

V301 Leerlaufspannung und Innenwiderstand von Spannungsquellen

Alina Landmann, alina.landmann@tu-dortmund.de
Jannine Salewski, jannine.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 24.11.2017

Abgabe: 1.12.2017

TU Dortmund - Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Ziel des Versuchs ist es, die **Leerauspannung** und den **Innenwiderstand** verschiedener Spannungsquellen zu ermitteln.

2 Theorie

Die **Leerlaufspannung** U_0 ist die gemessene Spannung an einer Spannungsquelle, wenn durch diese kein Strom läuft. Die Spannung U_0 wird direkt an der Klemmen der Spannungsquelle abgenommen. Wenn nun ein Verbraucher mit dem Lastwiderstand R_a in den Stromkreis eingebaut wird, dann erhält man die "Klemmspannung" U_k , die ebenfalls direkt an den Klemmen der Spannungsquelle abgenommen wird. Für diese Spannung gilt

$$U_k < U_0 .$$

Mit dem zweiten Kirchhoffschen Gesetz

$$\sum_n U_{0_n} = \sum_m R_m I_m$$

folgt für die dargestellte Situation

$$U_0 = I R_i + I R_a .$$

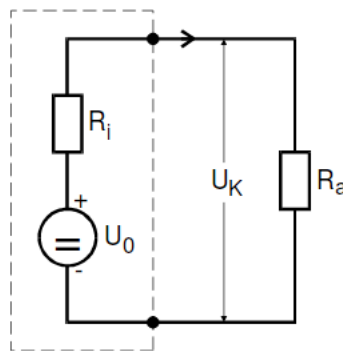


Abbildung 1: Schaltbild einer idealen Spannungsquelle mit Außenwiderstand R_i und Lastwiderstand R_a [1].

Damit ist auch die Beziehung

$$U_k \approx U_0$$

für die Leerlaufspannung gezeigt, da für diesen Fall in (2) I vernachlässigbar klein wird. Für diese Betrachtungsweise ist die Spannungsquelle eine sogenannte ideale Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand von 0 und einem in Reihe geschalteten Außenwiderstand R_i , der den Innenwiderstand simuliert.

Bei einem RC-Generator wird durch die Änderung des Belastungsstroms das elektrische Verhalten der Quelle festgelegt. In diesem Fall ist der Innenwiderstand eine differentielle Größe mit

$$R_i = \frac{dU_k}{dI} . \quad (1)$$

Für eine Schaltung mit einer Gegenspannung größer als U_0 gilt

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

3 Durchführung

Zunächst wird die Klemmspannung der Spannungsquelle gemessen, hierzu wird das Voltmeter direkt an die Spannungsquelle angeschlossen.

Im nächsten Teil des Versuchs wird die ein veränderlicher Widerstand an die Spannungsquelle angeschlossen, wie in Abbildung (???) dargestellt. Zu messen ist die Spannung U und die Stromstärke I . Es werden 10 Wertepaare für unterschiedliche Widerstände aufgenommen. Dies wird für 3 Spannungsquellen durchgeführt (Gleich-, Sinus- und Rechteckspannung). Für die Gleichspannung wird ein Widerstand zwischen 0-50 Ω erwendet, für die Sinusspannung ein Widerstand zwischen 20-250 Ω und für die Rechteckspannung einen Widerstand zwischen 0,1-5 k Ω

Im letzten Teil des Experiments wird für die Gleichspannung eine Gegenspannung angeschlossen und erneut die Spannung U und die Stromstärke I gemessen.

4 Auswertung

Zur Bestimmung von U_0 und R_i der drei verschiedenen Spannungsquellen mittels linearer Regressionen und dem Zusammenhang $U_k = U_0 - IR_i$ werden jeweils die gemessenen Werte für die Klemmspannung U_k und die Messwerte für I gegeneinander aufgetragen. Der Steigungswert der Geraden, die durch python ausgegeben wird, entspricht dabei dem Wert des Innenwiderstandes, der ausgegebene Wert für den y-Achsenabschnitt liefert den Wert für die Leerlaufspannung.

