

Versuch 26

Kennlinien von Glühlampen, Z-Diode und Transistor

Sascha Hankele
sascha@hankele.com

Kathrin Alpert
kathrin.alpert@uni-ulm.de

durchgeführt am 22. Juni 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen	3
1.1	Das Drude Modell	3
1.2	Energiebändermodell	4
1.3	Dotierte Halbleiter	7
1.3.1	n-Dotierung	7
1.3.2	p-Dotierung	8
1.4	p-n-Übergänge	9
1.5	Diode	9
1.6	Zener-Diode	10
1.7	Transistor	11
2	Versuchsbeschreibung	12
2.1	Lampenkennlinien	12
2.2	Kennlinie einer Zener-Diode	12
2.3	Stabilisierungsschaltung	13
2.4	Transistorkennlinien	13
3	Versuchsauswertung	13
3.1	Glühlampen	13
3.2	Diodenkennlinie	16
3.3	Spannungsstabilisierungsschaltung	18
3.4	Transistorkennlinien	19
3.5	Fehlerbetrachtung	21

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Das Drude Modell

1.2 Energiebändermodell

1.3 Dotierte Halbleiter

1.3.1 n-Dotierung

1.3.2 p-Dotierung

1.4 p-n-Übergänge

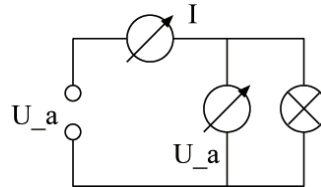
1.5 Diode

1.6 Zener-Diode

1.7 Transistor

2 Versuchsbeschreibung

2.1 Lampenkennlinien

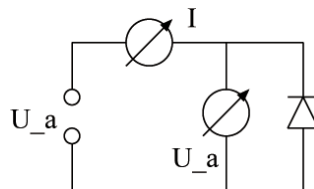


Lampenschaltung

Obige Abbildung zeigt die Schaltung mit der die $I(U)$ -Kennlinien einer Metallfadenlampe und einer Kohlefadenlampe gemessen werden. Mit steigender Stromstärke I nimmt die Leistung P zu. Die Glühwendeltemperatur steigt.

Der Widerstand (Steigung der Kurve $R = \frac{U}{I}$) der Metallfadenlampe nimmt mit steigender Temperatur zu. Bei der Kennlinie der Kohlefadenlampe lässt sich das typische Halbleiterverhalten erkennen. Mit zunehmender thermischer Energie steigt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen im Leitungsband und somit der Leitwert. Daher nimmt der Widerstand ab.

2.2 Kennlinie einer Zener-Diode

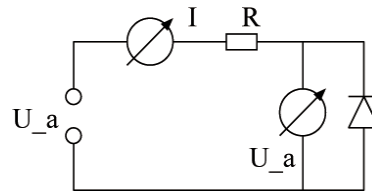


Schaltung Z-Diode

In den folgenden Versuchen wird mit einem stabilisierten Gleichspannungsnetzgerät gearbeitet. Die $U(I)$ -Kennlinien werden in Sperr- und Durchlassrichtung durch Messen von U und I wie in obiger Abbildung ermittelt. Bei allen Versuchen ist auf die Grenzwerte der Bauteile zu achten ($I_{max} = 100\text{mA}$ bzw. $P_{max} = 250\text{mW}$). Zu erwarten ist, dass in Durchlassrichtung ab einem Schwellenwert von ca. 0.6V die Diode den Strom, abgesehen von einem gewissen Widerstand, problemlos durchlässt.

Anders sieht es dagegen in Sperrichtung aus. Die Kennlinie wird Arbeitskennlinie genannt. Die Diode sperrt hier bis zu einer bestimmten Spannung, die wesentlich höher als in Durchlassrichtung ist, um den Strom danach schlagartig nahezu komplett durchzuleiten.

