

Durchführung: 01.12.2017  
Abgabe: 08.12.2017

## PRAKTIKUMSPROTOKOLL V301

# LEERLAUFSPANNUNG UND INNENWIDERSTAND VON SPAN- NUNGSQUELLEN

Carolin Harkort<sup>1</sup>,  
Jacqueline Schlingmann<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>carolin.harkort@tu-dortmund.de

<sup>2</sup>jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

# 1 Zielsetzung

Das Ziel des Versuchs ist es Leerlaufspannung und Innenwiderstände von verschiedenen Spannungsquellen zu messen.

# 2 Theorie

Eine Spannungsquelle ist ein Gerät, welches über einen langen Zeitraum konstante Leistung liefert. In Abbildung 1 ist das Schaltbild einer realen Spannungsquelle gestrichelt dargestellt, welche aus einem Innenwiderstand  $R_i$  besteht, der mit der Spannungsquelle in Reihe geschaltet ist. Als Leerlaufspannung  $U_0$  wird die Spannung bezeichnet, die an den Ausgangsklemmen gemessen wird, wenn die Innenwiderstände  $R_i = 0$  sind. Fließt über einen äußeren Lastwiderstand  $R_a$  ein endlicher Strom  $I$  wird die sogenannte Klemmspannung  $U_k$  gemessen. Mit dem zweiten Kirchhoffschen Gesetz

$$\sum_i U_i = 0 \quad (1)$$

sowie mit dem Ohmschen Gesetz  $U = R \cdot I$  folgt für die Leerlaufspannung

$$U_0 = I(R_i + R_a) \quad (2)$$

und somit für die Klemmspannung

$$U_k = IR_a = U_0 - IR_i. \quad (3)$$

Für die Messung der Leerlaufspannung wird ein hochohmiges Voltmeter verwendet, weshalb der fließende Strom gering ist. Deshalb gilt für die Leerlaufspannung  $U_k \approx U_0$ . Die Innenwiderstände beschränken die Leistung der Spannungsquelle. Durch

$$N = I^2 R_a = N(R_a) \quad (4)$$

wird die abgegebene Leistung an den Lastwiderstand  $R_a$  beschrieben. Für  $R_a = R_i$  wird  $R_a$  so angepasst, dass die Leistung  $N$  maximal ist.

Bei elektrischen Generatoren ist der Innenwiderstand durch Rückkopplungsmechanismen festgelegt. Somit bestimmen Änderungen des Belastungsstromes das elektrische Verhalten der Spannungsquelle. In diesem Fall muss der Innenwiderstand als differentielle Größe betrachtet werden:

$$R_i = \frac{dU_k}{dI} \quad (5)$$

### 3 Aufbau und Durchführung

Im ersten Teil des Versuchs wird die Leerlaufspannung einer Monozelle mit ihrem zugehörigen Eingangswiderstand  $R_i$  an einer Schaltung wie in Abbildung 1 bestimmt.

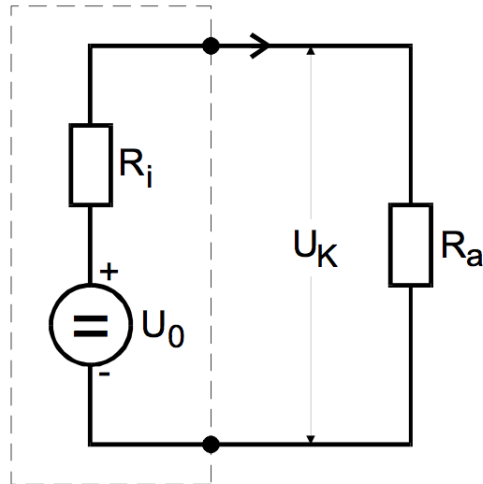


Abbildung 1: Schaltbild einer realen Spannungsquelle

Im zweiten Teil des Versuchs wird der Schaltkreis wie in Abbildung 2 mit einem Amperemeter und einem regelbaren Widerstand erweitert. Hierbei kann der Widerstand zwischen  $0-50\Omega$  variiert werden. In Abhängigkeit des Belastungsstroms  $I$  wird die Klemmspannung  $U_k$  gemessen.

