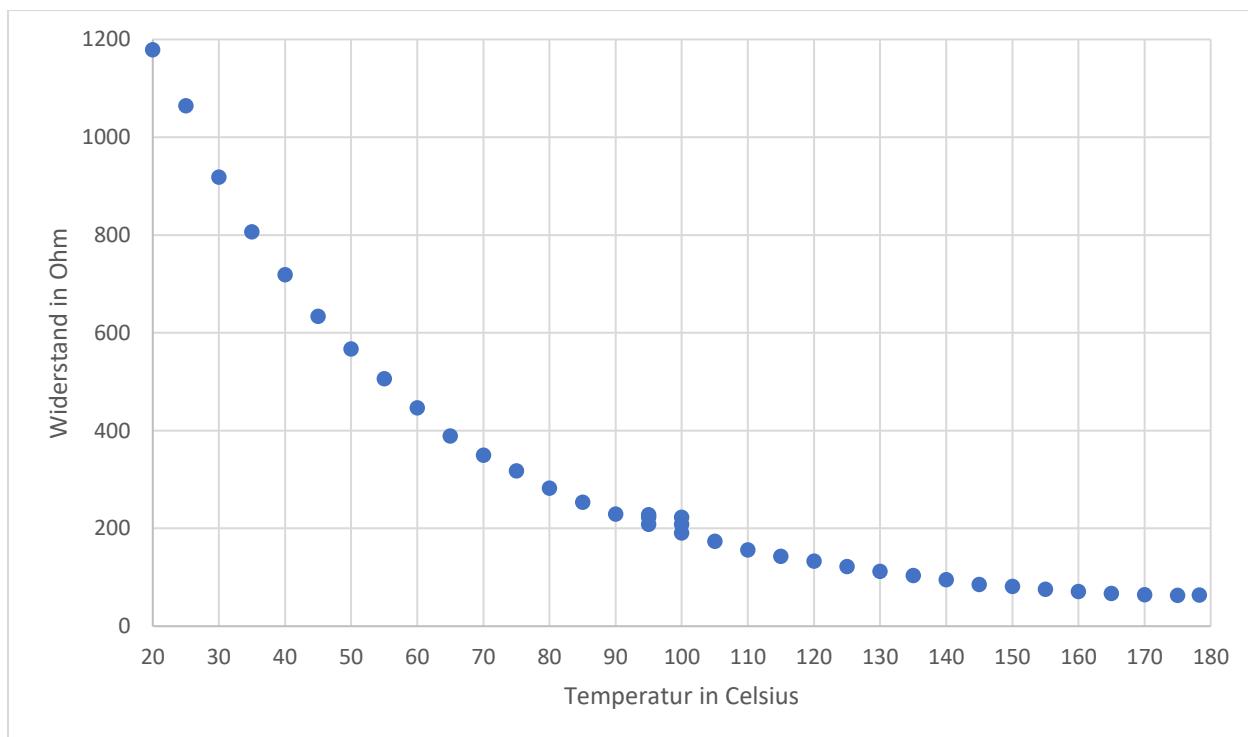


Abbildung 2B.2.3 Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand

Linearisiertes Diagramm zum NTC Widerstand bei verschiedenen Temperaturen

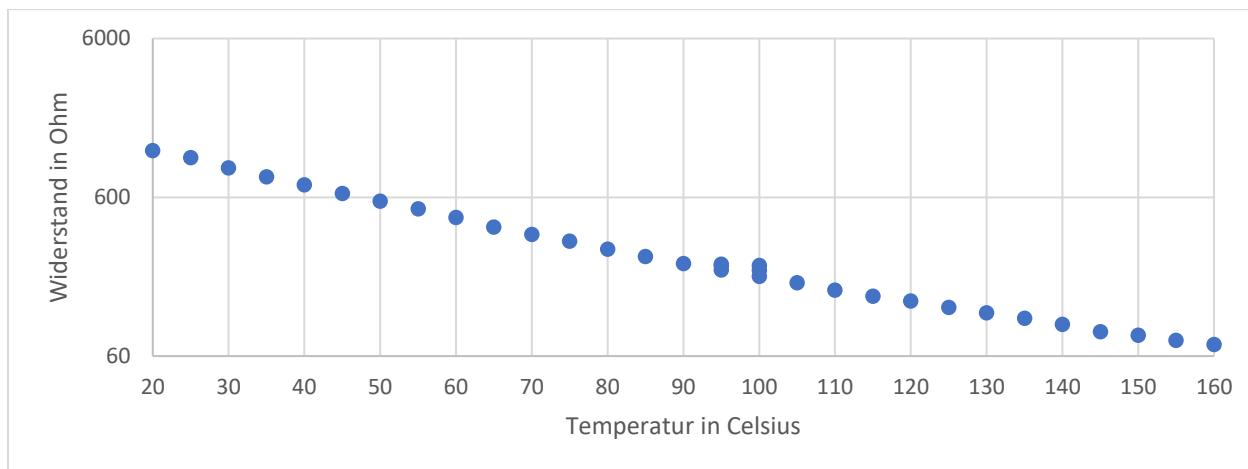


Abbildung 2B.2.4 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie NTC Widerstand



Sichtbar ist, dass der NTC Sensor einen exponentiell abfallenden Verlauf besitzt. Dieser entspricht dem erwarteten Verhalten eines NTC Sensors, und bestätigt die Zuverlässigkeit des Versuchsaufbaus. Die (geringe) Abweichung zu dem erwarteten Verhalten des NTC Widerstands wird in der Linearisierten Darstellung verdeutlicht.

Wie in Abschnitt 2A.3 erwähnt, besteht zwischen Temperatur und Widerstand des NTC Widerstands ein Verhältnis welches mit der Gleichung:

$$R(T) = R_R \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_R}\right)}$$

beschrieben werden kann, wobei  $R_R$  (in Ohm) den Bezugswiderstand bei der Temperatur  $T = T_R$  (in Celsius) ist.  $B$  beschreibt eine Materialkonstante die Bauteilabhängig ist.

Somit ergibt sich für die Materialkonstante:

$$B = \frac{\ln\left(\frac{R(T)}{R_R}\right)}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_R}}$$

Wird als Bezugstemperatur  $R(T_R = 178.3^\circ\text{C}) = 8.06\text{M}\Omega$  verwendet, so ergibt sich für die durchschnittliche Materialkonstante (über verschiedene Werte der Tabelle):

$$B = \frac{\ln\left(\frac{R(T)}{8.06\text{M}\Omega}\right)}{\frac{1}{T} - \frac{1}{178.3^\circ\text{C}}} = -632.759K$$