4.1 Monozelle ohne und mit Gegenspannung

Die, wie zuvor beschrieben, ermittelten Werte für die Leerlaufspannung und den Innenwiderstand der Monozelle ohne Gegenspannung lauten:

$$R_i = (17,21 \pm 0,22)\Omega$$
$$U_0 = (1,599 \pm 0,011)V$$

Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Leerlaufspannung und des Innenwiderstands der Monozelle

I / mA	U / V
94	0,00
73	0,33
60	0,56
51	0,70
44	0,86
38	0,93
34	1,00
31	1,06
28	1,13
26	1,16
24	1,20

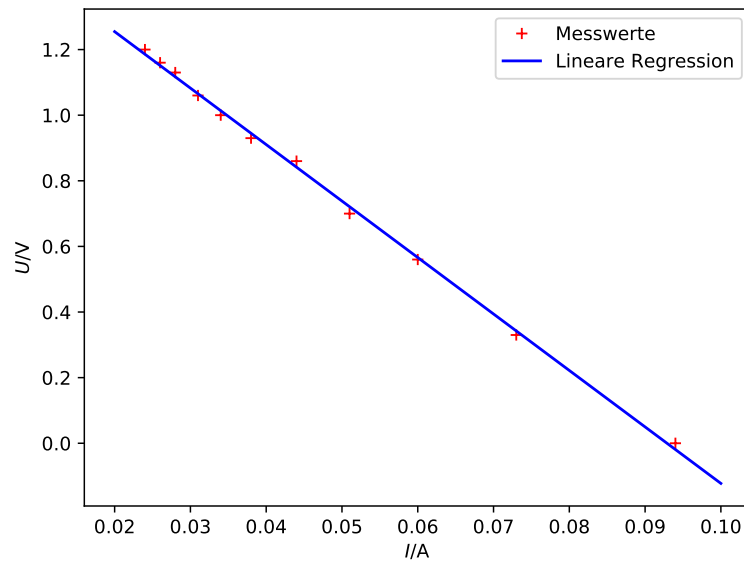


Abbildung 2: Die Messwerte für die Klemmspannung an der Monozelle wurden gegen die gemessene Stromstärke aufgetragen.

Wird eine Gegenspannung der Spannung der Monozelle entgegengesetzt, so ergibt sich aus den genommenen Messwerten ?? die in ?? zu sehende Regression und folgende Werte für die Leerlaufspannung und den Innenwiderstand:

$$R_i = (14,3 \pm 1,3)\Omega$$

$$U_0 = (1,59 \pm 0,08)V$$

Tabelle 2: Messwerte für die Klemmspannung und den Strom bei zugeschalteter Gegenspannung

I / mA	U / V
96	3,06
82	2,85
86	2,61
59	2,49
52	2,37
46	2,25
42	2,19
39	2,13
35	2,10
34	2,07

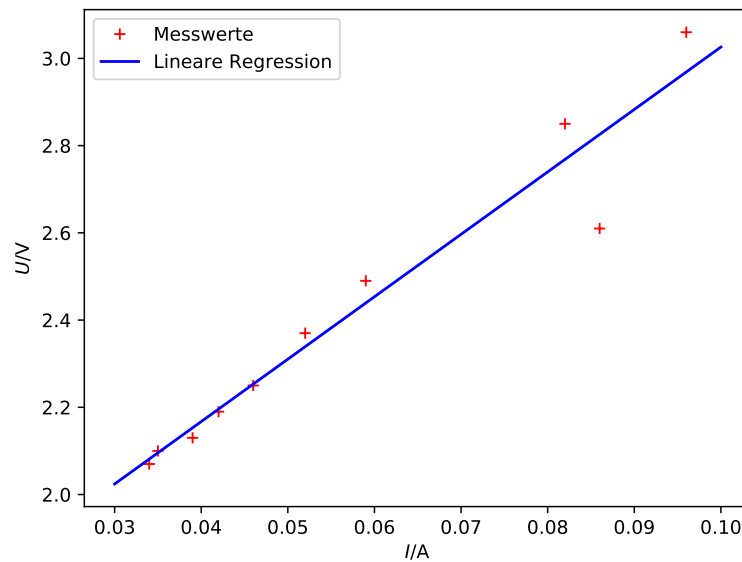


Abbildung 3: lineare Regression zur Bestimmung der Leerlaufspannung und des Innenwiderstandes der Monozelle bei zugeschalteter Gegenspannung

Es zeigt sich, dass die Abweichung der experimentell ermittelten Werte im Bereich der Messungenauigkeit liegen.

