

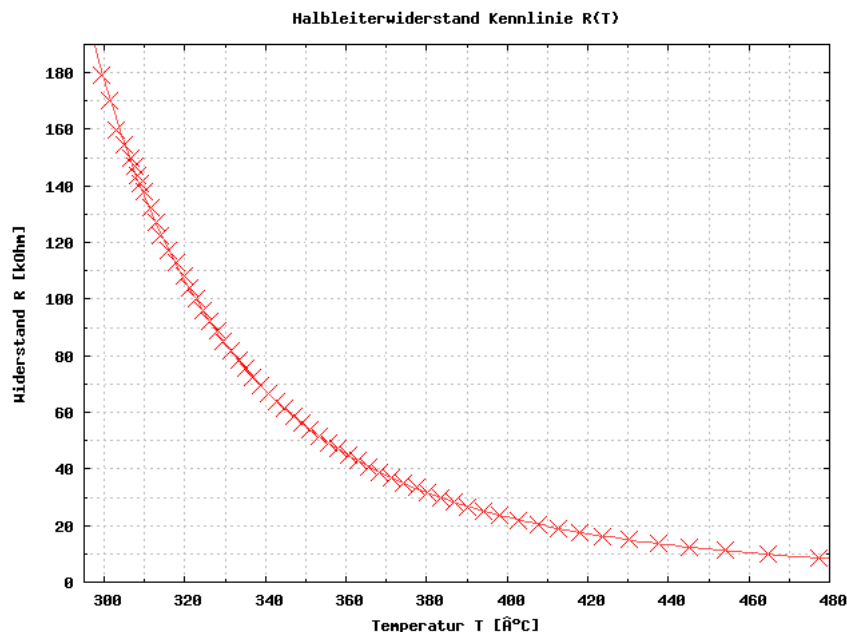
P2-51,52 AUSWERTUNG VERSUCH WIDERSTANDSKENNLINIEN

GRUPPE 19 - SASKIA MEISSNER, ARNOLD SEILER

1. R(T)-ABHÄNGIGKEIT EINES HALBLEITERWIDERSTANDES

Mit Hilfe der Wheatstone-Brückenschaltung messen wir den Widerstand eines Halbleiters (NTC, Heißleiter) bei verschiedenen Temperaturen. Folgende Abhängigkeit ist zu beobachten:

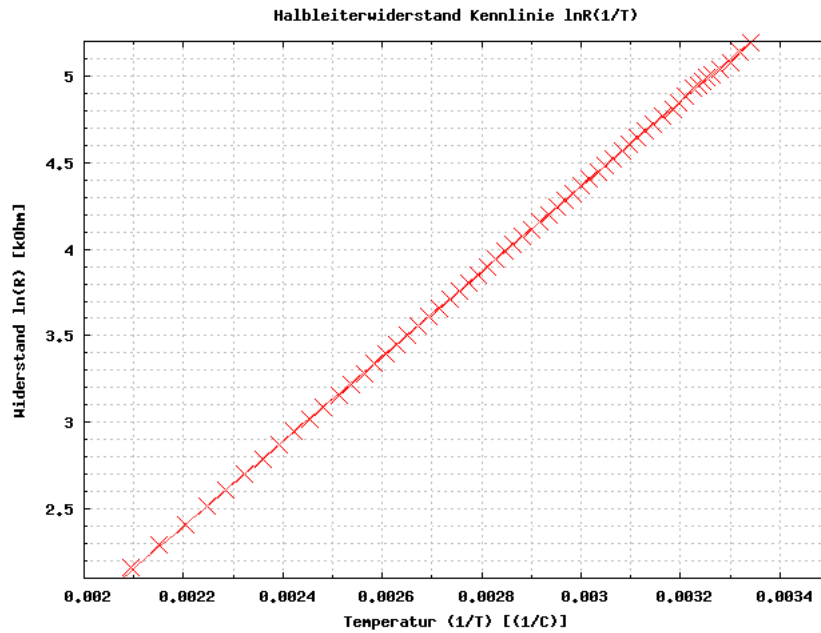
$$R = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$$



Grafik 1: Halbleiterwiderstand $R(T)$

Aus den Messwerten kann man die Koeffizienten a und b bestimmen, wenn man $\ln(R)$ über $\frac{1}{T}$ aufträgt.

$\ln(R) = b \cdot \frac{1}{T} + \ln(a)$ entspricht einer Geraden $f(x) = m \cdot x + c$ mit $m = b = 2452K$ und $c = \ln(a) = -2,993 \ln(\Omega)$ somit $a = 0,05\Omega$.



Grafik 2: Halbleiterwiderstand $\ln(R(\frac{1}{T}))$

Ausgleichsgerade: $\ln(R) = (2452 \pm 3)K \cdot \frac{1}{T} \ln(\Omega) - (2,993 \pm 0,008) \ln(\Omega)$

Es ist zu erkennen, dass die Beobachtungen mit den Erwartungen übereinstimmen. Der Korrelationsfaktor liegt bei 0,99992, b hat eine Standardabweichung von 0,12%, a von 0,8%.