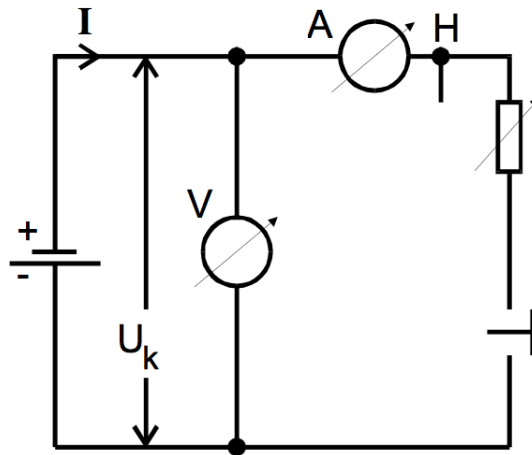


Abbildung 2: Schaltung zur Bestimmung der Klemmspannung

Durch die Erweiterung mit einer in Reihe geschalteten Gegenspannung, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, wird erneut die Klemmspannung  $U_k$  in Abhängigkeit des Stromes  $I$  bestimmt. Der Strom fließt nun in die entgegengesetzte Richtung. Daraus folgt für die Klemmspannung

$$U_k = U_0 + IR_i. \quad (6)$$

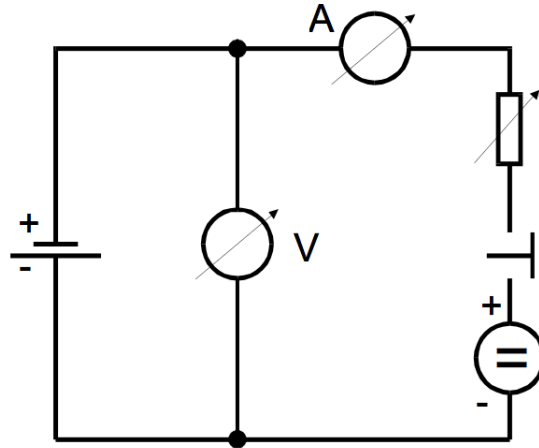


Abbildung 3: Schaltung mit Gegenspannung

Die Abbildung 1 wird anschließend für erneute Messung von  $U_k$  verwendet. Als Messobjekt werden eine Sinus- und Rechteckspannung angelegt. Der regelbare Widerstand beträgt dabei für die Sinusspannung  $0.1 - 5 \text{ k}\Omega$  und für die Rechteckspannung  $20 - 250 \Omega$ .

## 4 Auswertung

Zu Anfang wird die Leerlaufspannung einer Monozelle bestimmt und der Innenwiderstand vom Amperemeter abgelesen.

$$U = 1,47 \text{ V}$$

$$R_I = 10 \text{ M}\Omega$$

Im folgenden werden für die drei Spannungsquellen die Spannung  $U_0$  und der Widerstand  $R_i$  bestimmt. Dafür werden die gemessenen Werte für die Klemmspannung  $U_k$  gegen die Werte für den Strom  $I$  aufgetragen. Diese Werte sind in den Tabellen (1), (2), (3) und (4) zu finden. Der Wert für die Steigung der folgenden linearen Ausgleichsgraden, beschreibt den Wert des Innenwiderstandes. Die Verschiebung auf der y-Achse beschreibt den Wert für  $U_0$

#### 4.1 Monozelle ohne Gegenspannung

Die Werte für  $R_i$  und  $U_0$  für eine Monozelle ohne Gegenspannung, werden wie oben beschrieben ermittelt und lauten:

$$R_i = (15,60 \pm 0,16) \Omega \quad (7)$$

$$U_0 = (1,519 \pm 0,008) \text{ V} \quad (8)$$

Die Regression ist in Abbildung (4) zu sehen.

Tabelle 1: Messwerte für eine Monozelle ohne Gegenspannung

$I/A$	$U/V$
0,092	0,09
0,070	0,42
0,059	0,60
0,0495	0,75
0,043	0,84
0,037	0,93
0,033	1,02
0,029	1,05
0,027	1,11
0,024	1,14
0,023	1,17