Diagramm zum PTC Widerstand bei verschiedenen Temperaturen

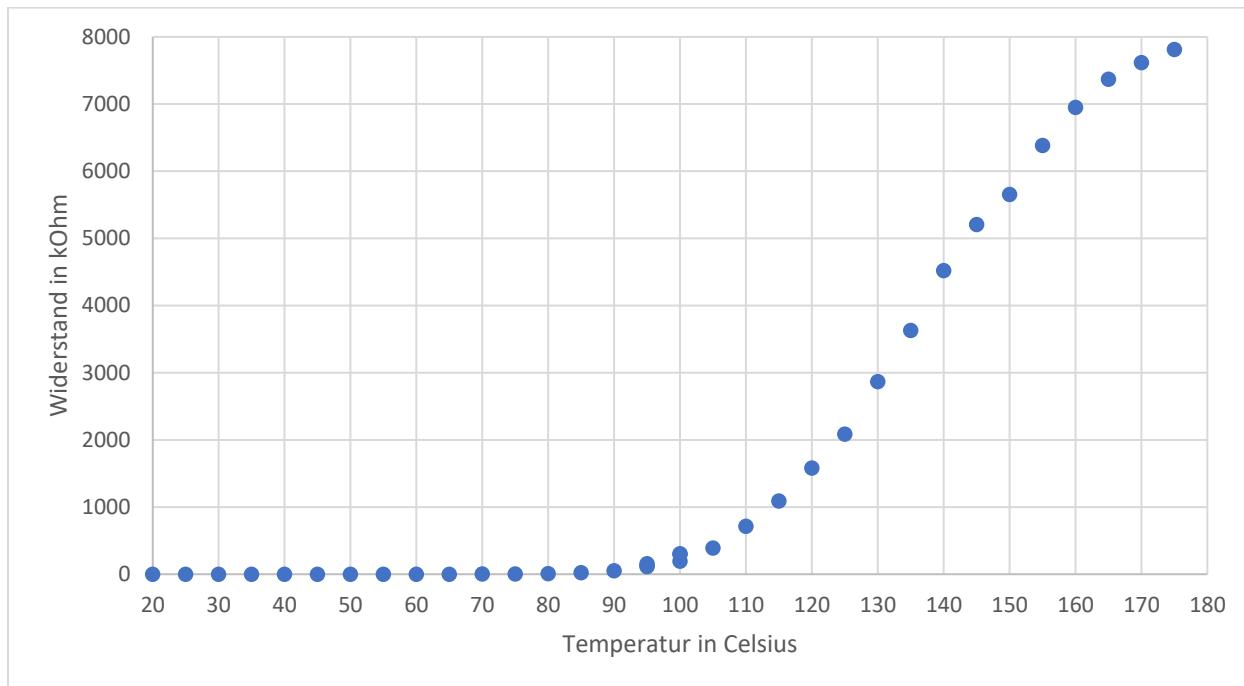


Abbildung 2B.2.6 Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand

Linearisiertes Diagramm zum PTC Widerstand bei verschiedenen Temperaturen

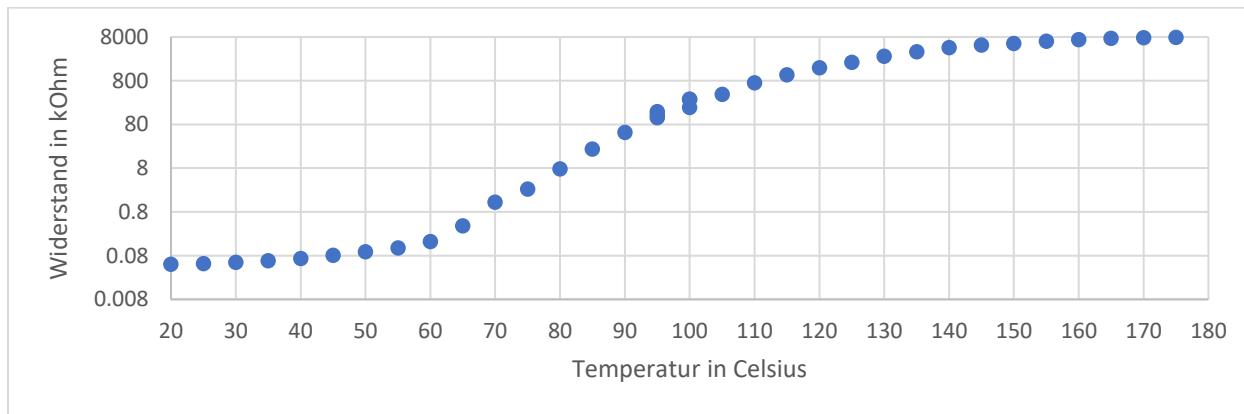


Abbildung 2B.2.7 Linearisierte Temperatur-Widerstandskennlinie PTC Widerstand

Die Abweichung des PTC Widerstandes zur Formel (siehe Abschnitt 2A.1) etwas größer als bei dem NTC. Das Verhalten eines PTC Widerstandes ist in der Praxis weniger gleichmäßig als beim NTC Widerstand. Daher wird eine Materialkonstante nicht wie bei dem NTC Widerstand berechnet.

## 2B.3 Einsatz der Widerstände in Messreihe

Zur Weiterverarbeitung deren Widerstandswerte, wurden sie auf einem Steckbrett in einer Brückenschaltung eingesetzt, die der aus dem Versuchsteil 2A (siehe Abschnitt 2A.5.1) ähnelt.

Die Differenzspannung aus dieser Spannungsbrücke wurde dann an einer Komparator Schaltung angelegt, die eine Leuchtdiode steuerte. Diese Leuchtdiode sollte in einem bestimmten Temperaturbereich leuchten.

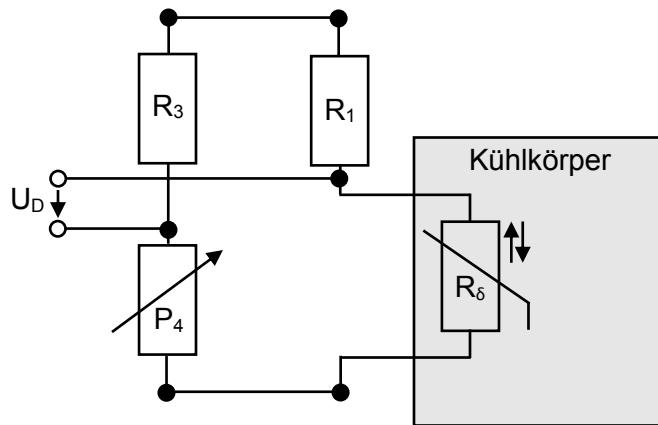


Abbildung 2B.3.1 Schematische Darstellung des NTC Sensors im Kühlkörper

Der in Abbildung 2B.3.1 als schematische Zeichnung dargestellte Aufbau liefert aus der Messbrücke eine Differenzspannung  $U_D$ , die zur Temperatur des Kühlkörpers proportional ist. Diese Differenzspannung wird dann an der in Abbildung 2B.3.2 gezeigten Operationsverstärkerschaltung angeschlossen.

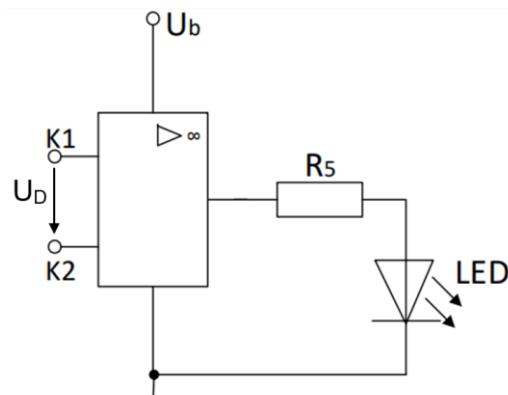


Abbildung 2B.3.2 Aus Laborskript [1] zeigt OPV-schaltung in aus diesem Versuchsaufbau

Diese Operationsverstärkerschaltung dient dazu die Leuchtdiode ab einer bestimmten Differenzspannung  $U_D$ , was einer Maximaltemperatur entsprechen soll, anzusteuern. Sobald diese Maximaltemperatur wieder unterschritten wird, soll die Diode wieder ausgeschaltet werden.

Hierzu wurde folgende Schematische Darstellung für den Versuchsaufbau gezeichnet:

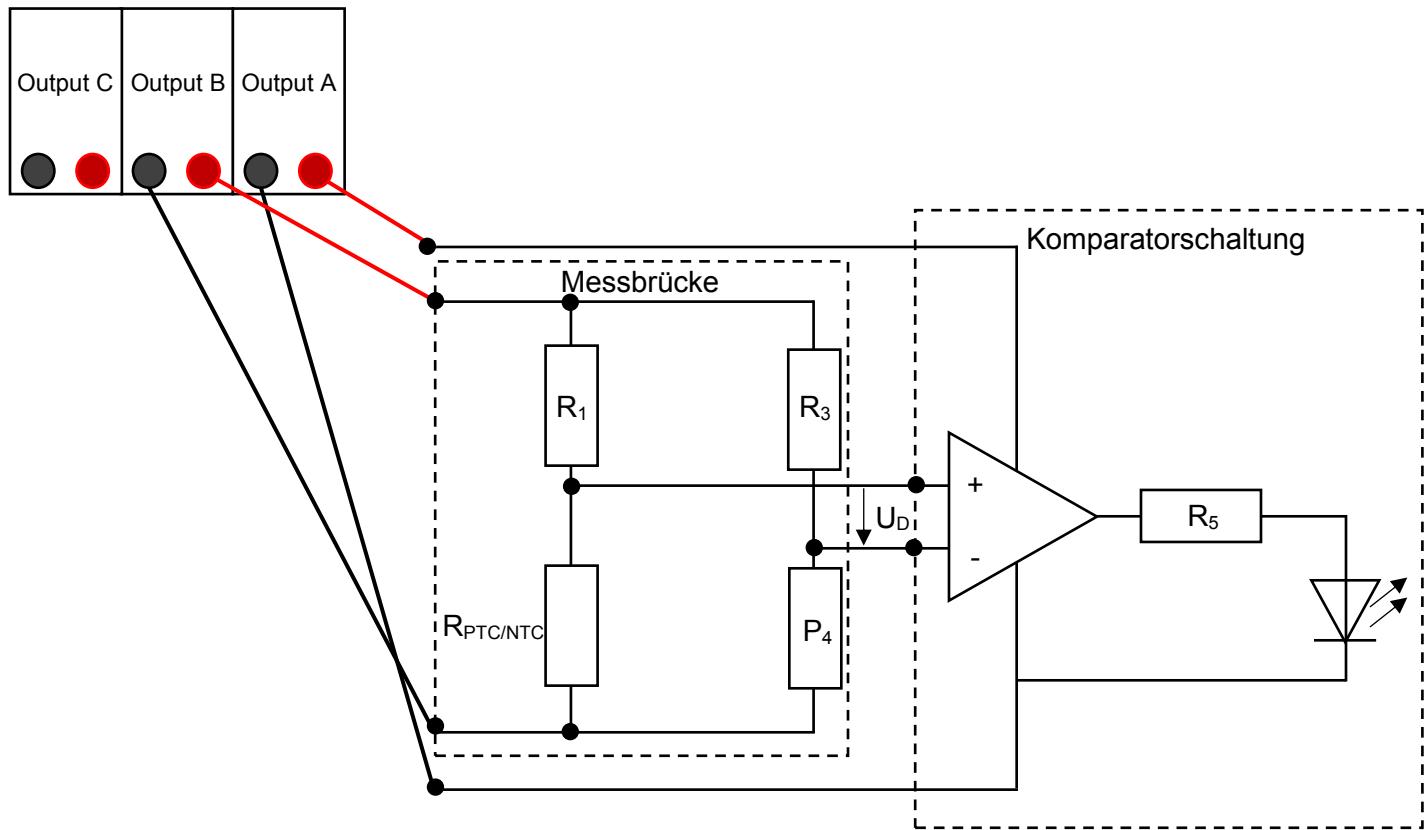


Abbildung 2B.3.3 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Die obige Abbildung 2B.3.3 zeigt den Aufbau der Messreihe, die für diesen Versuch verwendet wurde. Es wurde jedoch vorerst die Messbrücke bei 95°C abgeglichen, sodass die Diagonalspannung bei dieser Temperatur die Komparator Schaltung zum Schalten bringt. Da es schwierig ist den Kühlkörper bei 95°C zu halten, während der Potentiometer P4 eingestellt wird, wird für den PTC/NTC Widerstand ein Potentiometer eingesetzt, der auf dem Widerstandswert aus der Messwerttabelle (siehe Abbildung 2A.4.2) gesetzt, sodass der andere Potentiometer P4 so abgeglichen werden konnte, dass die Leuchte bei genau diesem Widerstandswert schaltete. Eine Präzisere Einstellung geschieht dann bei aufgeheiztem Kühlkörper, sodass der Komparator möglichst genau bei 95°C die Leuchtdiode ansteuert.