2.3 Stabilisierungsschaltung

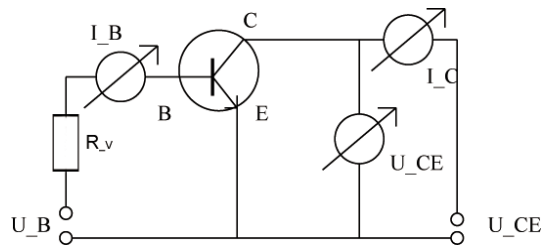


Stabilisierungsschaltung

Die Spannungsstabilisierungsschaltung wird mit einem Vorwiderstand $R_V = 1M\Omega$ aufgebaut, mit dem eine Maximalspannung von $U_{0max} = 20V$, sowie ein Maximalstrom nicht überschritten werden sollte.

Man misst die Abhängigkeit U_Z von U_0 und bestimmt daraus den Stabilisierungsfaktor $\frac{\Delta U_0}{\Delta U_Z}$.

2.4 Transistorkennlinien



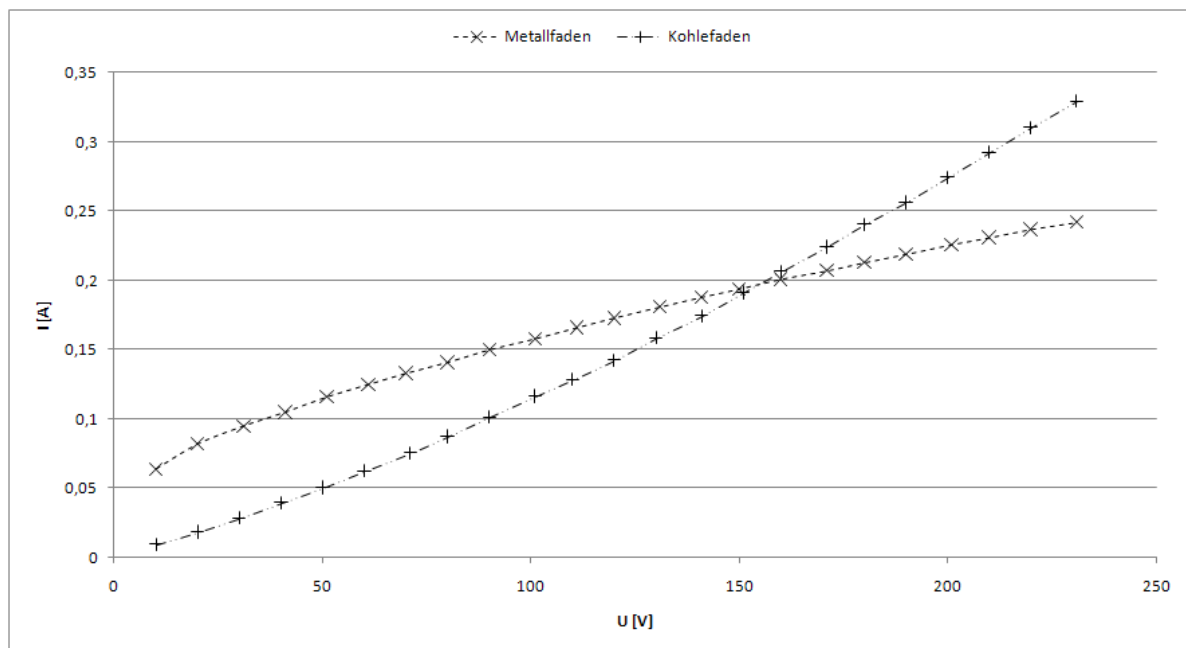
Schaltung Transistor

Wie in obiger Abbildung wird die Schaltung zur Bestimmung von Transistorkennlinien aufgebaut. Nun wird I_C als Funktion von U_{CE} gemessen, wobei I_B für unterschiedliche Kennlinien variiert wird.

