

Versuchsauswertung:

Widerstandskennlinien

(P2-51,52)

Christian Buntin, Jingfan Ye

Gruppe Mo-11

Karlsruhe, 7. Juni 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstands	2
2	Spannungsabhängigkeit bei Edelmetallwiderständen	2
2.1	Spannungsabhängigkeit eines Edelmetallwiderstands	2
2.2	Widerstand einer handelsüblichen Glühlampe	4
2.3	Widerstand einer Kohlefadenlampe	4
3	Diodenkennlinien	5
3.1	Siliziumdiode	6
3.2	Zenerdiode	7
3.3	Germaniumdiode	8
3.4	Varistor	9
4	Diodenkennlinie eines Varistors mittels punktweiser Messung	9
5	Tunneldiode	10
5.1	Diodenkennlinie einer Tunneldiode	10
5.2	Sprungverhalten des Stromes	10
5.3	Spannungsüberhöhung und Schwingungen	11

1 Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstands

Mittels einer Wheatstoneschen Brückenschaltung haben wir den elektrischen Widerstand eines Halbleiterwiderstands bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Mit unserer Brückenschaltung folgt aus den abgelesenen Werten R_1 des Potentiometers ($R_{\text{ges}} = 10 \text{ k}\Omega$) mit dem Referenzwiderstand $R_3 = 100 \Omega$ für den gesuchten Widerstand R des Halbleiterwiderstands:

$$\frac{R_1}{R_{\text{ges}} - R_1} = \frac{R}{R_3} \quad \Leftrightarrow R = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_{\text{ges}} - R_1}$$

Da sich der Widerstand bei längerem Stromfluss schnell erwärmt hat, wurde immer nur kurz mittels eines Tasters überprüft, ob die beiden Knoten zwischen den Widerständen auf gleichem Potential lagen und die Stellung des Potentiometers gegebenenfalls angepasst.

Für den Widerstandsverlauf wurde der funktionale Zusammenhang $R(T) = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$ erwartet, mit der absoluten Temperatur T (in Kelvin) des Widerstands. Da

$$\ln R = \ln a + b \cdot \frac{1}{T}$$

ist, haben wir zur Bestimmung von a und $b \cdot \frac{1}{T}$ über $\ln R$ aufgetragen und eine lineare Regression durchführen lassen (Abbildung 1 auf der nächsten Seite). Dabei entspricht die Steigung der Ausgleichsgeraden dem Faktor b und deren y-Achsenabschnitt dem natürlichen Logarithmus von a .

Damit erhalten wir dann für die Koeffizienten $a = 2264 \frac{1}{\text{K}}$ und $b = e^c = 0,072 \Omega$, womit für den Widerstand R folgt:

$$R(t) = 0,072 \Omega \cdot e^{(2264 \text{ K}^{-1} \cdot \frac{1}{T})}$$

Dieser Verlauf ist noch einmal in Abbildung 2 auf der nächsten Seite zusammen mit unseren Messwerten dargestellt.

2 Spannungsabhängigkeit bei Edelmetallwiderständen

2.1 Spannungsabhängigkeit eines Edelmetallwiderstands

Wir haben die I-U-Kennlinie eines Metallwiderstands mit dem Oszilloskop dargestellt (Abbildung 3 auf Seite 4). Für die y-Ablenkung wurde dabei der Spannungsabfall an einem Widerstand $R_V = 100 \Omega$, welcher mit dem Metallwiderstand in Reihe geschaltet wurde, genommen, da dieser nach $U_y = R_V \cdot I$ proportional zum Strom ist.

Man erkennt sehr deutlich einen linearen Zusammenhang, der Widerstandswert des Metallwiderstands ist also nicht von der Spannung abhängig. Für den Wert R dieses Widerstands erhalten wir somit:

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = R_V \cdot \frac{\Delta U_x}{\Delta U_y} = 100 \Omega \cdot \frac{5,2 \cdot 0,5 \text{ V}}{4 \cdot 0,5 \text{ V}} = 130 \Omega$$

Beim Erhitzen drehte sich diese Gerade im Uhrzeigersinn, die Steigung wurde geringer. Damit wird der Widerstand für höhere Temperaturen also größer.

Da die Skala des Oszilloskops genau genug war, war eine weitere Eichung nicht notwendig.