## 2B.4 Aufbau Komparatorschaltung mit Leuchtdiode

Im folgenden Abschnitt wird auf die Umsetzung der in Abschnitt 2B.1 und 2B.2 weiter eingegangen.

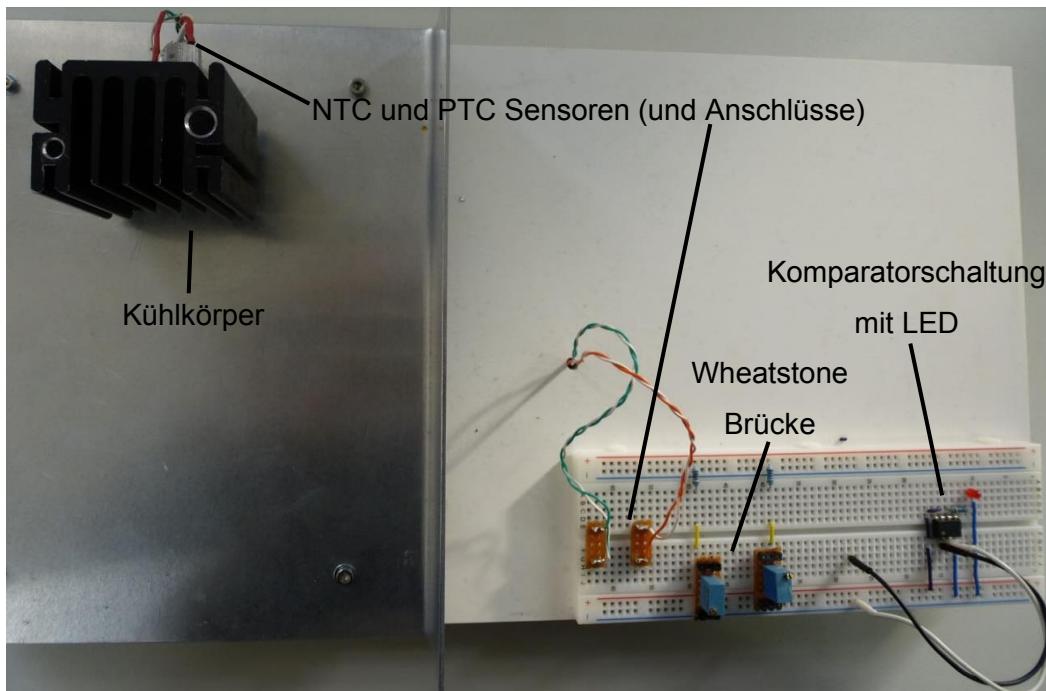


Abbildung 2B.3.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1]

Die Abbildung 2B.3.1 stellt den Versuchsaufbau dieses Teilversuches dar. Die bereits erwähnten NTC und PTC Sensoren wurden, wie in Abschnitt 2B.3 erklärt, innerhalb eines Kühlkörpers platziert. Die jeweiligen Anschlüsse der Widerstände wurden dann an einer Wheatstone Messbrücke auf einem Steckbrett angeschlossen. Die Differenzspannung aus der Messbrücke wurde dann an einem Komparator angelegt, der eine LED ab einer bestimmten Spannung (die eine Bestimmte Temperatur entspricht) einschaltet.



## Abbildungsverzeichnis

[1] Prof. Dr. Sabbert, D., & Dipl.-Ing. Quednau, R. (2021, März 15). Versuchsanleitung zum 3. Laborversuch Sensorik und Aktorik. Wolfsburg; Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften Fakultät Fahrzeugtechnik.

Zudem stammen alle Messdaten aus der vorgegebenen Online-Aufzeichnung die von Prof. Dr. Sabbert präsentiert und zur Verfügung gestellt wurde.

[2] 1.5 Kaltleiter (PTC-Widerstände). (2022). Kaltleiter Oder Heißleiter?, 1–18. Retrieved July 28, 2022, from [http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01\\_04x.pdf](http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01_04x.pdf).

[3] 1.4 Heißleiter (NTC-Widerstände). (2022). Kaltleiter Oder Heißleiter?, 1–18. Retrieved July 28, 2022, from [http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01\\_03x.pdf](http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01_03x.pdf).

Labor Sensorik SS22  
Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer 70474565



# Labor Sensorik Versuch 3

Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer: 70474565



## Inhaltsverzeichnis

3.1 Erläuterung zum Funktionsprinzip des Dehnmessstreifens.....	4
3.2 Versuchsaufbau.....	6
3.2.1 Erläuterung Brückenschaltungen.....	7
3.2.2 Schematische Darstellung der Versuchsaufbauten .....	8
3.3 Versuchsdurchführung.....	9
3.3.1 Versuchsdurchführung mit Viertelbrücke.....	9
3.3.2 Versuchsdurchführung mit Halbbrücke .....	10
3.3.3 Versuchsdurchführung mit Vollbrücke .....	10
3.3.4 Versuchsdurchführung Gewichtsmessung .....	11
3.4 Versuchsauswertung.....	12
3.4.1 Versuchsauswertung der Viertelbrücke.....	13
3.4.2 Versuchsauswertung der Halbbrücke .....	15
3.4.3 Versuchsauswertung der Vollbrücke .....	17
3.5 Vergleich der Brückenschaltungen .....	19
Abbildungsverzeichnis .....	20



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	4
Abbildung 3.1.2 zeigt, wie ein DMS für die Biegemessung eines Balkens eingesetzt werden kann .....	4
Abbildung 3.1.3 Gleichung aus Laborskript [1] für den Zusammenhang zwischen Kraft auf Balken und DMS Widerstand.....	5
Abbildung 3.2.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1].....	6
Abbildung 3.2.2 Brückenschaltungen aus Laborskript [1] und dazugehörige Formeln.....	7
Abbildung 3.2.3 Schematische Darstellung der Viertel-, Halb- und Vollbrückenschaltungen .....	8
Abbildung 3.3.1 Messwerttabelle Viertelbrücke .....	9
Abbildung 3.3.2 Messwerttabelle Halbbrücke.....	10
Abbildung 3.3.3 Messwerttabelle Vollbrücke.....	10
Abbildung 3.3.4 Schematische Darstellung der Gewichte und deren Dimensionen.....	11
Abbildung 3.3.5 Messwerttabelle der gemessenen Dimensionen der Gewichte .....	11
Abbildung 3.4.1 Gleichung für Verhältnis zwischen Widerstand und Kraft .....	12
Abbildung 3.4.2 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Viertelbrückenschaltung .....	13
Abbildung 3.4.3 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte.....	13
Abbildung 3.4.4 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte .....	14
Abbildung 3.4.5 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Halbbrückenschaltung	15
Abbildung 3.4.6 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte.....	15
Abbildung 3.4.7 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte .....	16
Abbildung 3.4.8 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Vollbrückenschaltung.	17
Abbildung 3.4.9 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte.....	17
Abbildung 3.4.10 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte.....	18
Abbildung 3.4.11 Diagramm der berechneten Massen der Gewichte mit zusätzlichem K-faktor .....	18

### 3.1 Erläuterung zum Funktionsprinzip des Dehnmessstreifens

In diesem Laborversuch ging es um die Erprobung der Biegemessung mithilfe eines Dehnmessstreifens auch DMS genannt. Dazu wurde die in Abbildung 1.1 dargestellte Schaltung aufgebaut und mit einer Viertel-, Halb- und Vollbrückenschaltung ausgewertet.

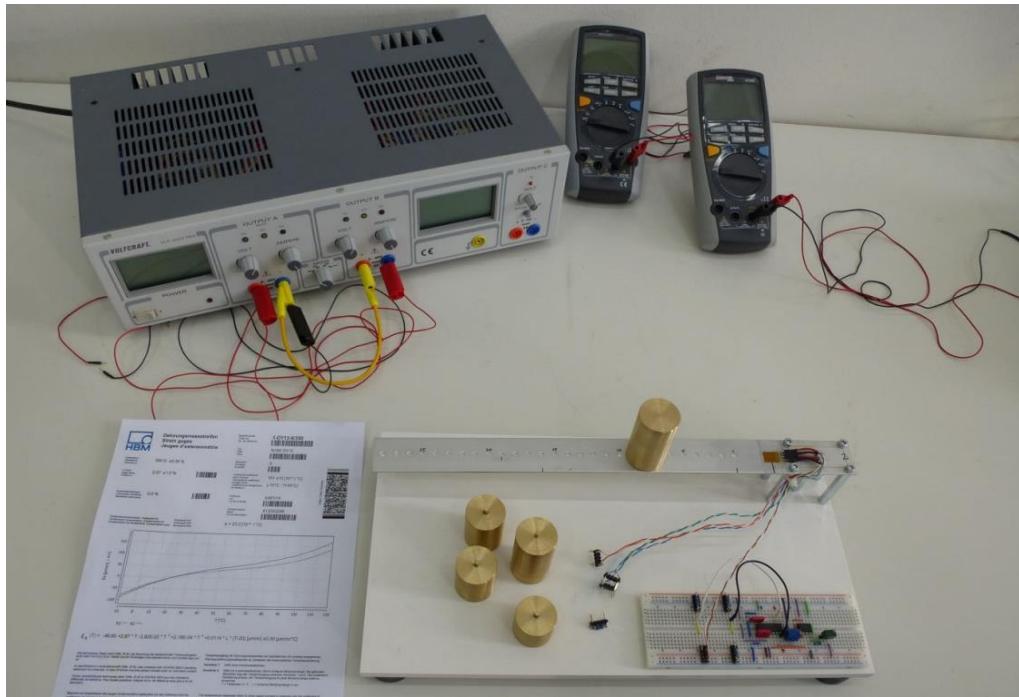


Abbildung 3.1.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1]

Bei der Biegemessung gibt es einige verschiedene Möglichkeiten, jedoch ist die Biegemessung mithilfe des Dehnmessstreifens eine günstige und zuverlässige Methode, die in vielen technischen Bereichen eingesetzt wird. Der Dehnmessstreifen besteht aus einem dünnen Stück Halbleitermaterial, welches je nach Formänderung einen unterschiedlichen Widerstandswert besitzt.