3 Versuchsauswertung

3.1 Glühlampen

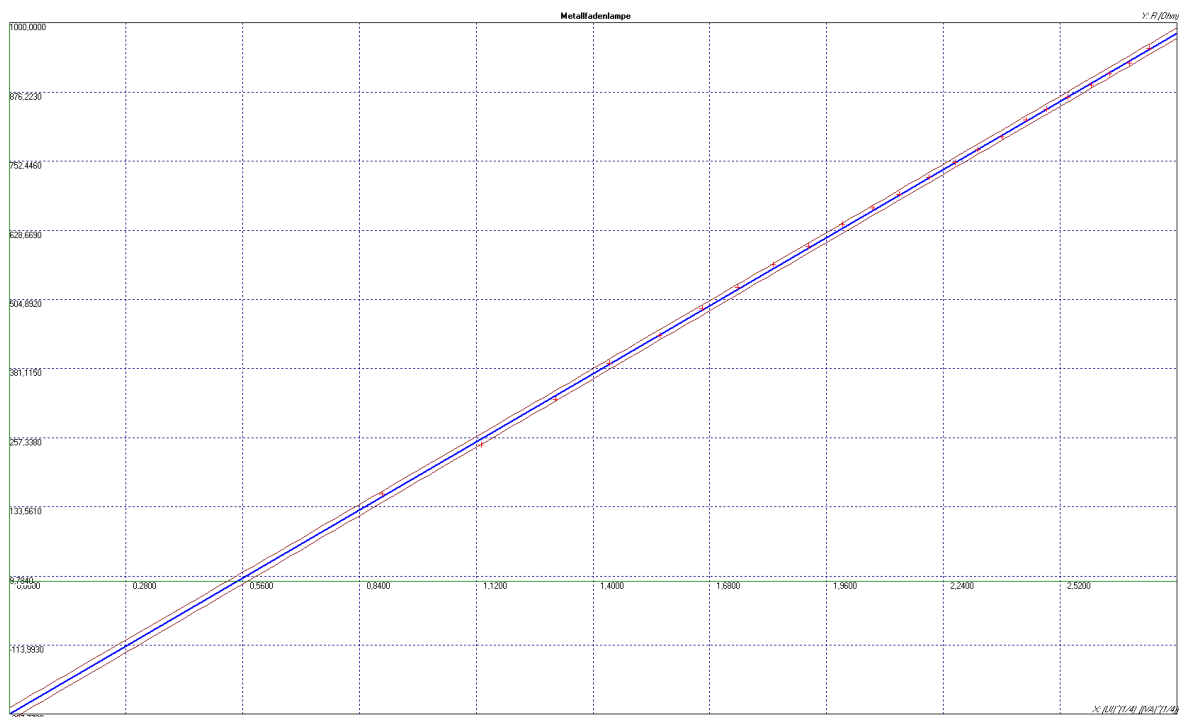
Die Auftragung der U und I-Wertepaare der Metall- und Kohlefadenlampe ergibt folgendes Diagramm:



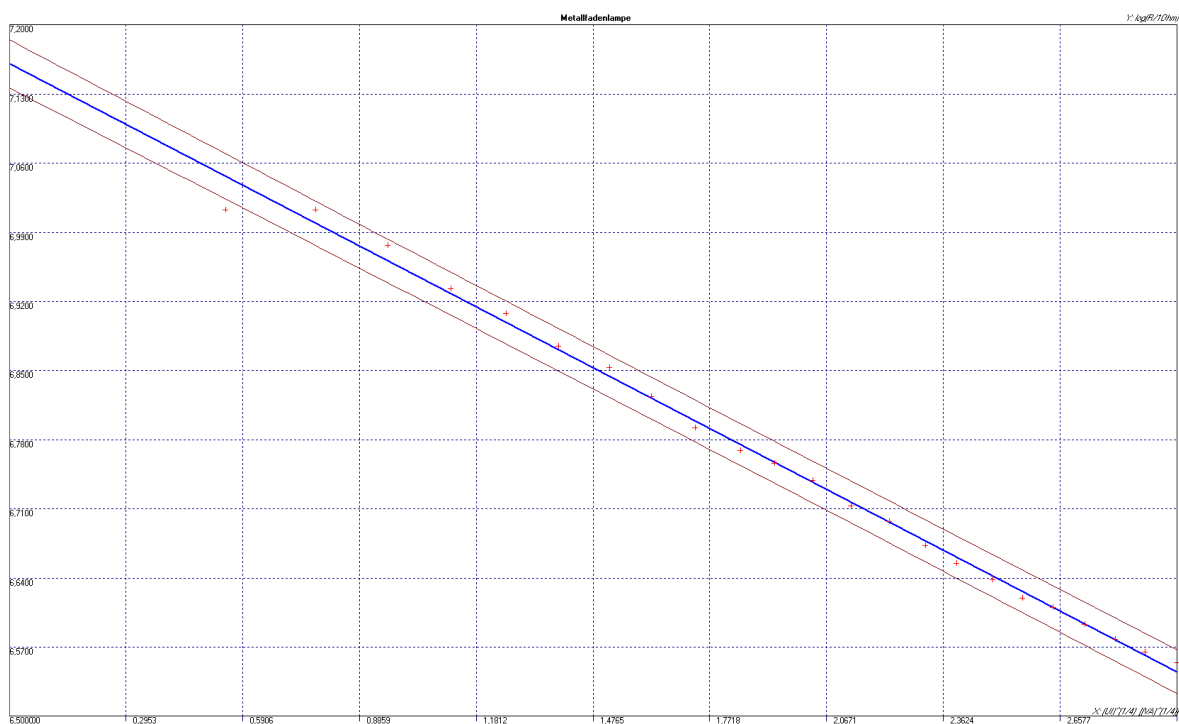
Kennlinien der Glühlampen

Man erkennt, dass die Kurve des Kohlefadens steiler wird, wohingegen die des Metallfadens abflacht. Dieses Verhalten folgt aus dem unterschiedlichen Verhalten der Widerstände bei steigender Temperatur.

Es gilt $\sqrt[4]{UI} \sim T$ nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz. Damit ergeben sich folgende Diagramme:



Metallfadenlampe



Kohlefadenlampe

Aus den Diagrammen zeigt sich, dass der Widerstand für einen Metallfaden bei steigender Temperatur linear steigt, für einen Kohlefaden exponentiell sinkt. Bei Metall ergibt sich

folgende Ausgleichsgerade:

$$R = (435,5279 \pm 1,7331) \frac{\Omega}{\sqrt[4]{VA}} \cdot \sqrt[4]{UI} + (-237,7698 \pm 4,2502) \Omega \quad (1)$$

Durch halblogarithmischen Auftrag des Widerstands erhält man eine Gerade. Damit gilt für den Widerstand:

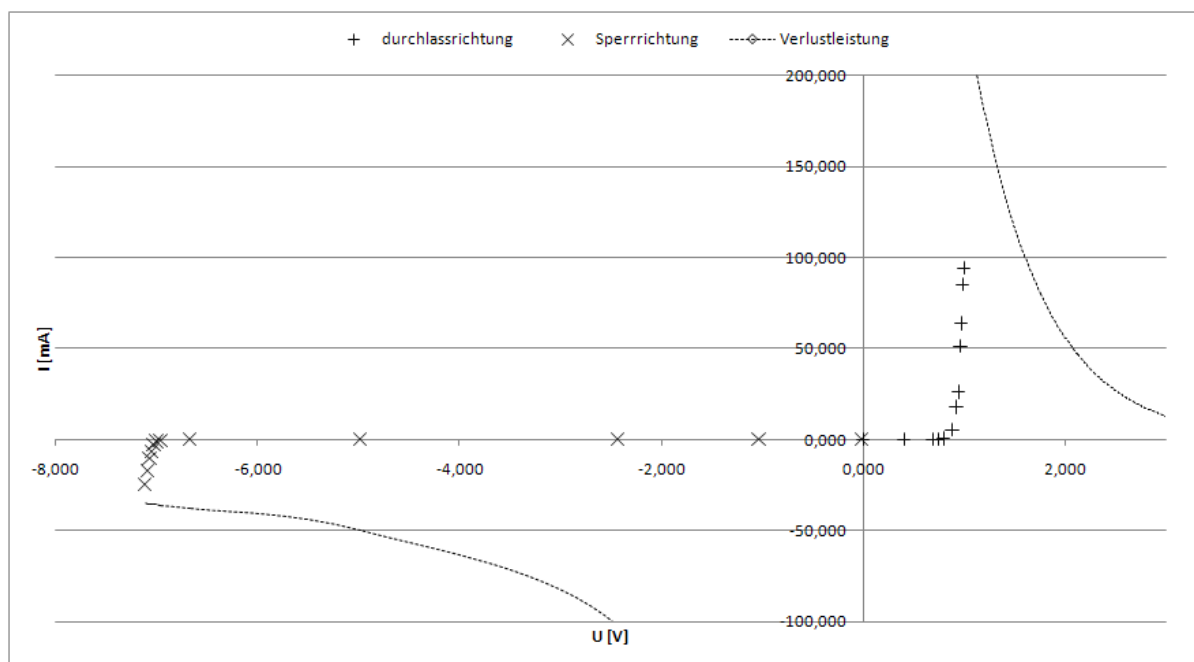
$$\log R = (-0,2084 \pm 0,0030) \frac{\log \Omega}{\sqrt[4]{VA}} \cdot \sqrt[4]{UI} + (7,1606 \pm 0,0100) \log \Omega \quad (2)$$