4.2 Rechteck- und Sinusspannung

Analog zu den beiden bereits durchgeführten Regressionen erfolgt die Ermittlung der Leerlaufspannung und des Innenwiderstandes einer Rechteck- und einer Sinusspannung. Zunächst wurde dies für die Rechteckspannung durchgeführt. In ?? ist die lineare Regression zu sehen, die auf Grundlage der Messwerte aus ?? entstanden ist. Für die Leerlaufspannung und den Innenwiderstand der Rechteckspannung ergeben sich:

$$R_i = (55,1 \pm 0,6) \Omega$$

$$U_0 = (0,6277 \pm 0,0028) V$$

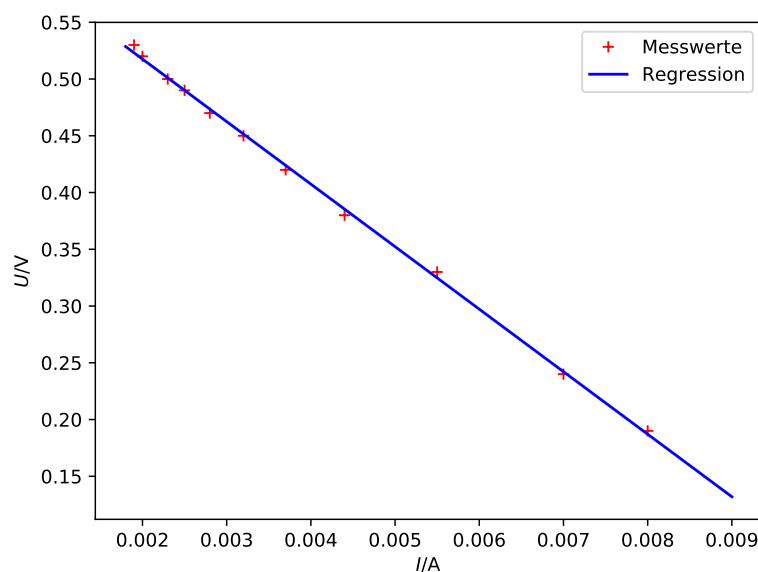


Abbildung 4: Regression zur Ermittlung von U_0 und R_i einer Rechteckspannung

Die Leerlaufspannung und der Innenwiderstand des Sinusspannungsgenerators betragen

$$R_i = (683 \pm 7) \Omega$$

$$U_0 = (1,0774 \pm 0,0034) V.$$

Die lineare Regression, die diese Werte lieferte, ist in ?? zu sehen. Die Messwerte, aus denen der Fit erstellt wurde, wiederum in ??.

Tabelle 3: Messwerte zur Regression, die in ?? dargestellt ist.

I / mA	U / V
8	0,19
7	0,24
5.5	0,33
4.4	0,38
3.7	0,42
3.2	0,45
2.8	0,47
2.5	0,49
2.3	0,50
2.0	0,52
1.9	0,53

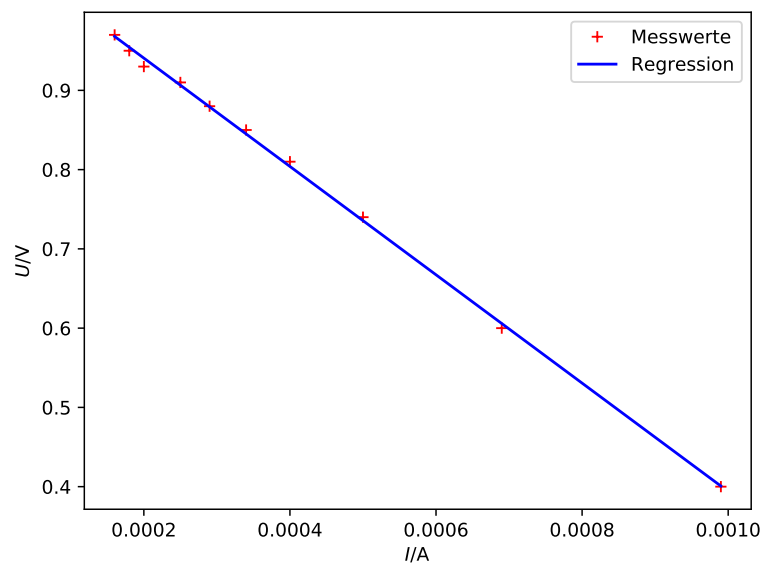


Abbildung 5: Regression zur Ermittlung von U_0 und R_i einer Sinusspannung

Tabelle 4: Messwerte zur Regression, die in ?? dargestellt ist.

I / mA	U / V
0,99	0,40
0,69	0,60
0,50	0,74
0,40	0,81
0,34	0,85
0,29	0,88
0,25	0,91
0,20	0,93
0,18	0,95
0,16	0,97

Beide Fehler, der experimentell ermittelten Werte für R_i und U_0 liegen im Bereich der Messungenauigkeit.