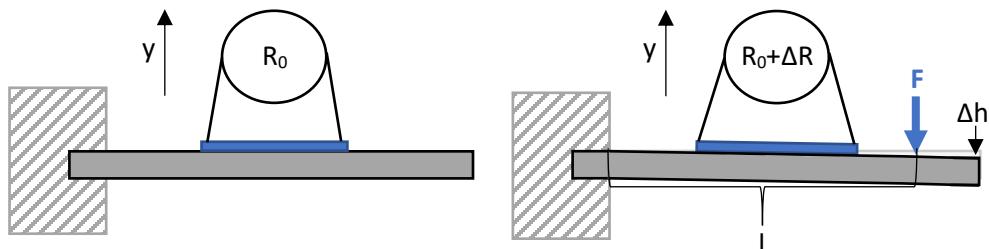


Abbildung 3.1.2 zeigt, wie ein DMS für die Biegemessung eines Balkens eingesetzt werden kann

Sichtbar ist, dass der Dehnmessstreifen bei Biegung einen höheren elektrischen Widerstand aufweist. Diese Eigenschaft wird benutzt, um Biegungen in ein elektrisches Signal umzuwandeln.

Folgender Abschnitt wurde von dem Laborskript [1] gegeben:

Die Massen bewirken eine Kraft auf der Y-Achse des Biegebalkens. Die daraus resultierende Biegespannung  $\sigma_B$  wird mit folgender Formel beschrieben:

$$\sigma_B = \frac{F \cdot l}{I_B} \cdot \frac{h}{2}$$

wobei  $F$  die Kraft, die von der Masse ausgeübt wird,  $l$  die Distanz zur Mitte des Balkens,  $h$  die Dicke des Balkens und  $I_B$  das Flächenträgheitsmoment des Balkens beschreiben.

Das Flächenträgheitsmoment  $I_B$  eines Balkens wird mit der Formel:

$$I_B = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

gegeben. Zudem gilt das Hooksche Gesetz innerhalb der Elastizitätsgrenze des Balkens:

$$\sigma_B = E \cdot \varepsilon$$

wobei

$$E_{ALUMINIUM} = 70 \frac{kN}{mm^2}$$

Somit folgt für die gesamte Formel für Dehnung  $\varepsilon$  des Balkens:

$$\varepsilon(F) = \frac{6 \cdot l}{b \cdot h^2 \cdot E} \cdot F$$

Es gilt, dass unter Belastung einer positiven Kraft  $F$  die Dehnung eine Streckung  $\varepsilon > 0$  der oberen Seite des Balkens und eine Stauchung  $\varepsilon < 0$  der unteren Seite des Balkens bedeutet.

Da der Widerstand eines DMS Streifens mit der Formel:

$$\frac{\Delta R_{DMS}}{R_{0,DMS}} = K \cdot \varepsilon$$

beschrieben wird, wobei  $K$  eine Bauteilabhängige Konstante darstellt, kann Folgende Gleichung für den Zusammenhang zwischen dem DMS Widerstand und der Kraft auf dem Balken aufgestellt werden:

$$\varepsilon(F) = \frac{\Delta R_{DMS}}{K \cdot R_{0,DMS}} = \frac{6 \cdot l}{b \cdot h^2 \cdot 70 \frac{kN}{mm^2}} \cdot F$$

*Abbildung 3.1.3 Gleichung aus Laborskript [1] für den Zusammenhang zwischen Kraft auf Balken und DMS Widerstand*



### 3.2 Versuchsaufbau

Im folgenden Abschnitt wird auf die Praktische Umsetzung des in Abschnitt 3.1 erklärten Aufbaus eingegangen. Erwähnenswert ist hierbei, dass dieser Versuch von einem Betreuer durchgeführt und aufgenommen wurde, sodass alle Fotos und Werte aus dieser Aufzeichnung, und nicht aus eigenem Versuch stammen.

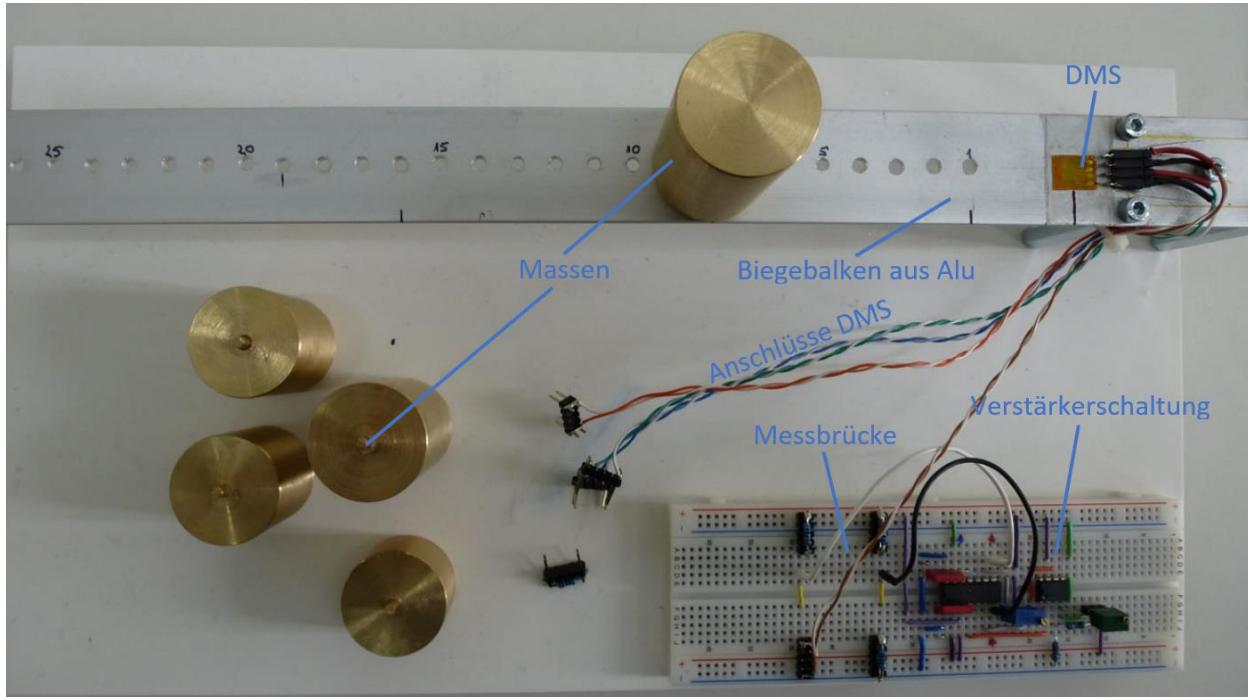


Abbildung 3.2.1 Foto des Versuchsaufbaus aus Laborskript [1]

Die obige Abbildung 3.2.1 zeigt den Biegebalken (aus Aluminium) der in diesem Laborversuch verwendet wurde. Dieser funktioniert grundsätzlich so wie der in Abbildung 3.2.1 gezeigte Balken. Als Kraft dienen die 5 verschiedenen Massen, die auf zwei Längen ( $l_1 \approx 100\text{mm}$  und  $l_2 \approx 150\text{mm}$ ) entlang des Balkens platziert werden können.

Auf der rechten Seite des Balkens (siehe Abbildung 3.2.1) sind jeweils 2 Dehnmessstreifen auf Vorder- und Rückseite des Balkens geklebt. Diese Dehnmessstreifen wurden in verschiedenen Konfigurationen auf einem Steckbrett gesteckt, sodass unterschiedliche Brückenschaltungen (siehe Abbildung 3.2.2) erprobt werden konnten.

Zudem wurde ein Instrumentenverstärker eingesetzt, um die Präzision der Messung zu steigern. Der Aufbau des Steckbretts wird von der Abbildung 3.2.3 genauer verdeutlicht. Im folgenden Abschnitt 3.2.1 werden die verschiedenen Brückenschaltungen genauer erklärt.

### 3.2.1 Erläuterung Brückenschaltungen

In diesem Versuch werden Voll-, Halb- und Viertelbrückenschaltungen verwendet, um die Dehnmessstreifen in verschiedenen Konfigurationen zu erproben.