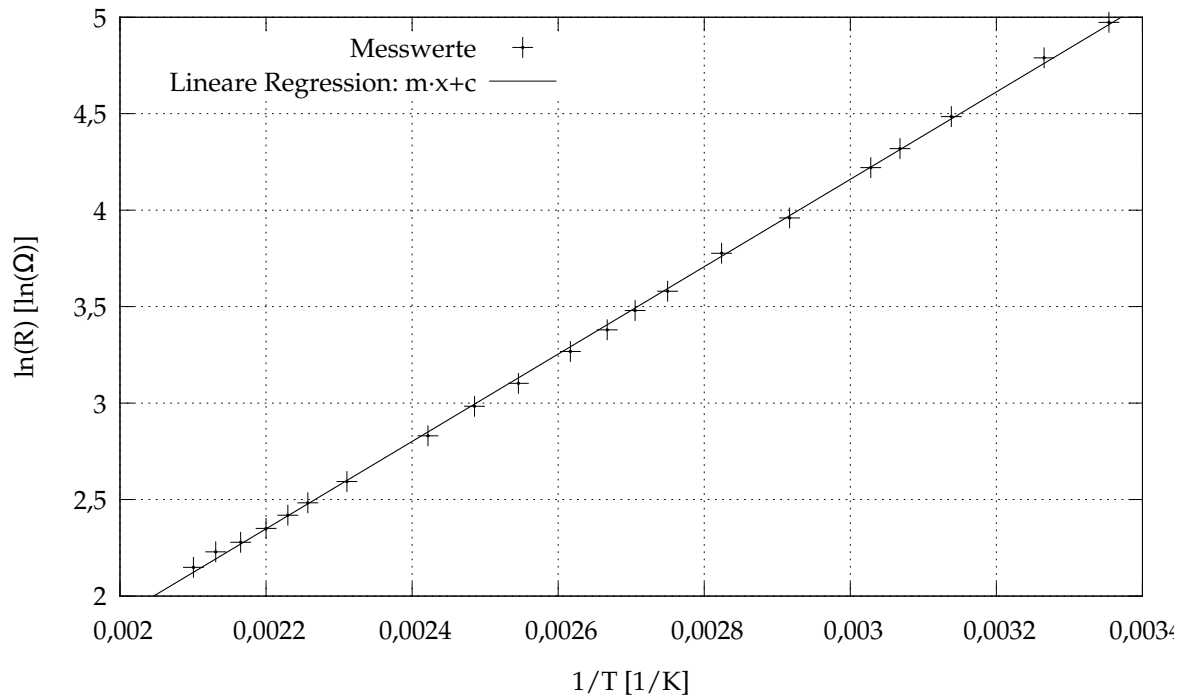


Abbildung 1: Halbleiterwiderstand: Bestimmung der Parameter
 Werte der Regression: $m = (2264,33 \pm 11) \frac{1}{K}$ und $c = (-2,63 \pm 0,03) \ln(\Omega)$.

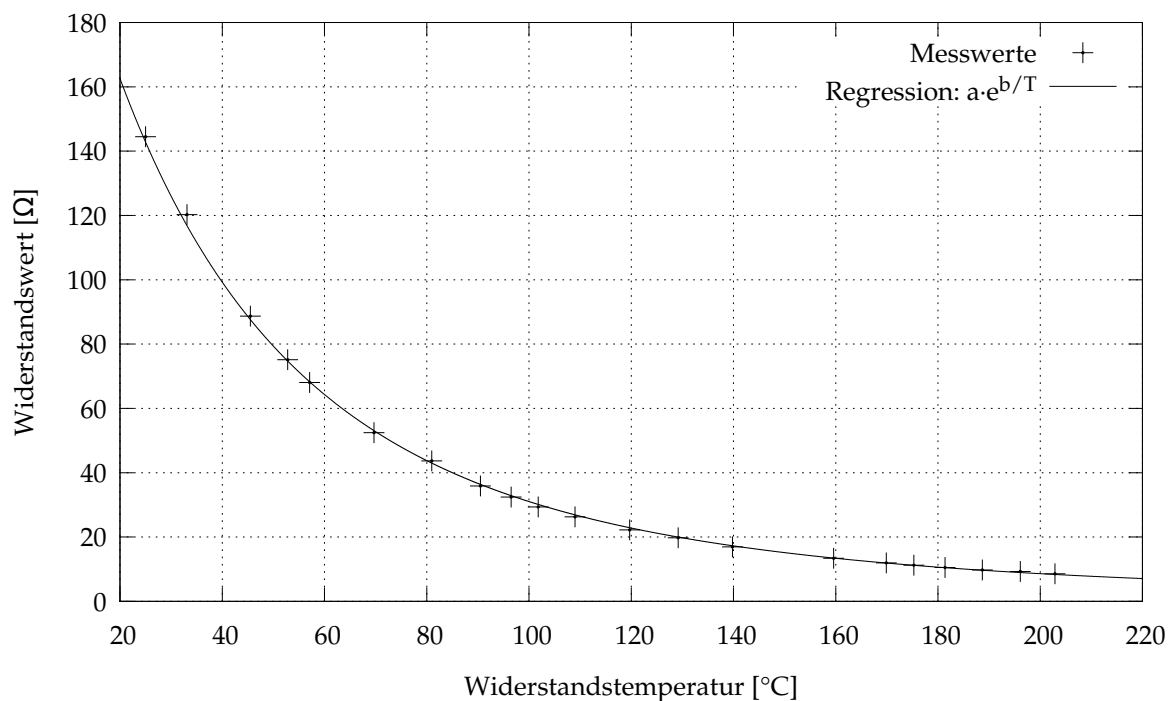


Abbildung 2: Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstands

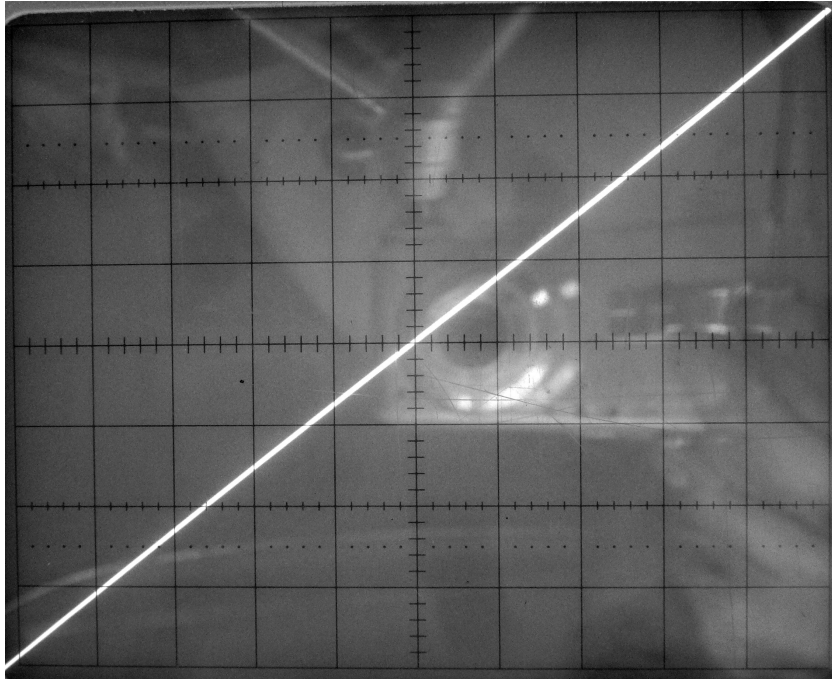


Abbildung 3: I-U-Kennlinie eines Metallwiderstands

2.2 Widerstand einer handelsüblichen Glühbirne

Die verwendete Glühbirne mit den Nenndaten $P = 60 \text{ W}$ und $U = 230 \text{ V}$ hat einen Betriebswiderstand R_B von

$$R_B = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = 882 \, \Omega.$$

Für den Kaltwiderstand dieser Glühbirne haben wir $R_K = 220 \, \Omega$ gemessen.