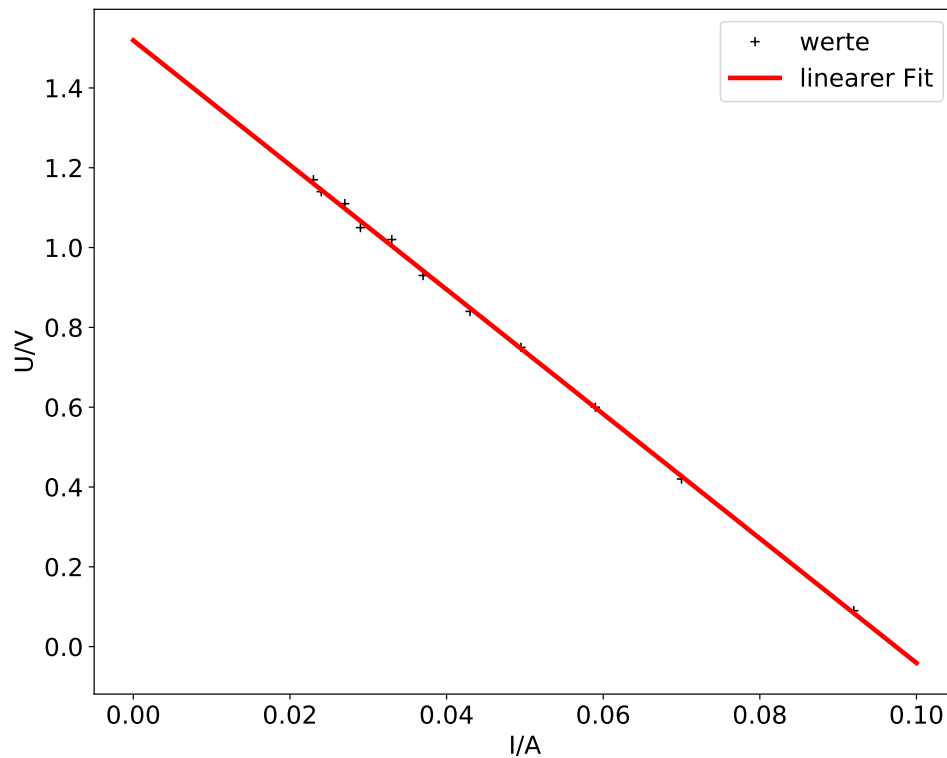


Abbildung 4: Monozelle ohne Gegenspannung

## 4.2 Monozelle mit Gegenspannung

Ist an der Monozelle eine Gegenspannung angelegt, ergeben sich folgende Werte für  $R_i$  und  $U_0$ :

$$R_i = (4,80 \pm 0,22) \, \Omega$$

$$U_0 = (0,467 \pm 0,013) \, \text{V}$$

Die lineare Regression ist in Abbildung (5) gezeigt.

Tabelle 2: Messwerte für eine Monozelle mit Gegenspannung

$I/mA$	$U/V$
99	0,96
91	0,87
68	0,81
58	0,75
51	0,72
46	0,69
41	0,66
37	0,64
34	0,63
33	0,62