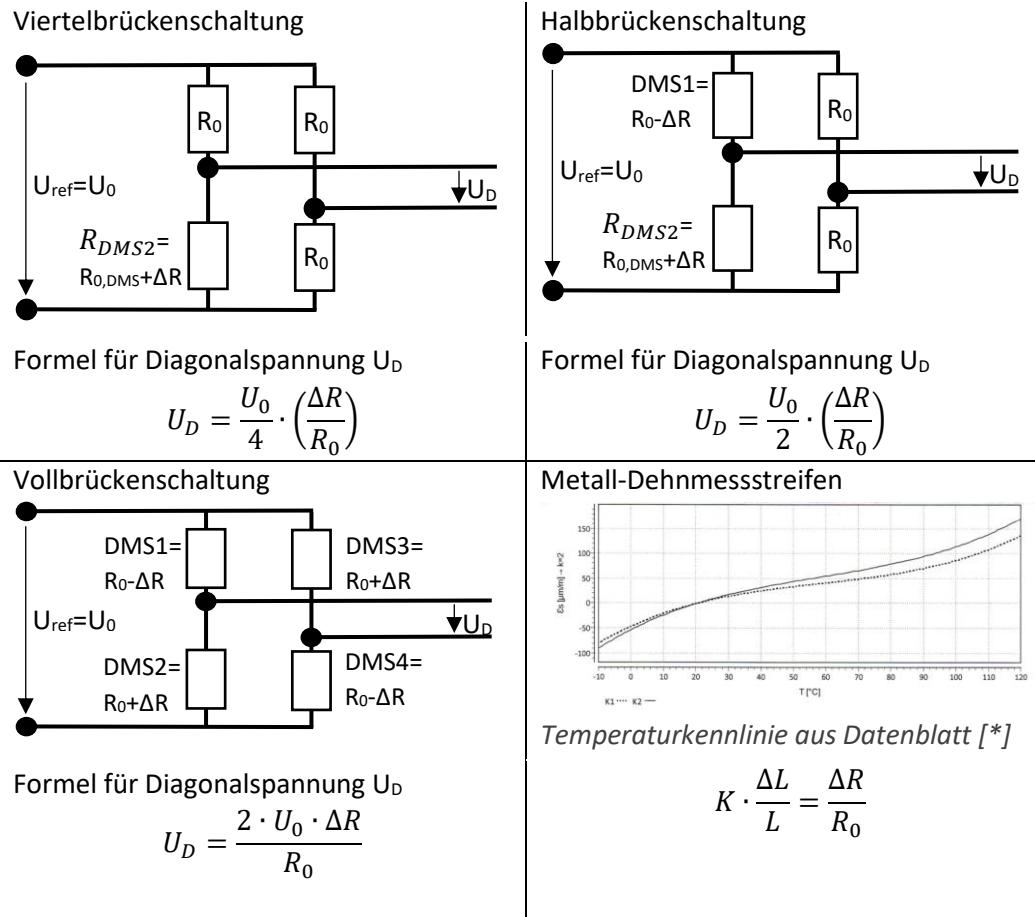


Abbildung 3.2.2 Brückenschaltungen aus Laborskript [1] und dazugehörige Formeln

Die Abbildung 3.2.2 stellt die in diesem Laborversuch verwendeten Messbrücken dar, die zur Weiterverarbeitung des Metall-DMS Wertes dienen. Die dazugehörigen schematischen Skizzen befinden sich auf der nächsten Seite (siehe Abbildung 3.2.3).

Sichtbar ist jedoch, dass die Viertelbrückenschaltung nur einen, die Halbbrückenschaltung zwei und die Vollbrückenschaltung 4 Dehnmessstreifen anwendet. Da die Dehnmessstreifen jeweils eine gewisse Ungenauigkeit besitzen, ist davon auszugehen, dass die Vollbrückenschaltung eine höhere Präzision aufweisen wird als die Halb- und Viertelbrückenschaltung. Besser gesagt: desto mehr DMS, desto höher die Präzision.

Die Temperaturkennlinie der DMS ist auch wichtig zu beachten, da es bei höheren Temperaturen zu größeren Abweichungen kommt. Da aus der Aufzeichnung der Versuchsdurchführung keine Temperatur zu entnehmen ist, wird diese vorerst vernachlässigt.

### 3.2.2 Schematische Darstellung der Versuchsaufbauten

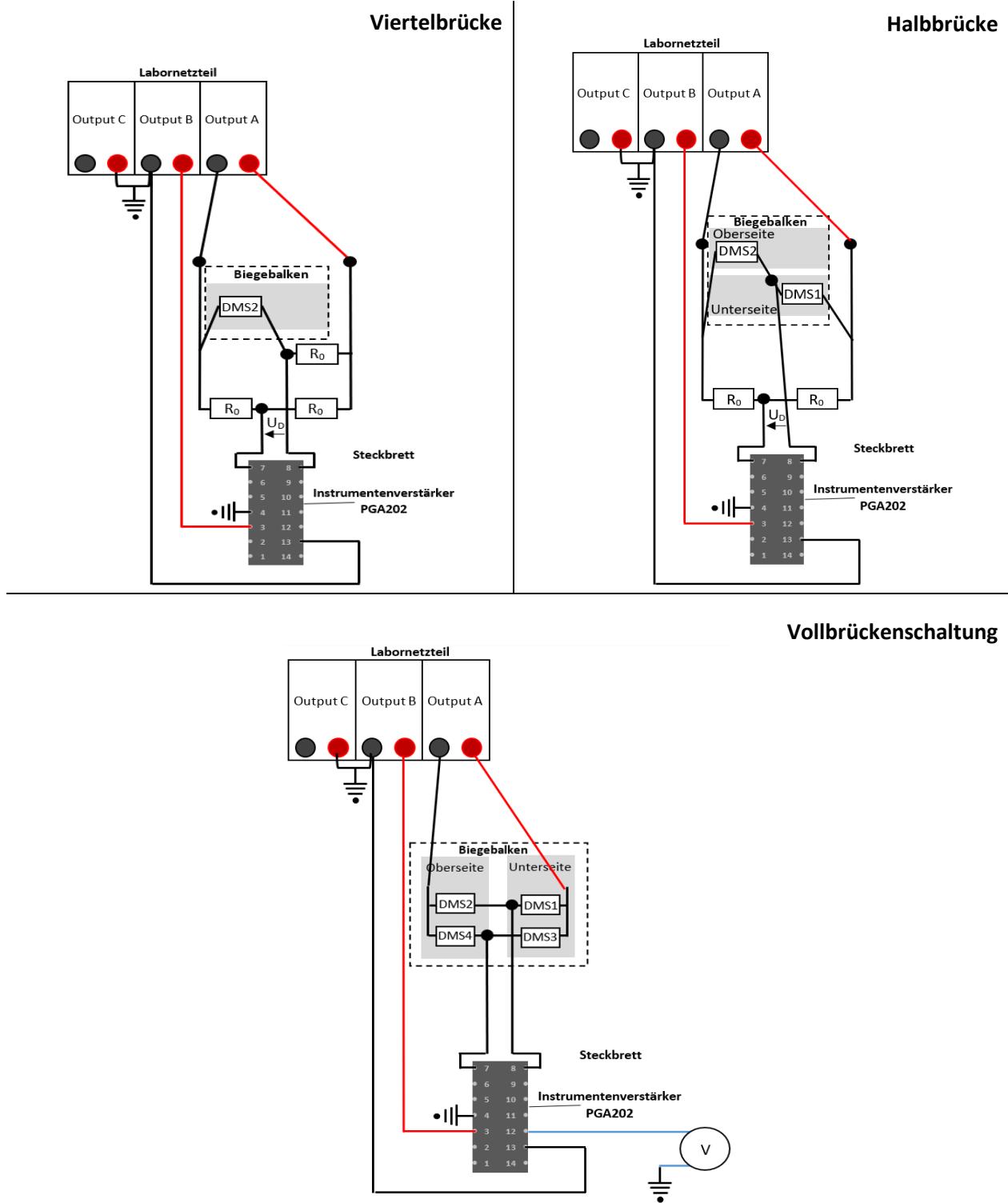


Abbildung 3.2.3 Schematische Darstellung der Viertel-, Halb- und Vollbrückenschaltungen

### 3.3 Versuchsdurchführung

Zunächst wurden die drei Versuchsaufbauen (siehe Abbildung 3.2.3) unter verschiedenen Massen und Längen (siehe Abbildung 3.1.2) erprobt.

Um die Diagonalspannung  $U_D$  der Messbrücken zu ermitteln, musste die Offset Spannung  $U_{OFFSET}$  sowie die Ausgangsspannung des Komparators  $U_A$  gemessen werden, sodass die Diagonalspannung  $U_D$  mit der Formel:

$$U_D = \frac{U_{OFFSET} - U_A}{V} \text{ mit } V = 100$$

berechnet werden konnte, wobei  $V$  den Verstärkungsfaktor des Komparators darstellt.

Zur Bemessung der Offsetspannung  $U_{OFFSET}$  sowie der Ausgangsspannung  $U_A$  des Komparators wurden zwei Hochwertige Multimeter verwendet.

Die Gewichte wurden händisch platziert, sodass der Abstand  $l_1 \approx 100\text{mm}$  und  $l_2 \approx 150\text{mm}$  (siehe Abbildung 3.2.1) nicht ganz genau eingehalten wurde.

#### 3.3.1 Versuchsdurchführung mit Viertelbrücke

In dem ersten Versuchsteil wurde der Aufbau (siehe Abbildung 3.2.1) mit der Viertelbrückenschaltung angewendet (siehe Abbildung 3.2.3). Die daraus gemessenen Spannungswerte wurden in der Tabelle (siehe Abbildung 3.3.1).