Fehlerbetrachtung Die Fehler wurden mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Die Fehler der Regressionsgeraden sind Standardabweichungen. Zusätzlich wurde das Vertrauensband der Geraden mit $s=95\%$ eingezeichnet.

Insgesamt ergeben sich in beiden Fällen Geraden mit geringer Abweichung, was die vermuteten Gesetzmäßigkeiten bekräftigt.

3.2 Diodenkennlinie

Im folgenden Diagramm ist die $I(U)$ -Kennlinie der Zenerdiode in Durchlass- und Sperrrichtung aufgetragen. Zusätzlich ist die Verlustleistungshyperbel $I = \frac{P_{MAX}}{U} = \frac{250mW}{U}$ eingezeichnet:



Kennlinie der Zenerdiode

Halblogarithmischer Auftrag der Durchlasskennlinie und Arbeitskennlinie ergibt:

Die Ausgleichsgeraden lauten:

$$\log I_{\text{Durchlass}}/1\text{mA} = (27,9366 \pm 0,3455) \frac{1}{V} \cdot U + (-23,2337 \pm 0,0864)$$

$$\log I_{\text{Arbeits}}/1\text{mA} = (-26,5060 \pm 1,8957) \frac{1}{V} \cdot U + (-185,2109 \pm 0,2527)$$

Fehlerbetrachtung Die Kennlinien entsprechen dem erwarteten Verlauf, d.h. einem exponentiellen Ansteigen des Stroms nach übersteigen der Durchbruchspannung.

3.3 Spannungsstabilisierungsschaltung

Bei der Schaltung wurde ein Widerstand $R = 349\Omega$ verwendet. Das Ende der Stabilität liegt bei $U_0 = 7,06V$. Bei niedrigerer Spannung U_0 bricht U_Z stark ein. Damit ergibt sich der Stabilisierungsfaktor:

$$S = \frac{\Delta U_0}{\Delta U_Z} = \frac{|U_{0,MAX} - U_{0,MIN}|}{|U_{Z,MAX} - U_{Z,MIN}|} = 92,357 \pm 0,926$$