Dieser ist deutlich geringer als der Betriebswiderstand. Allerdings erwärmt sich durch den hohen Einschaltstrom die Glühbirne sehr schnell, weshalb der Widerstand der Glühwendel steigt und der Strom soweit zurückgeht, bis der Betriebswiderstand der Glühbirne erreicht ist. Daher nimmt die Glühbirne durch den überhöhten Einschaltstrom auch keinen Schaden.

2.3 Widerstand einer Kohlefadenlampe

Die verwendete Kohlefadenlampe mit den Nenndaten $P = 50 \text{ W}$ und $U = 230 \text{ V}$ hat einen Betriebswiderstand R_B von

$$R_B = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = 1,058 \text{ k}\Omega.$$

Für den Kaltwiderstand dieser Kohlefadenlampe haben wir $R_K = 1,7 \text{ k}\Omega$ gemessen, dieser ist also höher als der Betriebswiderstand.

Da Kohlefadenlampen nur bei geringerer Temperatur als Glühbirnen mit Wolframdraht betrieben werden können, liegt das Intensitätsmaximum des emittierten Lichtspektrums bei einer viel größeren Wellenlänge als bei einer normalen Glühbirne mit Wolframwendel. Die Kohlefadenlampe strahlt ihre Leistung also eher im roten bis infraroten Bereich aus, weshalb sie von unserem Auge dunkler als eine Glühbirne mit Wolframwendel wahrgenommen wird (Abbildung 4 auf der nächsten Seite).

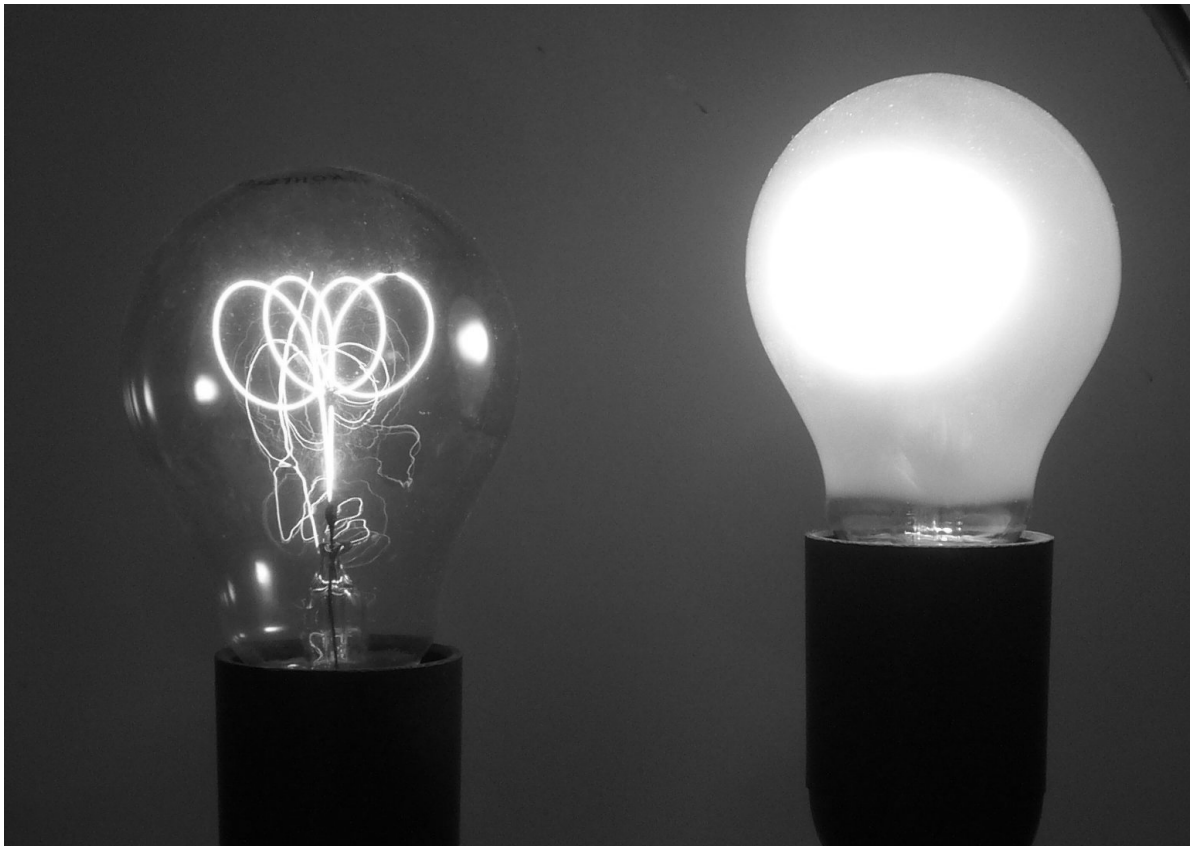


Abbildung 4: Kohlefadenlampe (links) und Glühbirne mit Wolframwendel (rechts) im Vergleich

3 Diodenkennlinien

Wir haben die I-U-Kennlinien verschiedener Halbleiter wie in Aufgabe 2.1 untersucht. Dabei haben wir auch die Schwellenspannungen ermittelt, indem wir eine Gerade durch den scheinbar geraden Teil der Kennlinien gelegt haben und den Schnittpunkt mit der x-Achse bestimmten. Allerdings ist diese Angabe nur sehr ungenau, da es viele Möglichkeiten gab, eine solche Gerade anzulegen.

Auf Seite 6 zeigen die Abbildungen die klassischen Diodenkennlinien einer Siliziumdiode, mit der Schwellenspannung in Durchlassrichtung (Abbildung 5) und der Sperrwirkung in Sperrrichtung (Abbildung 6).