<b>Gewicht</b>	<b><math>l_1 = 100\text{mm}</math></b>			<b><math>l_2 = 150\text{mm}</math></b>		
	<b><math>U_{OFFSET}</math> in mV</b>	<b><math>U_A</math> in mV</b>	<b><math>U_D</math> in mV</b>	<b><math>U_{OFFSET}</math> in mV</b>	<b><math>U_A</math> in mV</b>	<b><math>U_D</math> in mV</b>
G1	2386	2301	0,85	2422	2299	1,23
G2	2379	2283	0,96	2414	2262	1,52
G3	2354	2278	0,76	2418	2248	1,70
G4	2405	2211	1,94	2426	2224	2,02
G5	2412	2259	1,54	2409	2161	2,48

Abbildung 3.3.1 Messwerttabelle Viertelbrücke

Bei der Bemessung der Offset- und Ausgangsspannung der Viertelbrückenschaltung, wurde eine 4-stellige Genauigkeit verwendet. Grund hierfür ist, dass die in dem Laborversuch verwendeten Messgeräte eine hohe Genauigkeit unterstützen. Da diese Genauigkeit jedoch für die weitere Auswertung nicht notwendig ist, wurde bei der Diagonalspannung  $U_D$  wiederrum eine 2-stellige Genauigkeit verwendet.

### 3.3.2 Versuchsdurchführung mit Halbbrücke

In dem zweiten Versuchsteil wurde der Versuchsaufbau unter Verwendung der Halbbrücke erprobt. Die Messwerte wurden dann in der untenliegenden Tabelle (siehe Abbildung 3.3.2) protokolliert.

	$I_1 = 100\text{mm}$			$I_2 = 150\text{mm}$		
Gewicht	$U_{\text{OFFSET}} \text{ in mV}$	$U_A \text{ in mV}$	Gewicht	$U_{\text{OFFSET}} \text{ in mV}$	$U_A \text{ in mV}$	Gewicht
G1	902,2	732,8	1,69	902,2	511,9	3,90
G2	876,9	681,2	1,96	770,1	484,8	2,85
G3	881,9	644,8	2,37	718,9	369,5	3,49
G4	774,2	523,7	2,51	790,2	392,1	3,98
G5	780,8	449,9	3,31	806,2	295,0	5,11

Abbildung 3.3.2 Messwerttabelle Halbbrücke

Bei der Bemessung der Offset- und Ausgangsspannung der Viertelbrückenschaltung, wurde eine 4-stellige Genauigkeit verwendet. Grund hierfür ist, dass die in dem Laborversuch verwendeten Messgeräte eine hohe Genauigkeit unterstützen. Da diese Genauigkeit jedoch für die weitere Auswertung nicht notwendig ist, wurde bei der Diagonalspannung  $U_D$  wiederrum eine 2-stellige Genauigkeit verwendet.

### 3.3.3 Versuchsdurchführung mit Vollbrücke

In dem dritten Versuchsteil wurde der Versuchsaufbau unter Verwendung der Vollbrücke erprobt. Die Messwerte wurden dann in der untenliegenden Tabelle (siehe Abbildung 3.3.3) protokolliert.

	$I_1 = 100\text{mm}$			$I_2 = 150\text{mm}$		
Gewicht	$U_{\text{OFFSET}} \text{ in mV}$	$U_A \text{ in mV}$	Gewicht	$U_{\text{OFFSET}} \text{ in mV}$	$U_A \text{ in mV}$	Gewicht
G1	110,5	-229,9	3,40	104,3	-410,9	5,15
G2	107,3	-306,2	4,14	105,6	-517,2	6,23
G3	106,5	-371,1	4,78	109,3	-612,6	7,22
G4	107,4	-441,3	5,49	109,7	-713,5	8,23
G5	109,6	-577,1	6,87	114,7	-917,4	10,32

Abbildung 3.3.3 Messwerttabelle Vollbrücke

Bei der Bemessung der Offset- und Ausgangsspannung der Viertelbrückenschaltung, wurde eine 4-stellige Genauigkeit verwendet. Grund hierfür ist, dass die in dem Laborversuch verwendeten Messgeräte eine hohe Genauigkeit unterstützen. Da diese Genauigkeit jedoch für die weitere Auswertung nicht notwendig ist, wurde bei der Diagonalspannung  $U_D$  wiederrum eine 2-stellige Genauigkeit verwendet.

### 3.3.4 Versuchsdurchführung Gewichtsmessung

In diesem Versuchsteil sollten die Massen (in g) der Gewichte, die auf dem Balken eine Biegung erzeugten (siehe Abbildung 3.1.2 und 3.2.1), bestimmt werden. Da jedoch aus unbestimmten Gründen keine Waage verwendet wurde, sollten die Massen aus dem Volumen der Gewichte bestimmt werden. Der Aufbau der Gewichte wird in Abbildung 3.3.4 schematisch verdeutlicht.



Abbildung 3.3.4 Schematische Darstellung der Gewichte und deren Dimensionen

Die Abbildung 3.3.4 zeigt, dass die Gewichte sowie Adapter zylinderförmig sind. Die Durchmesser und Höhen der Zylinder wurden dann mit einem elektrischen Schiebelineal gemessen und in der untenliegenden Tabelle (siehe Abbildung 3.3.5) protokolliert. Mithilfe der Formel für die Masse  $m_{Zylinder}$  des Zylinders wurden dann aus diesen Daten die Massen (in g) der Gewichte berechnet.

$$m_{Zylinder} = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_{Messing}$$

wobei  $r$  = Radius,  $h$  = Höhe und  $\rho_{Messing} = 8,4 \frac{g}{cm^3}$  des Zylinders

Gewicht	Höhe in mm	Durchmesser in mm	Gesamtmasse in g
G1	25	30	124,2
G2	30	30	178,6
G3	35	30	242,9
G4	40	30	317,2
G5	50	30	495,3
Adapter	5	3	0,495

Abbildung 3.3.5 Messwerttabelle der gemessenen Dimensionen der Gewichte

Die etwas seltsamen Gesamtmassen der Zylinder sind auf einer nicht zutreffenden Dichte gewählt. Da Messing eine Legierung beschreibt, die einen Bereich zwischen ca.  $8,4 \frac{g}{cm^3}$  und  $8,7 \frac{g}{cm^3}$  hat, ist es nicht klar welche Dichte das, in diesem Laborversuch verwendete, Messing besitzt. Zudem ist die Methode zur Bemessung des Durchmessers der Gewichte recht ungenau, da es schwierig ist den Mittelpunkt der Runden Flächen am Gewicht Händisch, mit dem Schiebepotentiometer zu finden.

### 3.4 Versuchsauswertung

Um die Messwerte auszuwerten, wird zuerst eine Gleichung aufgestellt, die das Verhältnis zwischen den Diagonalspannungen  $U_D$  der jeweiligen Versuchsaufbauten (siehe Abbildung 3.2.2) und der Massen (siehe Abbildung 3.3.5) darstellt.

Diese Gleichung basiert auf der, in dem Laborskript gegebenen, Rechnung zum Verhältnis zwischen der Biegung und dem DMS Widerstand  $R_{DMS}$ . Diese Gleichung wird in den folgenden Abschnitten verwendet um die Masse der Gewichte zu bestimmen, und mit der aus dem Volumen berechneten Masse verglichen, um die Genauigkeit der DMS zu berechnen.

Aus der Gleichung in Abbildung 3.1.3 ergibt sich mit etwas Umformung das Verhältnis zwischen der Kraft F auf dem Balken und der Widerstandsänderung  $\Delta R_{DMS}$  als:

$$\frac{\Delta R_{DMS}}{R_{0,DMS}} = \frac{6 \cdot l \cdot m \cdot a \cdot K}{b \cdot h^2 \cdot E_{Aluminium}}$$

mit:

$l$  = Länge von DMS

$F = m \cdot a$ ,  $m$  = Masse des Gewichtes,  $a$  = Erdbeschleunigung =  $9,81 \frac{m}{s^2}$

$K$  = K-Faktor des DMS = 2,07 (laut Datenblatt)

$b$  = Breite Balken = 30mm

$h$  = Höhe DMS = 2,1mm

$$E_{Aluminium} = 70 \frac{kN}{mm}$$

Abbildung 3.4.1 Gleichung für Verhältnis zwischen Widerstand und Kraft

### 3.4.1 Versuchsauswertung der Viertelbrücke

Vorerst wird die Gleichung der Diagonalspannung  $U_D$  aus der Viertelbrücke betrachtet (siehe Abbildung 3.2.2):

$$U_D = \frac{U_0}{4} \cdot \left( \frac{\Delta R}{R_0} \right)$$

Wird hier die Gleichung aus der Abbildung 3.4.1 eingesetzt, so erhält man für die Diagonalspannungsabhängige Masse (des Gewichtes)  $m(U_D)$ :

$$m(U_D) = \frac{2 \cdot U_D \cdot b \cdot h^2 \cdot E_{Aluminium}}{3 \cdot l \cdot K \cdot a \cdot U_0}$$

mit:

$$l = \text{Länge DMS}$$

$$F = m \cdot a, m = \text{Masse des Gewichtes}, a = \text{Erdbeschleunigung} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$K = \text{K-Faktor des DMS} = 2,07 \text{ (laut Datenblatt)}$$

$$b = \text{Breite Balken} = 30mm$$

$$h = \text{Höhe DMS} = 2,1mm$$

$$E_{Aluminium} = 70 \frac{kN}{mm}$$

Abbildung 3.4.2 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Viertelbrückenschaltung

Mit dieser Gleichung und den Diagonalspannungswerten aus der Tabelle in Abbildung 3.3.1, konnten die Massen der Gewichte wie folgt berechnet werden:

	Länge 1 = 100mm		Länge 2 = 150mm	
Gewicht	$U_D$ in mV	$m$ in g	$U_D$ in mV	$m$ in kg
G1	0,85	172,29	1,23	166,21
G2	0,96	195,40	1,52	205,39
G3	0,76	154,45	1,7	229,72
G4	1,94	392,61	2,02	272,96
G5	1,54	311,74	2,48	335,12