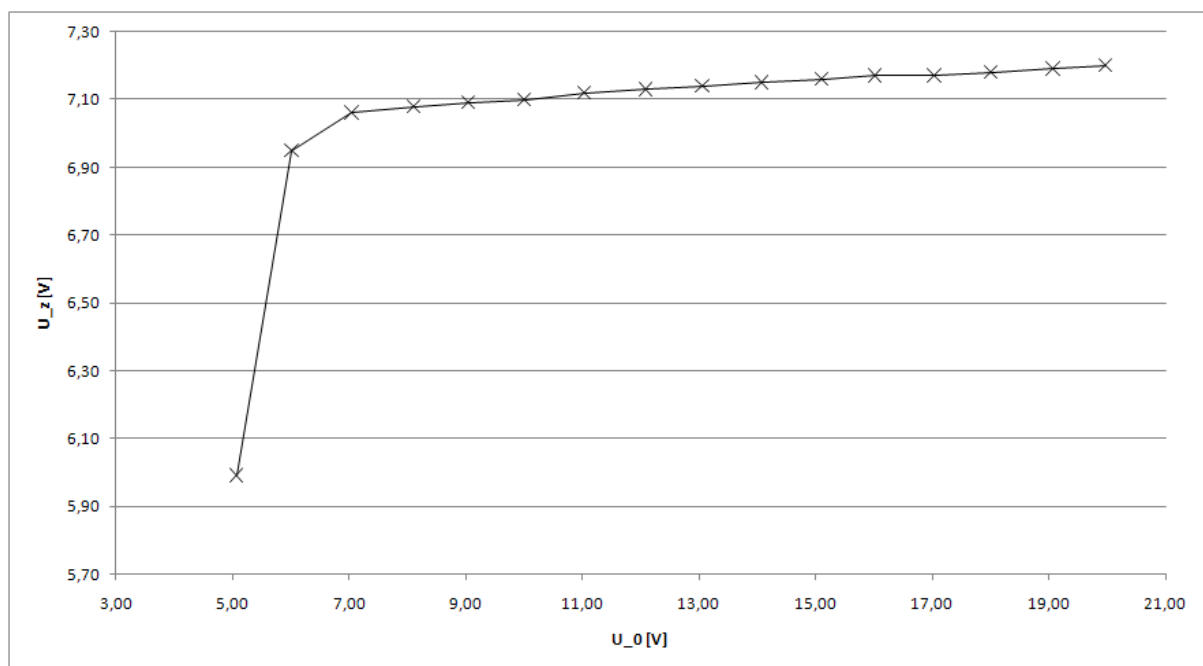
Der Fehler wurde per Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet (Notation ohne Δ):

$$\Delta S = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_0}{U_Z}\right)^2 + \left(\frac{U_0 \Delta U_Z}{U_Z^2}\right)^2} \quad (3)$$

Die Tabelle mit den Messwerten:

$U_0[V]$	$I[mA]$	$U_Z[V]$
5,07	0,00	5,99
6,02	0,40	6,95
7,05	3,00	7,06
8,11	6,00	7,08
9,04	8,60	7,09
10,01	11,30	7,10
11,04	14,30	7,12
12,09	17,20	7,13
13,06	19,90	7,14
14,08	22,80	7,15
15,10	25,70	7,16
16,02	28,20	7,17
17,04	31,10	7,17
18,01	33,80	7,18
19,07	36,80	7,19
19,98	39,40	7,20