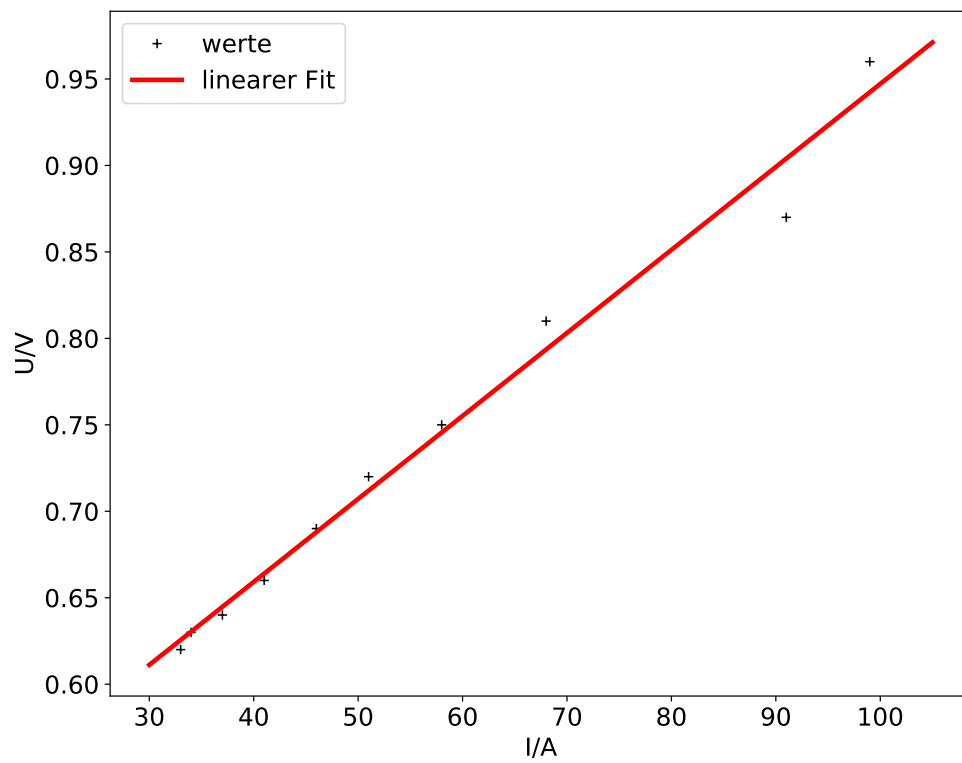


Abbildung 5: Monozelle mit Gegenspannung

### 4.3 Rechteck- und Sinusspannung

Für die Rechteck- und Sinusspannung wird die Regression und die Bestimmung von  $U_0$  und  $R_i$  ebenfalls wie oben bestimmt. Für die Rechteckspannung lauten die Werte:

Tabelle 3: gemessene Werte zur Rechteckspannung

$I/mA$	$U/V$
8,0	0,19
7,1	0,23
5,7	0,32
4,4	0,38
3,6	0,42
3,2	0,45
2,8	0,47
2,5	0,49
2,2	0,50
2,0	0,52
1,8	0,53

$$R_i = (54,8 \pm 0,8) \Omega$$

$$U_0 = (0,6249 \pm 0,0034) V$$

Die Regression ist in Abbildung (6) zu sehen.



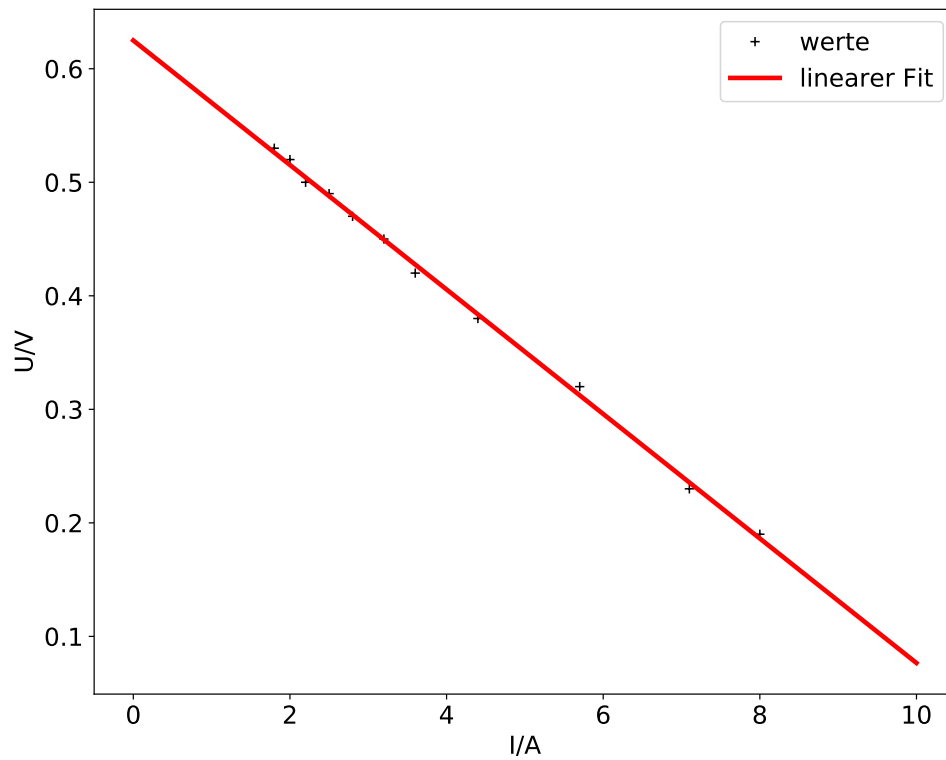


Abbildung 6: Monozelle ohne Gegenspannung

Tabelle 4: gemessene Werte zur Sinusspannung

$I/mA$	$U/V$
0,97	0,41
0,66	0,62
0,50	0,73
0,39	0,81
0,34	0,85
0,28	0,88
0,24	0,91
0,20	0,94
0,18	0,96
0,16	0,97

Die Werte für die Sinusspannung lauten:

$$R_i = (693 \pm 5) \Omega$$

$$U_0 = (1,0795 \pm 0,0024) \text{ V}$$

die lineare Regression ist in Abbildung (7) gezeigt.