Abbildung 3.4.3 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Um die Abweichung zu der aus dem Volumen berechneten Masse zu verdeutlichen, wurde die obenliegende Tabelle zusammen mit den berechneten Massen in das untenliegende Diagramm (siehe Abbildung 3.4.4) eingezeichnet:

Diagramm aus Viertelbrückenschaltung Gemessenen vs. Berechneten Massen der Gewichte

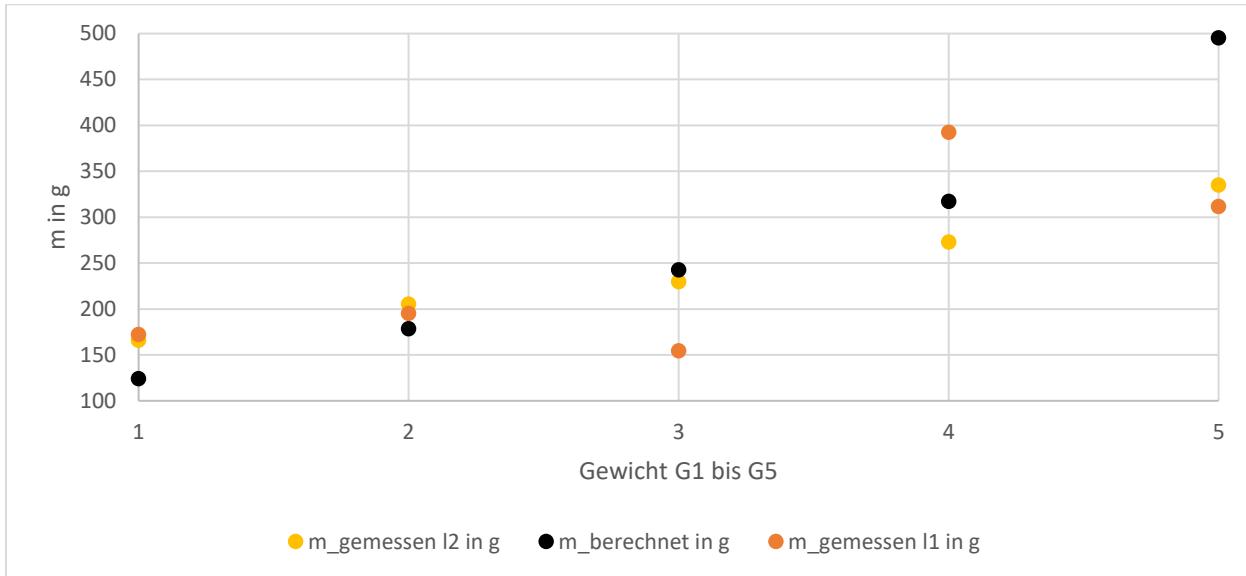


Abbildung 3.4.4 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Das Diagramm in Abbildung 3.4.4 verdeutlicht, dass vor allem bei den Größeren Massen, eine recht große Abweichung zu der berechneten Masse vorhanden ist. Da die Werte jedoch weitgehend übereinstimmen, wird davon ausgegangen, dass die Messwerte an sich zuverlässig sind und dass Abweichungen auf Ungenauigkeiten des DMS und des Aufbaus zurückzuführen sind. Trotzdem sind Messungenauigkeiten nicht auszuschließen.

Interessanterweise sind die Abweichungen zu der berechneten Masse, sowie zwischen den unterschiedlichen Längen, sporadisch. Diese sporadischen Unterschiede verhindern eine weitere Kalibrierung zur Auswertung der resultierenden Masse, da die Proportionalität von dem Widerstandswert des DMS zum Gewicht bzw. zur Dehnung ungenau ist.

Zudem ist sichtbar, dass die Abweichungen bei der geringeren Länge kleiner sind als bei der größeren Länge. Möglicherweise sind diese DMS bei größeren Dehnungen weniger präzise, sodass bei der Länge  $l_2 = 150\text{mm} > l_1 = 100\text{mm}$  mehr Abweichungen entstehen.

### 3.4.2 Versuchsauswertung der Halbbrücke

Vorerst wird die Gleichung der Diagonalspannung  $U_D$  aus der Halbbrücke betrachtet (siehe Abbildung 3.2.2):

$$U_D = \frac{U_0}{4} \cdot \left( \frac{\Delta R}{R_0} \right)$$

Wird hier die Gleichung aus der Abbildung 3.4.1 eingesetzt, so erhält man für die Diagonalspannungsabhängige Masse (des Gewichtes)  $m(U_D)$ :

$$m(U_D) = \frac{U_D \cdot b \cdot h^2 \cdot E_{Aluminium}}{3 \cdot l \cdot K \cdot a \cdot U_0}$$

mit:

$l$  = Länge von DMS

$F = m \cdot a$ ,  $m$  = Masse des Gewichtes,  $a$  = Erdbeschleunigung =  $9,81 \frac{m}{s^2}$

$K$  = K-Faktor des DMS = 2,07 (laut Datenblatt)

$b$  = Breite Balken = 30mm

$h$  = Höhe DMS = 2,1mm

$E_{Aluminium} = 70 \frac{kN}{mm}$ .

Abbildung 3.4.5 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Halbbrückenschaltung

Mit dieser Gleichung und den Diagonalspannungswerten aus der Tabelle in Abbildung 3.3.2, konnten die Massen der Gewichte wie folgt berechnet werden:

<b>Gewicht</b>	<b>Länge 1 = 100mm</b>		<b>Länge 2 = 150mm</b>	
	<b><math>U_D</math> in mV</b>	<b><math>m</math> in g</b>	<b><math>U_D</math> in mV</b>	<b><math>m</math> in g</b>
<b>G1</b>	1,69	171,68	3,90	263,70
<b>G2</b>	1,96	198,33	2,85	192,76
<b>G3</b>	2,37	240,29	3,49	236,07
<b>G4</b>	2,51	253,87	3,98	268,97
<b>G5</b>	3,31	335,35	5,11	345,39

Abbildung 3.4.6 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Um die Abweichung zu der aus dem Volumen berechneten Masse zu verdeutlichen, wurde die obenliegende Tabelle zusammen mit den berechneten Massen in das untenliegende Diagramm (siehe Abbildung 3.4.7) eingezeichnet:

Diagramm aus Halbbrückenschaltung Gemessenen vs. Berechneten Massen der Gewichte

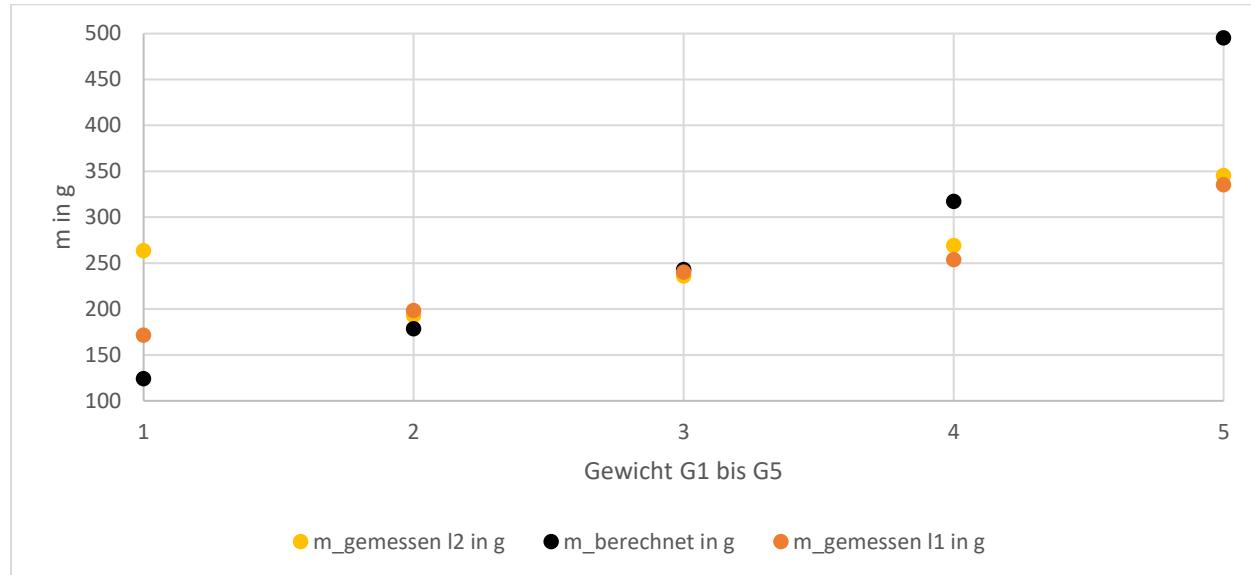


Abbildung 3.4.7 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Das Diagramm in Abbildung 3.4.7 zeigt die recht große Abweichung der Messwerte zu den berechneten Massen (in g) der Gewichte. Die Werte stimmen jedoch trotzdem mit den Berechneten Werten für die Massen (in g) der Gewichte überein sodass von einer erfolgreichen Versuchsdurchführung auszugehen ist.

Anders als bei der Viertelbrückenschaltung sind die Werte der Halbbrückenschaltung wesentlich proportionaler zu dem Berechneten Gewicht. Zudem ähneln sich die Messwerte der verschiedenen Längen  $l_2 = 150\text{mm}$  und  $l_1 = 100\text{mm}$ , sodass von einer deutlich höheren Zuverlässigkeit auszugehen ist.

Dies bestätigt die Vermutung, dass die Halbbrückenschaltung deutlich präziser ist, als die Viertelbrückenschaltung, da hier mehr DMS eingesetzt wurden, was wiederum die jeweiligen Ungenauigkeiten der DMS verringert.