2. OSZILLOGRAPH, GLÜHBIRNEN

2.1. I(U)-Abhängigkeit eines Edelmetallwiderstandes bei Zimmertemperatur. Zur Eichung des Oszilloskops schließt man es an eine Eichspannung an, die mit Hilfe des Multimeters auf 0,5 V eingestellt wurde. Dann justiert man die Einstellungen entsprechend am Oszilloskop. Das heißt eine Einheit auf dem Oszillograph entspricht $0,707V = \sqrt{2} \cdot 0,5V$. Das Multimeter misst die effektive Spannung U_{eff} die um den Faktor $\sqrt{2}$ kleiner ist als die maximale Spannung \hat{U} .

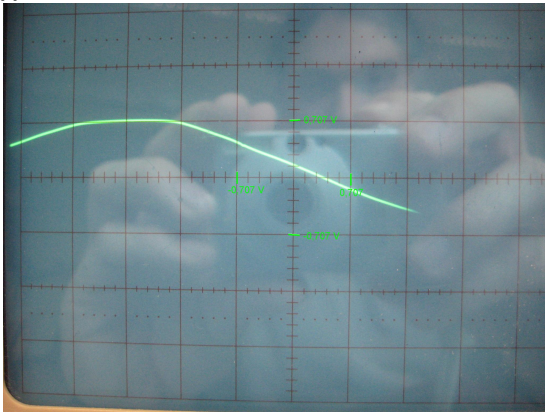


Bild 1: Eichung des Oszilloskops

Mit der Halbwellschaltung (siehe Aufgabenblatt) stellen wir fest, dass die Erwärmung des Widerstandes durch den Messstrom nicht sichtbar beeinflusst wird. Den maximalen Strom \hat{I} der Halbwelle regelt man durch die maximale Spannung \hat{U} . Dabei sollte sich die Steigung der Geraden ändern, was aber nicht zu erkennen war.

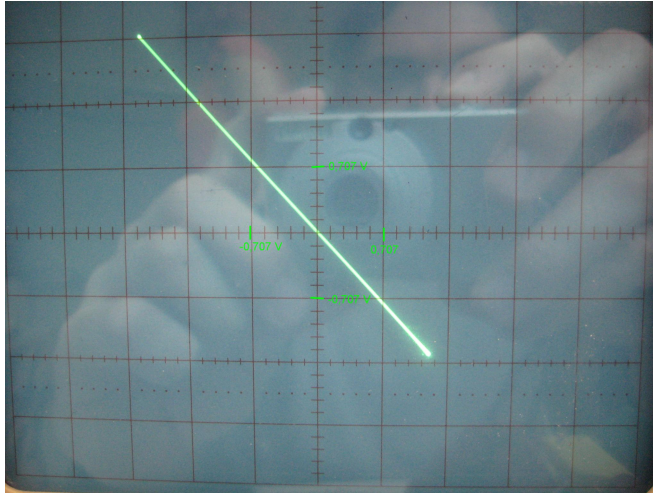


Bild 2: $I(U)$ -Edelmetallwiderstand

Bei dieser Messung sind jedoch die x- und y-Achse vertauscht, d.h. die Spannung ist nach oben, der Strom nach links.

Mit dem Vorwiderstand $R_V = 101\Omega$ und der Steigung, die dem Verhältnis $m = \frac{U_A}{U_I}$ von angelegter Spannung U_A und Widerstandsspannung U_I entspricht, errechnet sich der Edelmetallwiderstand wie folgt:

$$R = \frac{U_A}{I} = \frac{U_A \cdot R_V}{U_I} = m \cdot R_V = 1,1 \cdot 101\Omega = 112\Omega .$$

2.2. Kaltwiderstand einer 60W Glühbirne (Wolfram-Glühwendel). Der mit dem Ohmmeter gemessene Widerstand $R = 71\Omega$ weicht stark von dem berechneten Widerstand $R = 807\Omega$ ab. Wolfram ist ein Kaltleiter, darum steigt der Widerstand bei zunehmender Temperatur. Deshalb macht es nichts aus wenn der Einschaltstrom kurzzeitig überhöht ist (siehe Vorbereitung 2.2) .

2.3. Kaltwiderstand einer 50W Kohlefadenlampe. Der mit dem Ohmmeter gemessene Widerstand $R = 1700\Omega$ ist wesentlich größer als der berechnete Widerstand $R = 968\Omega$. Der Kohlefaden ist ein Heißleiter, mit zunehmender Temperatur sinkt der Widerstand. Darum wird die Lampe nicht ganz so schnell hell, wie eine Wolframlampe.

3. $I(U)$ -ABHÄNGIGKEIT BEI ZIMMERTEMPORATUR MIT DEM OSZILLOSKOP

Hier wird wieder die Halbwellenschaltung wie in 2.1 verwendet, nur dass der Widerstand durch eine Diode bzw. Varistor ersetzt ist.