Die Abbildungen auf Seite 7 zeigen die Kennlinien einer Zenerdiode. In Durchlassung (Abbildung 7) erkennt man die Diodenkennlinie ähnlich wie in Abbildung 5, in Sperrrichtung (Abbildung 8) sieht man sehr deutlich bei der Zenerspannung den Zenerdurchbruch.

Die Kennlinien einer Germaniumdiode sind in den Abbildungen auf Seite 8 zu sehen. Man sieht deutlich, dass bei einer Germaniumdiode in Durchlassrichtung (Abbildung 9) der Strom zwar viel früher zu steigen beginnt, dieser dann aber langsamer als bei einer Siliziumdiode ansteigt. In Sperrrichtung (Abbildung 10) trifft man auf das erwartete Sperrverhalten wie bei einer Siliziumdiode.

Mit einem Fön bliesen wir die Bauelemente an und untersuchten ihr Verhalten bei höherer Temperatur. Beim Erwärmen der Si-Diode zeigte sich, dass der Strom etwas eher angestiegen ist, als im kalten Zustand. Somit ist die Schwellenspannung beim Erhitzen geringer geworden. Die Zenerspannung der Zenerdiode in Sperrrichtung zeigte keinen Temperatureinfluss, in Durchlassrichtung allerdings zeigte sich ein Verhalten wie bei der Si-Diode: Der Strom begann ca 0,1 V eher zu steigen,

die Schwellenspannung ist geringer geworden. Dies war auch bei der Germaniumdiode in Durchlassrichtung in geringen Maßen zu beobachten. Bei der Varistorkennlinie war keine Veränderung bei Temperaturerhöhung zu sehen.

3.1 Siliziumdiode

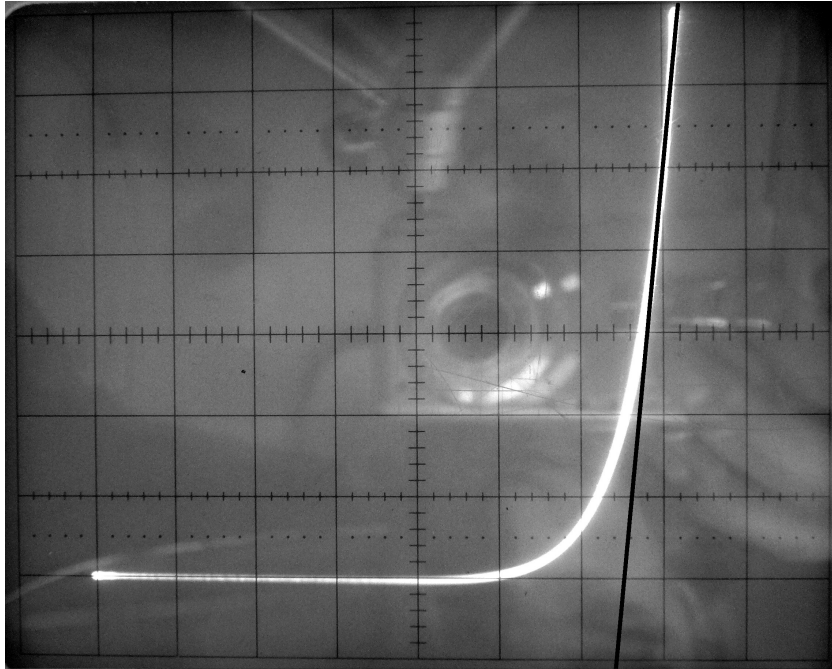


Abbildung 5: I-U-Kennlinie einer Si-Diode in Durchlassrichtung
Schwellenspannung: $U_S = 0,65 \text{ V}$