### 3.4.3 Versuchsauswertung der Vollbrücke

Nun wird die Gleichung der Diagonalspannung  $U_D$  aus der Vollbrücke betrachtet (siehe Abbildung 3.2.2):

$$U_D = \frac{2 \cdot U_0 \cdot \Delta R}{R_0}$$

Wird hier die Gleichung aus der Abbildung 3.4.1 eingesetzt, so erhält man für die Diagonalspannungsabhängige Masse (des Gewichtes)  $m(U_D)$ :

$$m(U_D) = \frac{U_D \cdot b \cdot h^2 \cdot E_{Aluminium}}{12 \cdot l \cdot K \cdot a \cdot U_0}$$

mit:

$l$  = Länge von DMS

$F = m \cdot a$ ,  $m$  = Masse des Gewichtes,  $a$  = Erdbeschleunigung =  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$K$  = K-Faktor des DMS = 2,07 (laut Datenblatt)

$b$  = Breite Balken = 30mm

$h$  = Höhe DMS = 2,1mm

$E_{Aluminium} = 70 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$ .

Abbildung 3.4.8 Gleichung für Diagonalspannung und Masse des Gewichtes bei Vollbrückenschaltung

Mit dieser Gleichung und den Diagonalspannungswerten aus der Tabelle in Abbildung 3.3.2, konnten die Massen der Gewichte wie folgt berechnet werden:

<b>Gewicht</b>	<b>Länge 1 = 100mm</b>		<b>Länge 2 = 150mm</b>	
	<b><math>U_D</math> in mV</b>	<b><math>m</math> in g</b>	<b><math>U_D</math> in mV</b>	<b><math>m</math> in g</b>
<b>G1</b>	3,40	86,25	5,15	87,02
<b>G2</b>	4,14	104,77	6,23	105,20
<b>G3</b>	4,78	121,01	7,22	121,94
<b>G4</b>	5,49	139,02	8,23	139,05
<b>G5</b>	6,87	173,99	10,32	174,33

Abbildung 3.4.9 Tabelle der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Um die Abweichung zu der aus dem Volumen berechneten Masse zu verdeutlichen, wurde die obenliegende Tabelle zusammen mit den berechneten Massen in das untenliegende Diagramm (siehe Abbildung 3.4.9) eingezzeichnet:

Diagramm aus Vollbrückenschaltung Gemessenen vs. Berechnete Massen der Gewichte

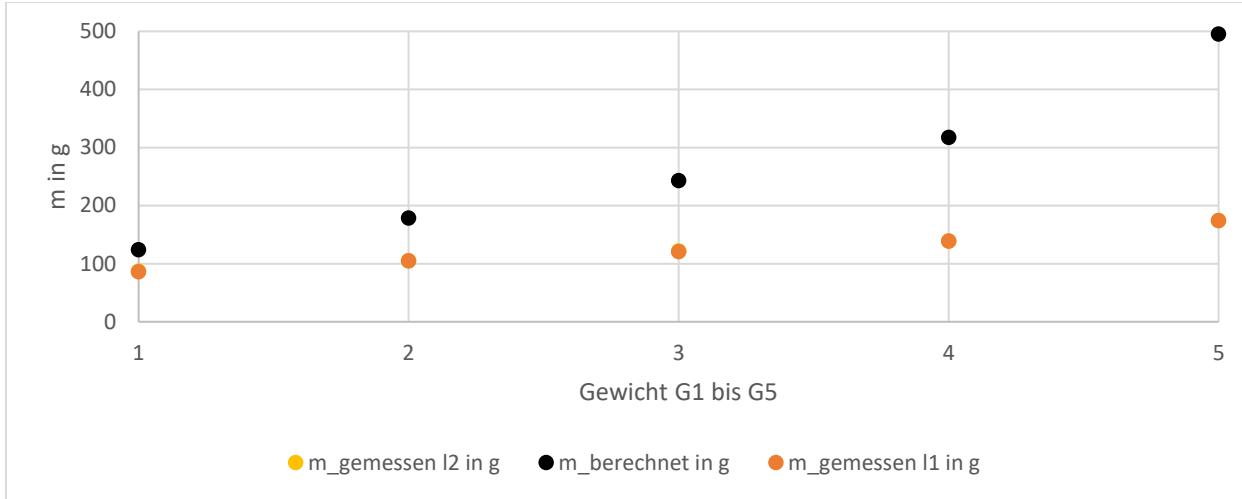


Abbildung 3.4.10 Diagramm der aus der Diagonalspannung berechneten Massen der Gewichte

Bei der Vollbrückenschaltung ist eine, im Verhältnis zu der Halb- und Viertelbrückenschaltung, gleichmäßige Abweichung zu sehen. Die aus der Vollbrücke erfassten Messwerte für die Masse der Gewichte betragen (durchschnittlich) ungefähr die Hälfte der berechneten Werten der Massen. Daher wurden die gemessenen Werte mit einem zusätzlichen Kompensationsfaktor  $K_{zus} = 2$  multipliziert, und in dem folgenden Diagramm (siehe Abbildung 3.4.11) eingetragen.

Diagramm aus Gemessenen und Kompensierten vs. Berechnete Massen der Gewichte

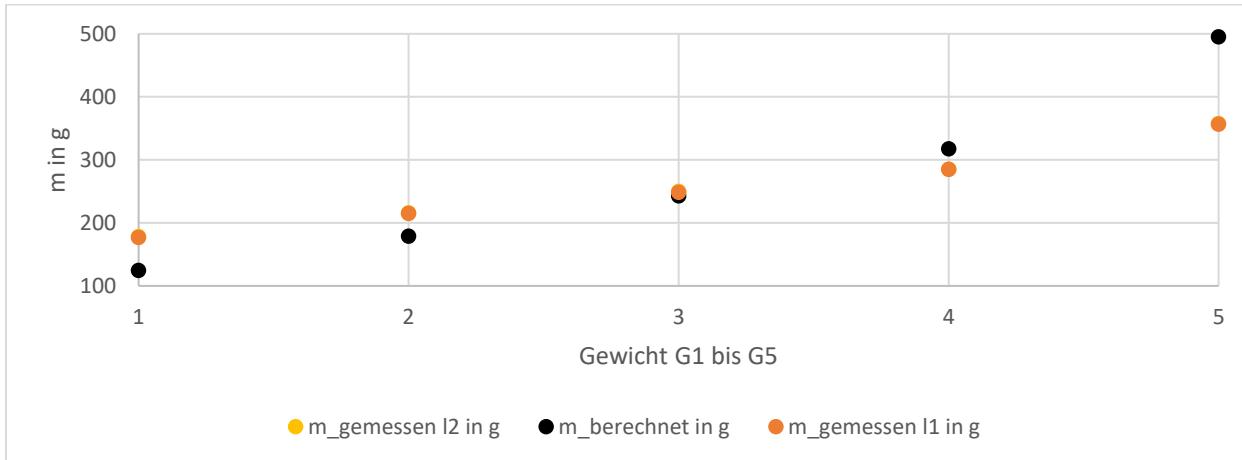


Abbildung 3.4.11 Diagramm der berechneten Massen der Gewichte mit zusätzlichem K-faktor

Sichtbar ist, dass die Abweichung mit dem zusätzlichen Faktor nun deutlich geringer ist als bei der Halb- und Viertelbrücke. Mit einem etwas größeren Kalibrierverfahren, woraus mehr Daten entstehen würden, könnte ein präziseres Ergebnis erzielt werden, woraus eine zuverlässigere Masse berechnet werden könnte.



### 3.5 Vergleich der Brückenschaltungen

Die Versuchsergebnisse verdeutlichen, dass die Vollbrückenschaltung mit 4 DMS die zuverlässigste Methode ist, ein Gewicht aus einer Biegung zu berechnen. Die Halb- und Viertelbrückenschaltungen weisen eine jeweils geringere Präzision auf. Dieses Ergebnis ist auf der Anzahl der DMS zurückzuführen. Desto mehr DMS in die Schaltung eingesetzt werden, desto höher die Präzision. Das liegt daran, dass sich die Abweichung der DMS gegenseitig ausgleichen, und vor allem, dass die Dehnung zusammen mit der Streckung erfasst wird.

Die Versuchsergebnisse verdeutlichen jedoch auch, dass die, in diesem Laborversuch verwendeten, Dehnmessstreifen recht unpräzise sind, und größere Abweichungen bei größerer Dehnung aufweisen. Daher würde es sich bei einem praktischen Einsatz bieten, möglichst viele DMS einzusetzen, und ein umfangreiches Kalibrierprotokoll zu erstellen, woraus ein genauerer Kompensationsfaktor bestimmt werden kann.

Trotzdem eignen sich Dehnmessstreifen für den Einsatz in Bereichen, wo eine geringe Anforderung an Präzision vorliegt, da sie eine (wenn auch ungenaue) proportionales Verhältnis zur Biegung aufweisen. Ihre einfache und kompakte Bauform macht Sie leicht einsetzbar und relativ günstig.

Labor Sensorik SS22  
Vorgelegt von:  
Martin Determann  
Matrikelnummer 70474565

## Abbildungsverzeichnis

[1] Prof. Dr. Sabbert, D., & Dipl.-Ing. Quednau, R. (2021, März 15). Versuchsanleitung zum 3. Laborversuch Sensorik und Aktorik. Wolfsburg; Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften Fakultät Fahrzeugtechnik.

Zudem stammen alle Messdaten aus der vorgegebenen Online-Aufzeichnung, die von Prof. Dr. Sabbert präsentiert und zur Verfügung gestellt wurde.