4.3 Direkte Messung der Leerlaufspannung der Monozelle

Da das Voltmeter einen endlichen Eingangswiderstand R_v von $10 \text{ M}\Omega$ besitzt, folgt daraus, dass ein systematischer Fehler bei der direkten Messung von U_0 auftritt. ΔU wird berechnet, indem die Klemmspannung von der Leerlaufspannung abgezogen wird. Daraus folgt die Formel:

$$U_0 - U_k = \Delta U = U_k \frac{R_i}{R_v}.$$

Der Fehler für den Spannungsunterschied wird nach Anwendung von Gauß mit folgender Formel berechnet:

$$f(R_i) = \frac{U_k}{R_v} \Delta R_i$$

Die gemessene Klemmspannung U_k betrug $1,63 \text{ V}$, woraus sich zusammen mit dem zuvor experimentell bestimmten Wert für R_i folgender Wert für den Fehler ergibt:

$$\Delta U = (16,83 \pm 0,36) \cdot 10^{-7} \text{ V}$$

Dieser Wert ist so gering, dass die direkte Messung der Leerlaufspannung an der Monozelle als genau betrachtet werden kann.

Ein im Vergleich zur direkten Messung von U_0 signifikanter, systematischer Fehler entsteht, würde das Voltmeter in der Schaltung hinter das Amperemeter gelegt. Da das hier verwendete Amperemeter einen sehr großen Widerstand besitzt, um die Strommessung nicht zu beeinflussen, fiel die Spannung hierüber deutlich ab und die erst danach gemessene Klemmspannung, wäre somit um einiges verringert.

4.4 Leistungsabfall am Belastungswiderstand

Die Leistung, die bei der Monozelle im Belastungswiderstand umgesetzt wird, wird ermittelt, indem die Werte für $U_k \cdot I$ gegen $R_a = \frac{U_k}{I}$ gegeneinander aufgetragen werden. Die durch die Messdaten beschriebene Kurve wird mit der Theoriekurve für die Leistung $N(R_a) = \frac{U_0^2 R_a}{(R_i + R_a)^2}$ verglichen, um eventuelle systematische Fehler zu ermitteln. Jedoch liegen die Messwerte alle recht nah an der Theoriekurve, weshalb nicht davon auszugehen ist, dass systematische Fehler gemacht wurden. Messwerte und Theoriekurve sind in ?? zu sehen.

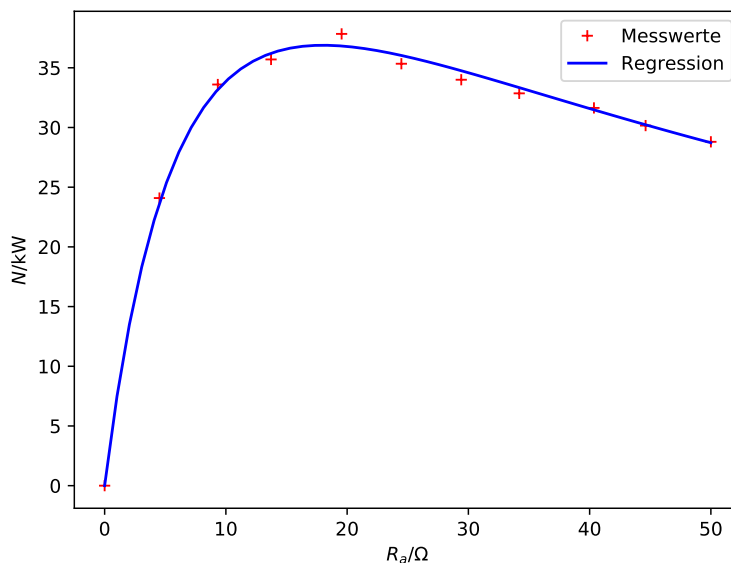


Abbildung 6: Leistungsabfall am Belastungswiderstand.

5 Diskussion

In den Graphiken ist deutlich zu sehen, dass die Messwerte und deren Fehler stets im Bereich der Messungenauigkeit lagen. Es ist daher davon auszugehen, dass keine größeren systematischen Fehler begangen wurden. Ein Vorgehen, das zu ungenaueren Messwerten führen kann, ist das Umstellen der Skala der Messgeräte für Strom und Spannung. Da darauf jedoch im Vorfeld des Versuchs hingewiesen wurde, wurde stets darauf geachtet, dass beim Messen kein Umstellen der Skala von Nöten war. Der vergleichbar große Widerstand für die Sinusspannung im Vergleich zur Rechteckspannung könnte daran liegen, dass die Amplitude bei den Messungen für die Sinusspannung maximal eingestellt war, bei der Rechteckspannung war dieser jedoch nur auf halber Stufe.

6 Literaturverzeichnis

1. Versuchsanleitung Leerlaufspannung und Innenwiderstand von Spannungsquellen:
[http://129.217.224.2 /HOME PAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V301.pdf](http://129.217.224.2/HOME PAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V301.pdf)
(27.11.2017, 17:34 Uhr)