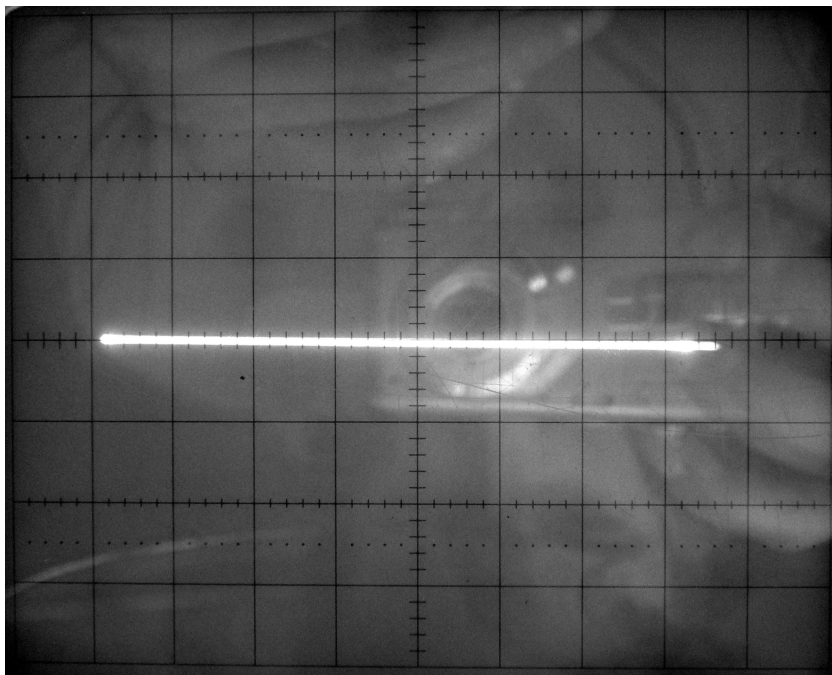


Abbildung 6: I-U-Kennlinie einer Si-Diode in Sperrrichtung

3.2 Zenerdiode

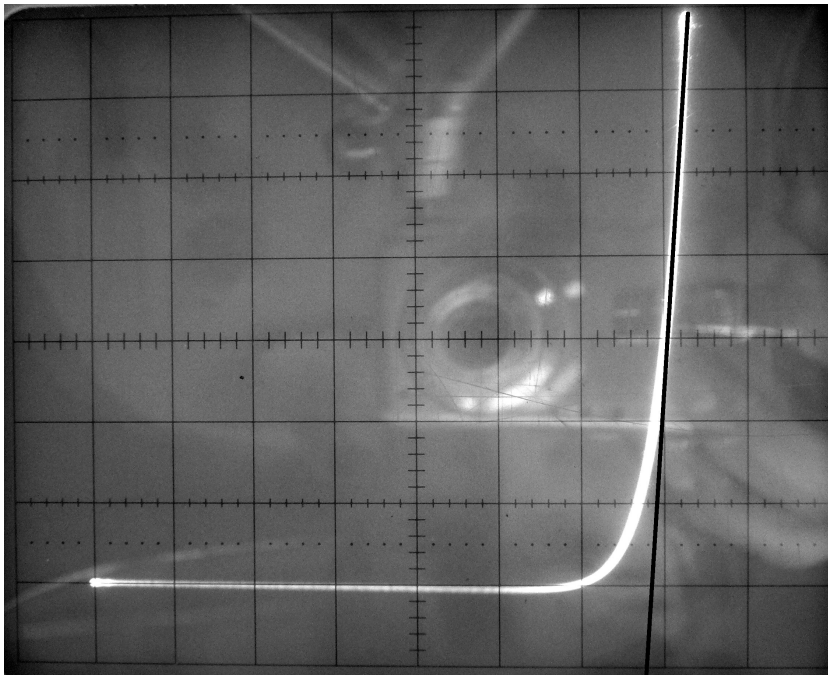


Abbildung 7: I-U-Kennlinie einer Zenerdiode in Durchsrichtung
Schwellenspannung: $U_S = 0,68 \text{ V}$

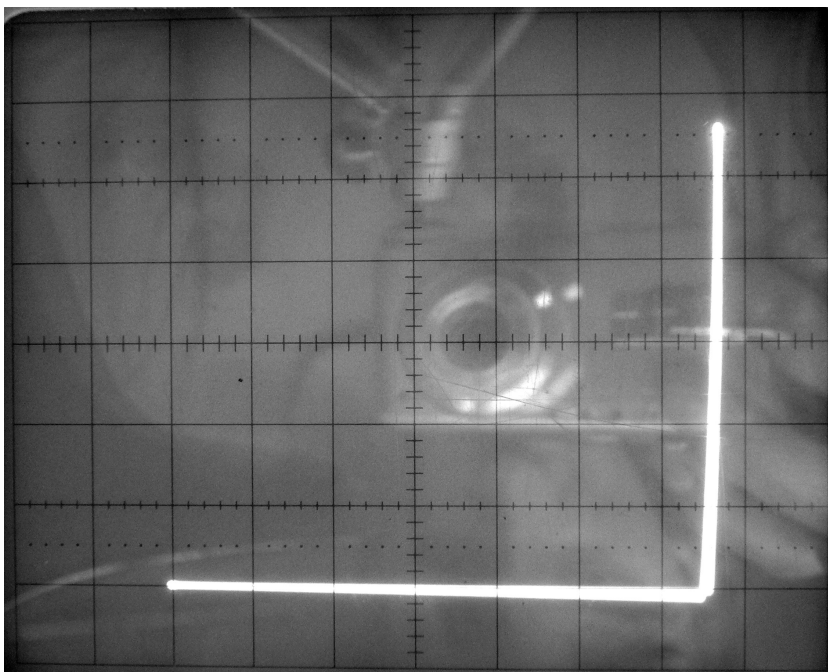


Abbildung 8: I-U-Kennlinie einer Zenerdiode in Sperrrichtung
Zenerspannung: $U_Z = 6,5 \text{ V}$

3.3 Germaniumdiode

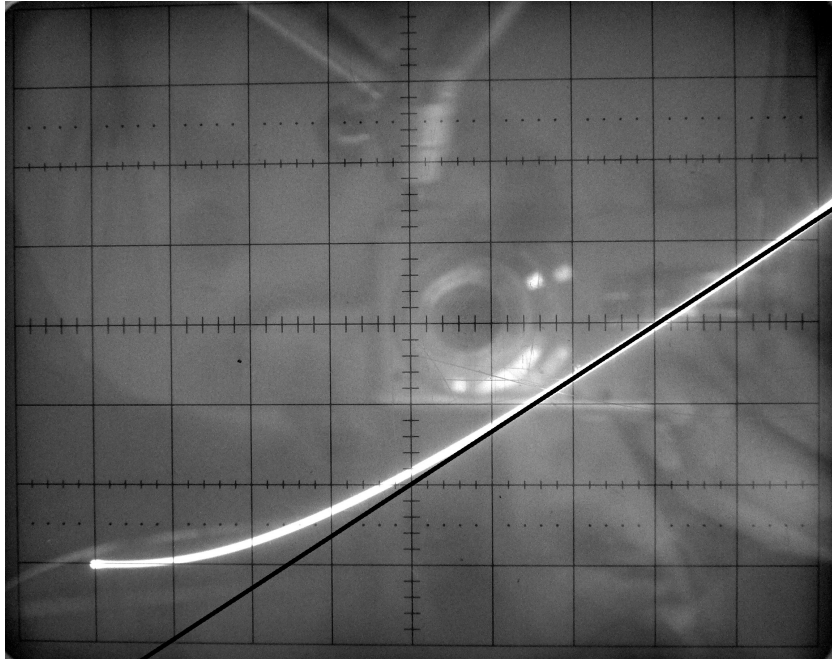


Abbildung 9: I-U-Kennlinie einer Germanium-Diode in Durchsrichtung
Schwellenspannung: $U_S = 0,5 \text{ V}$