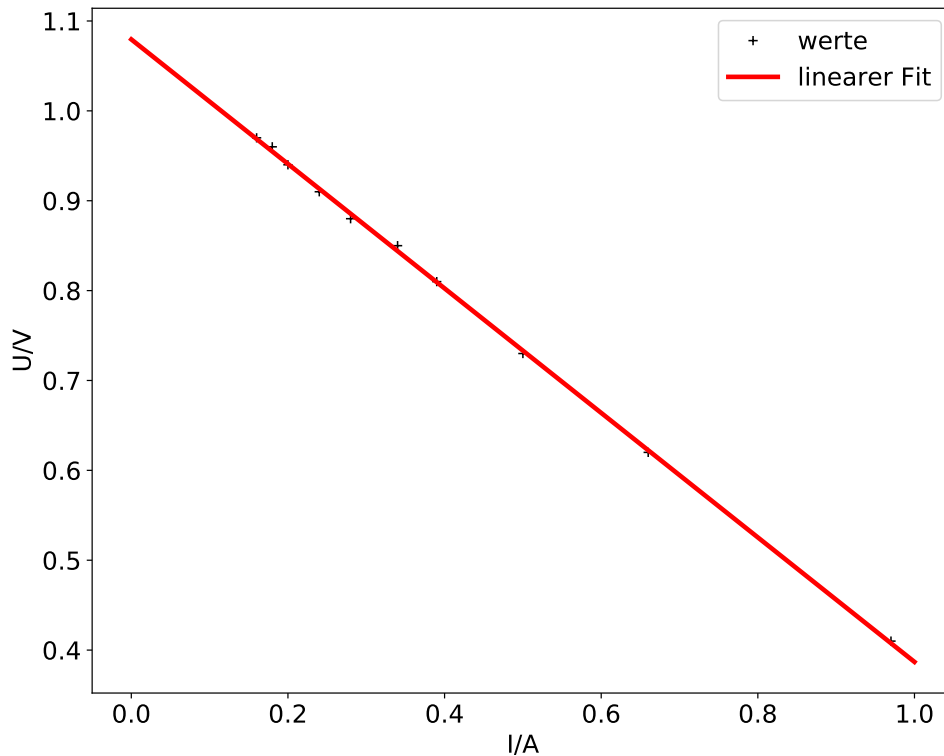


Abbildung 7: Monozelle ohne Gegenspannung

Die verwendeten Messwerte sind in den Tabellen (3) und (4) zu finden.

#### 4.4 Systematischer Fehler der $U_0$ Messung

Der systematische Fehler der  $U_0$ -Messung entsteht aufgrund des Eigenwiderstandes des verwendeten Voltmeters. Dieser wird vom Gerät abgelesen und liegt bei  $10 \text{ M}\Omega$ . Der Fehler wird mit der Formel

$$\Delta U = U_K \cdot \frac{R_i}{R_v} := f \quad (9)$$

berechnet.  $U_K$  ist die Klemmspannung und wurde zu Anfang abgelesen. Sie liegt bei  $1,47\text{ V}$ .

$R_i$  entspricht den in 8 berechneten Innenwiderstand.

Der Fehler ergibt sich durch Formel:

$$\Delta f = \frac{U_K}{R_v} \cdot \Delta R_i$$

Somit berechnet sich der Fehler zu

$$\Delta U = (2,2932 \pm 0,0235) \cdot 10^{-6}\text{ V}.$$

#### 4.5 Im Belastungswiderstand umgesetzte Leistung der Monozelle

Die im Belastungswiderstand umgesetzte Leistung wird ermittelt, indem  $U \cdot I$  gegen  $U/I$  aufgetragen wird. Die Werte sind in Tabelle (5) zu finden. In Abbildung (8) sind die

Tabelle 5: n

$I/A$	$U/V$	$(U \cdot I)/W$	$(U/I)/\Omega$
0,092	0,09	0,0083	0,978
0,070	0,42	0,0294	6,00
0,059	0,60	0,0354	10,17
0,0495	0,75	0,0371	15,15
0,043	0,84	0,0361	19,53
0,037	0,93	0,0344	25,14
0,033	1,02	0,0337	30,90
0,029	1,05	0,0305	36,21
0,027	1,11	0,0299	41,11
0,024	1,14	0,0274	47,50
0,023	1,17	0,0269	50,87

Werte aufgetragen. Außerdem wurde eine Theoriekurve mit der Formel

$$N(R_a) = \frac{U_0^2 \cdot R_a}{(R_i + R_a)^2}$$

eingefügt, um systematische Fehler zu ermitteln.