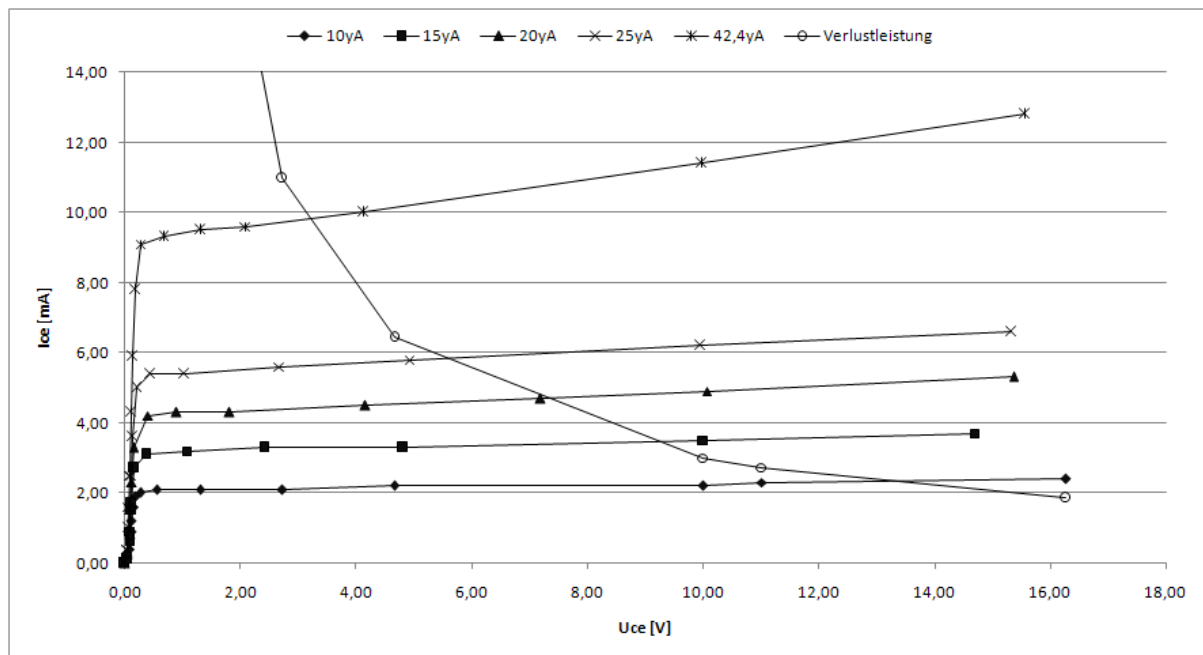
Diagramm der Stabilisierungsschaltung:



Stabilisierungsschaltung

3.4 Transistorkennlinien

Im folgenden Diagramm sind die verschiedenen Kennlinien für I_{BE} aufgetragen:



Transistorkennlinie

Die Ausgangswiderstände bei $U_{CE} = 10V$ betragen:

$$r_{10} = (4545,45 \pm 206,66) \Omega; \quad I_{BE} = 10 \mu A \quad (4)$$

$$r_{15} = (2857,14 \pm 81,68) \Omega; \quad I_{BE} = 15 \mu A \quad (5)$$

$$r_{20} = (2053,06 \pm 41,95) \Omega; \quad I_{BE} = 20 \mu A \quad (6)$$

$$r_{25} = (1606,45 \pm 25,96) \Omega; \quad I_{BE} = 25 \mu A \quad (7)$$

$$r_{42} = (875,44 \pm 7,73) \Omega; \quad I_{BE} = 42,4 \mu A \quad (8)$$

Die Kleinstromverstärkung bei $U_{CE} = 10V$ beträgt:

$$\beta = \frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_{BE}} = 283,95 \pm 3,21$$

Die Tabelle mit den Werten befindet sich im Anhang. Die Fehler wurden per Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet (Notation ohne Δ):

$$\Delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\Delta I_{CE}}{I_{BE}}\right)^2 + \left(\frac{I_{CE}\Delta I_{BE}}{I_{BE}^2}\right)^2} \quad (9)$$

3.5 Fehlerbetrachtung

Als Fehler wurde in den einzelnen Versuchsteilen jeweils die Ablesegenauigkeit der verwendeten Digitalmultimeter benutzt.

Insgesamt stimmen die Messungen qualitativ gut mit dem erwarteten Verhalten überein. Die Kurven entsprechen den theoretisch erwarteten Kurven.

Fehlerquellen bei der Messung, die in der Ablesegenauigkeit der Digitalmultimeter unberücksichtigt bleiben sind Schwankungen in der Gleichspannungsversorgung sowie die nicht mit in die Rechnungen einbezogenen Widerstände der verwendeten Kabel.

Quellen

[1] W. Demtröder, Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik, Axel Springer Verlag, 2006

[2] W. Walcher, Praktikum der Physik, Stuttgart, 1989

[3] David R. Lide , CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84. Auflage, 2003

[4] J. Krause, J. Grehn, Metzler Physik, Schroedel Verlag GmbH, Hannover 2004

Anmerkung: Alle Vergleichswerte stammen von [3]