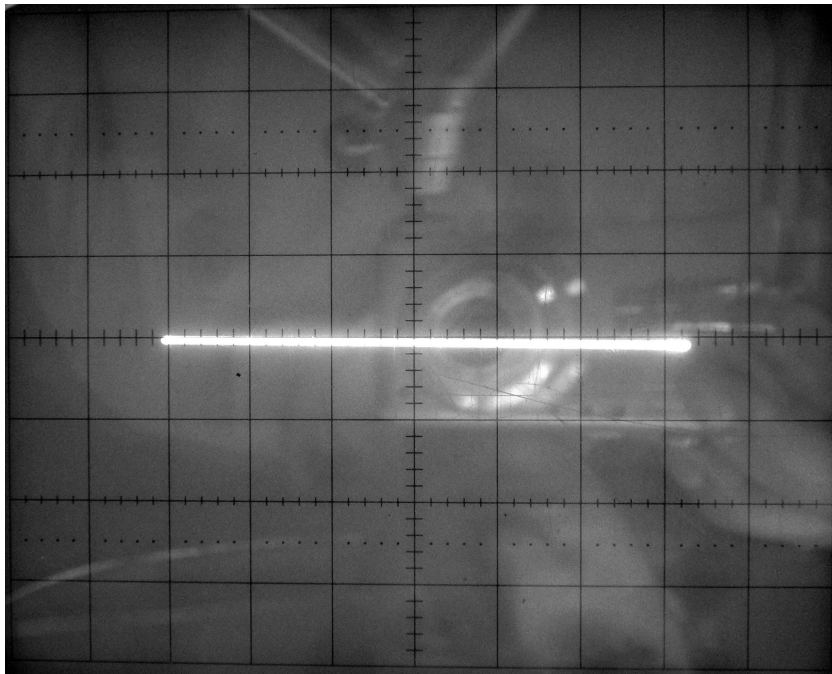


Abbildung 10: I-U-Kennlinie einer Germanium-Diode in Sperrrichtung

3.4 Varistor

Da der Varistor ein unpolares Bauelement ist, sind die Kennlinien für beide Stromrichtungen identisch, weshalb hier nur eine Kennlinie (Abbildung 11) dargestellt ist. Man sieht gut, dass der Varistor bei niedrigen Spannungen hochohmig ist und bei steigender Spannung schnell an Widerstand verliert.

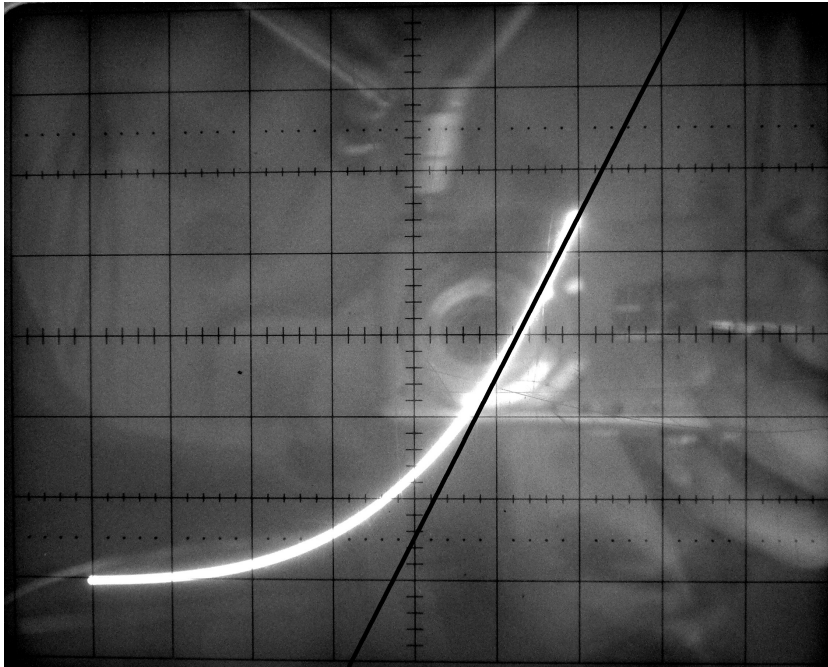


Abbildung 11: I-U-Kennlinie eines Varistors
Schwellenspannung: $U_S = 7,4 \text{ V}$

4 Diodenkennlinie eines Varistors mittels punktwiser Messung

Wir haben die Strom- und Spannungswerte beim Erhöhen der Spannung am Varistor punktwise gemessen, um dessen Widerstandskennlinie zu bestimmen. Da eine Kennlinie der Art $U = c \cdot I^b$ erwartet wurde, haben wir erst versucht, $\ln U$ über $\ln I$ aufzutragen und eine Regressionsgerade $b \cdot x + \ln c$ zu bestimmen. Da die Wertepaare aber nur mit sehr grober Näherung linear waren, lieferte die Regressionsgerade kein zufriedenstellendes Ergebnis, weshalb wir mittels gnuplot direkt eine Funktion $c \cdot I^b$ an die Messwerte fitten ließen (Abbildung 12 auf der nächsten Seite).

Damit erhalten wir für die Spannungs-Strom-Kurve:

$$U(I) = c^{-1/b} \cdot I^{1/b} = 3,866 \text{ V} \cdot I^{0,3617 \ln(\text{V}) \ln(\text{mA})^{-1}}$$

Der Vorteil dieses Messverfahrens ist, dass man konkrete Messwerte erhält, mit denen man wie hier eine Regression durchführen kann. Dafür erhält man bei der Messmethode mittels Oszilloskop viel schneller ein Bild der Kennlinie, welches allerdings eben nur von qualitativer Art ist.