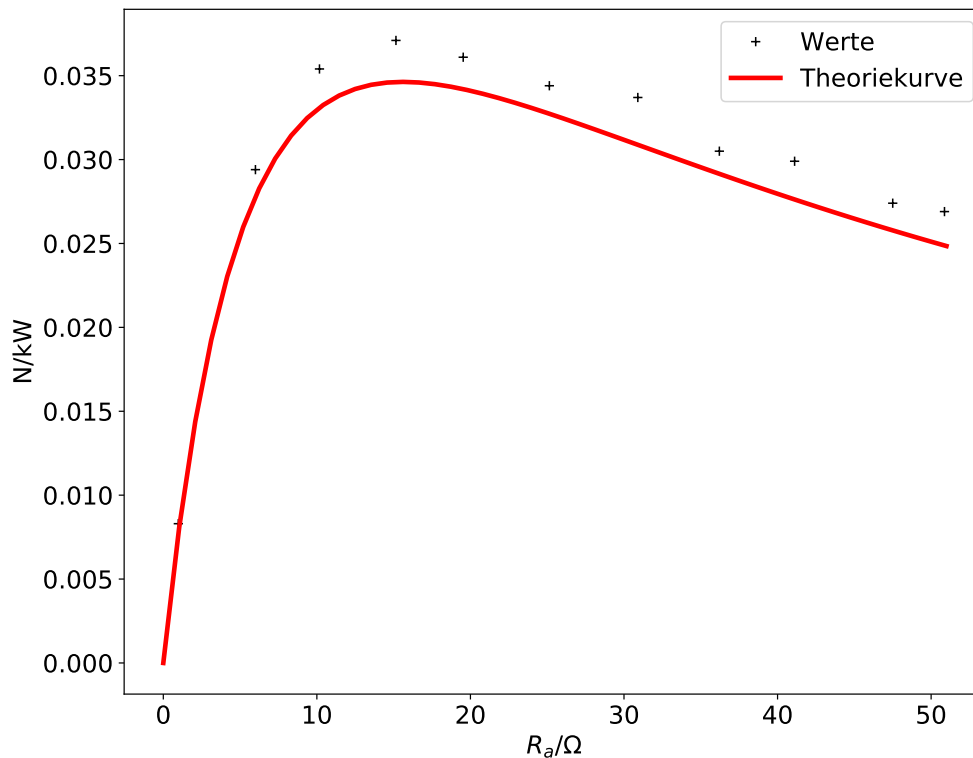


Abbildung 8: Leistungsabfall am Belastungswiderstand

Die meisten Messwerte liegen über der Kurve. Allerdings liegt die Abweichung bei ca.  $0,002 V$ , sodass nicht davon auszugehen ist, dass ein systematischer Fehler gemacht wurde. Das Maximum der Kurve liegt vor, wenn  $R_a = R_i$  und stimmt sehr gut mit den gemessenen Werten überein.

## 5 Diskussion

In den Abbildungen der linearen Regressionen ist gut zu erkennen, dass die Messwerte gegenüber der Ausgleichsgrade nur leicht Abweichen und im Bereich der Messungenauigkeiten liegen. Somit ist davon auszugehen, dass keine größeren systematischen Fehler begangen wurden. Es fällt allerdings auf, dass die gemessene Spannung  $U_0$  und der Widerstand  $R_i$  einer Monozelle mit Gegenspannung sehr klein sind. Dieses Ergebnis wurde nicht erwartet und könnte an einem Fehler im Aufbau der Schaltung liegen. Das Amperemeter sollte hinter das Voltmeter geschaltet werden. Wird dieses andersherum

aufgebaut, wirkt der Eigenwiderstand des Amperemeter und verringert den Wert der Messung sehr stark.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 301*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V301.pdf> (besucht am 06.12.2017).