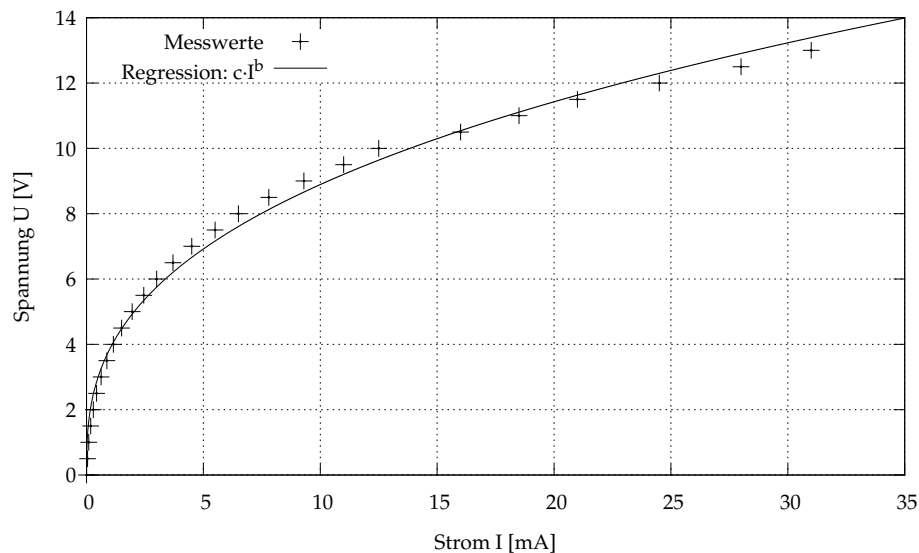


Abbildung 12: U-I-Kennlinie eines Varistors mittels punktwiser Messung

Werte der Regression: $c = (3,866 \pm 0,095) \text{ V}$ und $b = (0,3617 \pm 0,0092) \ln(\text{V})\ln(\text{mA})^{-1}$.

5 Tunneldiode

5.1 Diodenkennlinie einer Tunneldiode

Mittels punktwiser Messung wird die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Tunneldiode aufgenommen. Diese haben wir zusammen mit dem Widerstand $R = \frac{U}{I}$ und dem differentiellen Widerstand $R_{\text{diff}} = \frac{dU}{dI}$ in Abbildung 13 auf der nächsten Seite dargestellt.

Da die Genauigkeit des μA -Multizets im $300 \mu\text{A}$ -Messbereich nicht sehr hoch war (Abstand der Ablesemarkierungen $10 \mu\text{A}$), ist das Schaubild nur von mäßiger Qualität, was man vor allem am differentiellen Widerstand sieht.

Trotzdem lässt sich gut die Kennlinie einer Tunneldiode erkennen. Die Höckerspannung liegt wie angegeben etwa bei 50 mV , danach folgt ein breites Tal, woran sich die klassische Diodenkennlinie anschließt. Auch erkennt man, dass der Widerstand der Tunneldiode wie erwartet im Tal am größten ist, während er für die Höckerspannung aufgrund des Tunneleffekts und für größere Spannungen aufgrund der Durchlassrichtung der Diode geringer ist. Auch wenn der differentielle Widerstand nicht sehr gut aufgelöst ist, so erkennt man dennoch gut, dass dieser für Spannungen zwischen Höcker und Tal negativ wird, was gerade die besondere Eigenart einer Tunneldiode ist.

5.2 Sprungverhalten des Stromes

Im $100 \mu\text{A}$ -Messbereich des μA -Multizets beobachteten wir beim Erhöhen der Spannung ein eigenartiges Sprungverhalten von $33 \text{ mV}/91 \mu\text{A}$ auf $26 \text{ mV}/140 \mu\text{A}$. Um dies zu erklären, haben wir zwei Arbeitsgeraden $I(U) = \frac{U_0 - U}{R}$ für die Messbereiche in das Schaubild der Diodenkennlinie eingetragen (Abbildung 14 auf Seite 12).

Man sieht deutlich, dass die Arbeitsgerade im $300 \mu\text{A}$ -Messbereich die Kennlinie für beliebige Arbeitsspannungen U_0 nur einmalig schneidet. Allerdings schneidet die Arbeitsgerade des $100 \mu\text{A}$ -Messbereichs U_0 die Kennlinie für manche Betriebsspannungen dreimal. Daher kommt das Sprungverhalten am Messgerät, da dieses zwischen den Schnittpunkten der Arbeitsgerade und der Kennli-

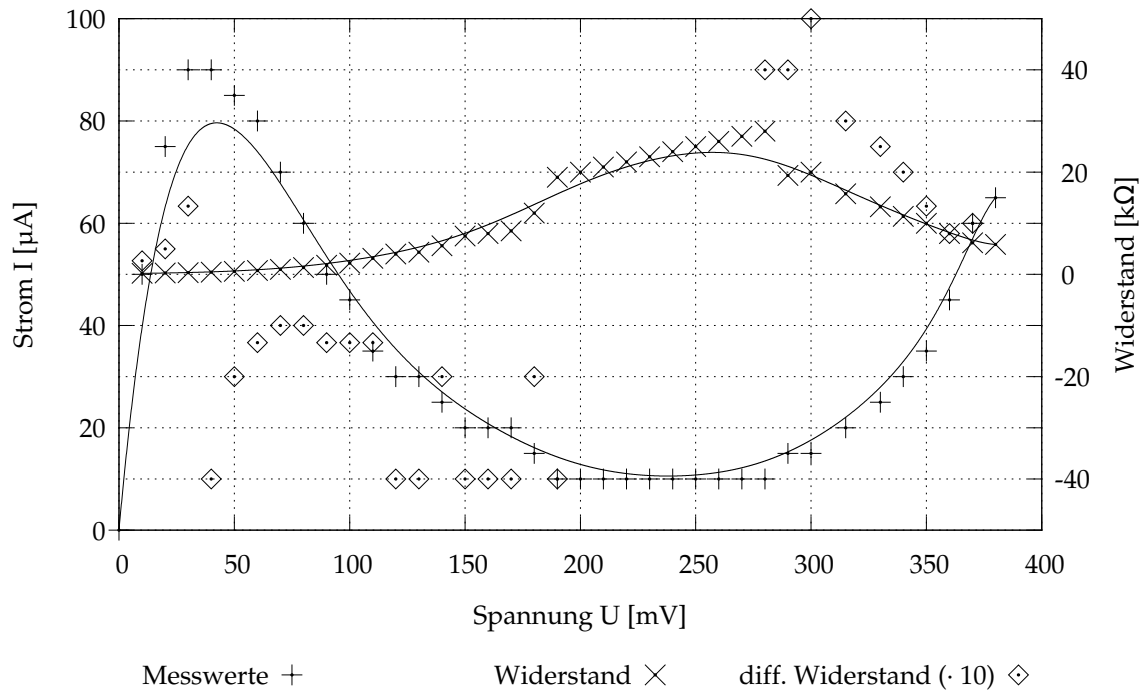


Abbildung 13: I-U-Kennlinie einer Tunnelodiode, mit Widerstand und differentiellem Widerstand, Interpolation mittels Bezier-Kurven

nie springt. Um dies zu vermeiden, wurde im Versuch der Spannungsteiler recht niederohmig und die Tunnelodiode recht hochohmig gewählt.

5.3 Spannungsüberhöhung und Schwingungen

Wir haben eine Induktivität $L = 50 \mu\text{H}$ in den Schaltkreis eingebaut und konnten dadurch am Oszilloskop Schwingungen der Frequenz 3 kHz mit einer Amplitude von $U_{SS} = 250 \text{ mV}$ beobachten (Abbildung 15 auf der nächsten Seite), wenn die Tunnelodiode im Bereich mit negativem differentiellem Widerstand arbeitete.

Die durch das Sprungverhalten an der Induktivität entstehenden Schwingungen sind eigentlich gedämpft. Durch den negativen differentiellen Widerstand der Tunnelodiode wird diese Dämpfung allerdings ausgeglichen, weshalb wir ungedämpfte Schwingungen sehen konnten.

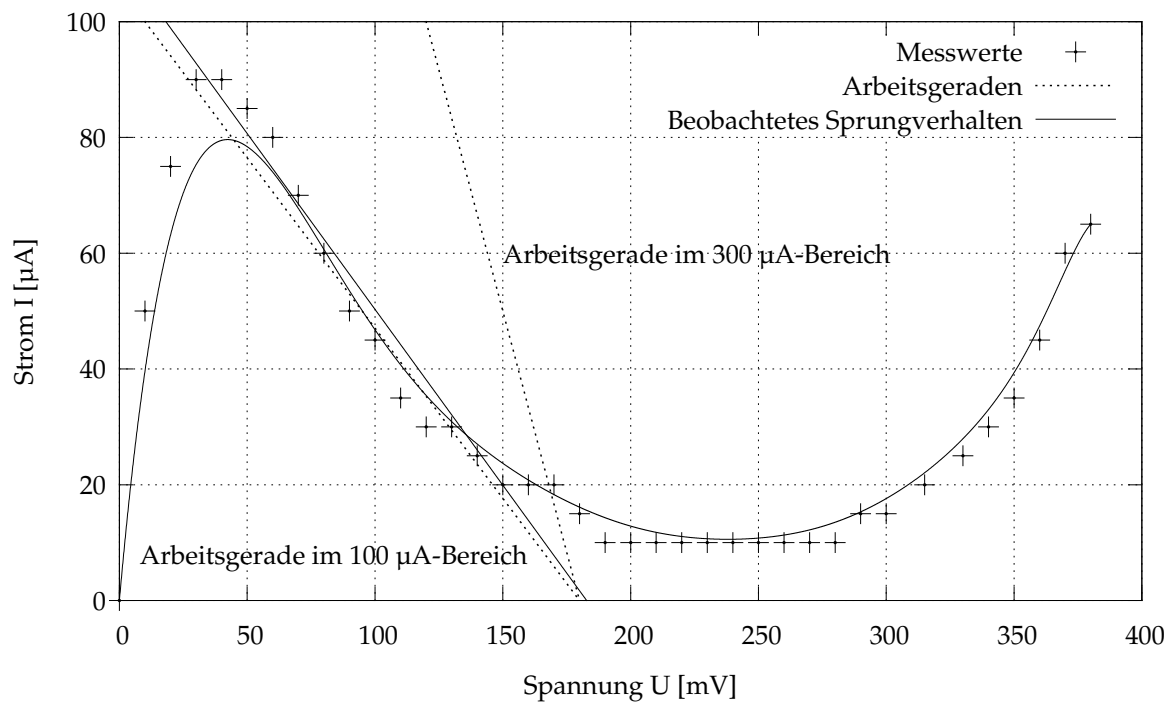


Abbildung 14: I-U-Kennlinie einer Tunneldiode, mit Arbeitsgeraden des Messgeräts

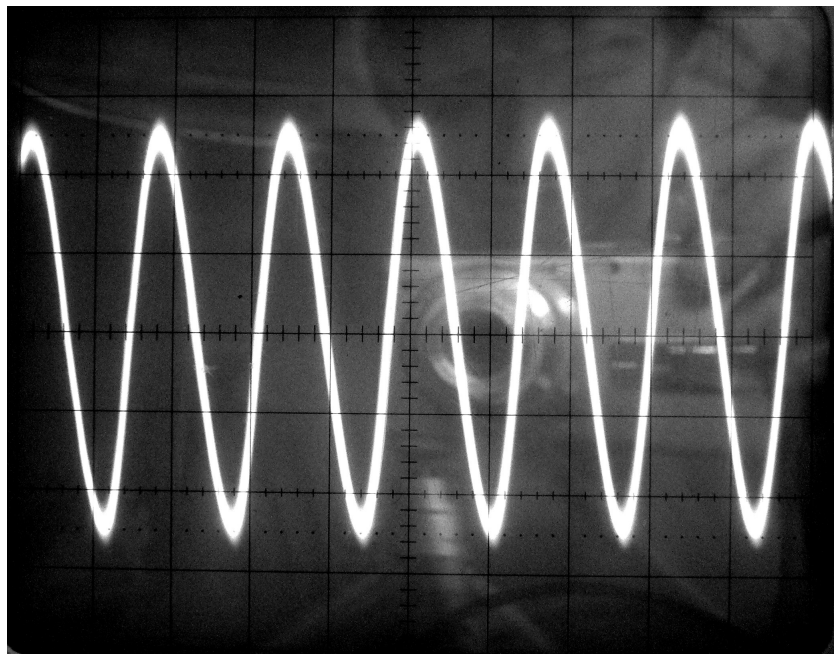


Abbildung 15: Schwingungen an der Tunneldiode mit einer Induktivität