Die x-Achse des Oszilloskops war verkehrt herum angeschlossen (x-Spannung von rechts nach links), was jedoch bei den folgenden Bildern durch Spiegelung an der y-Achse behoben haben. Die Bilder sind so gespiegelt, dass sie der Darstellung in einem Kennlinienbild entsprechen. In x-Richtung ist immer die angelegte Spannung, in y-Richtung die Spannung an einem Referenzwiderstand aufgetragen. Die Spannung am Referenzwiderstand ist wegen $U = R \cdot I$ Proportional zum fließenden Strom.

3.1. Siliziumdiode (SID) in Durchlass- und Sperrichtung. Die Kennlinien der Siliziumdiode am Oszilloskop:

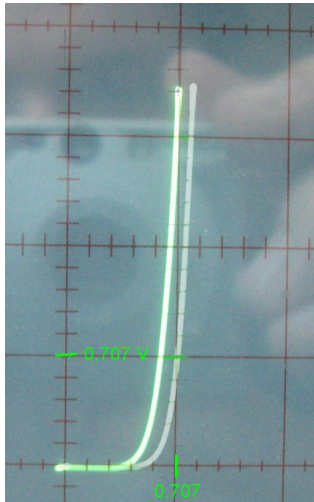


Bild 3: $I(U)$ -Abhängigkeit einer (SID) Durchlassrichtung

Das Bild ist eine Kombination aus der Kurve der erwärmten Diode (hellgrün), und der kalten Diode (blassgrün). Es zeigt zumindest qualitativ die Auswirkung der Erwärmung: Die Schwellspannung sinkt beim Erwärmen von ca. 0,57V kalt auf ca. 0,43V.

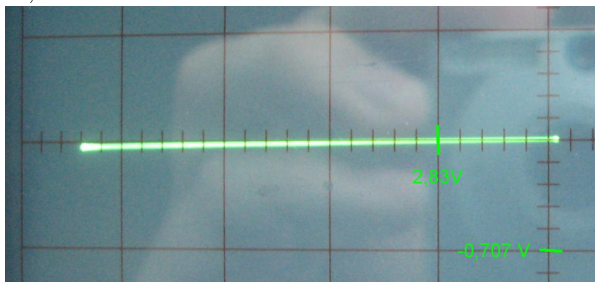


Bild 4: $I(U)$ -Abhängigkeit einer (SID) Sperrichtung

In Sperrichtung fließt kaum Strom. Bei 12V (ganz links) ist zu erkennen, dass die Diode nicht perfekt sperrt.

3.2. Zenerdiode (ZED) in Durchlass- und Sperrichtung. Die gleiche Messung mit einer Zenerdiode:

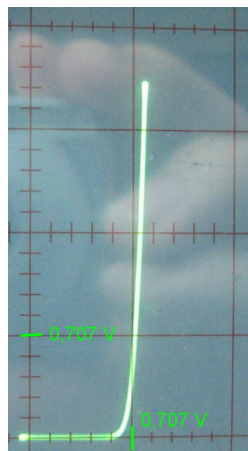


Bild 5:

$I(U)$ einer ZED in Durchlassrichtung

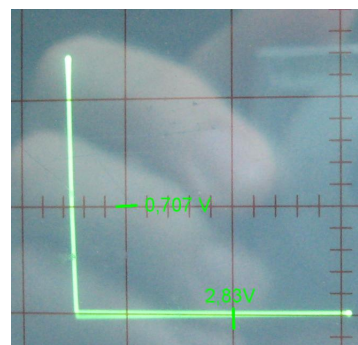


Bild 6:

$I(U)$ einer ZED in Sperrichtung
(y-Achse nach oben)

Die Zenerdiode verhält sich in Durchlassrichtung wie eine normale Siliziumdiode. In Sperrichtung lässt sie jedoch, im Gegensatz zur Siliziumdiode, ab einer gewissen Spannung Strom durch. Diese Spannung lässt sich durch den Herstellungsprozess anpassen.

Bei Erwärmung der ZED ist keine sichtbare Veränderung zu beobachten.

3.3. Germaniumdiode (GED) Durchlass- und Sperrichtung. Die gleiche Messung mit einer Germaniumdiode:

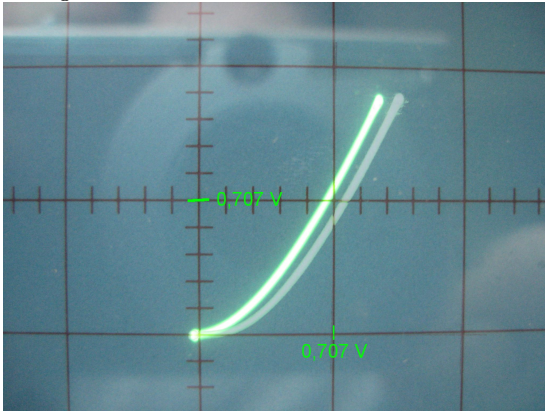


Bild 7: $I(U)$ einer GED in Durchlassrichtung

Das Bild ist wieder eine Kombination aus der Kurve der erwärmten Diode (hellgrün), und der kalten Diode (blassgrün). Es zeigt die Auswirkung der Erwärmung: Die Schwellspannung sinkt von ca. 0,28V kalt auf ca. 0,15V. Die Germaniumdiode hat eine geringere Schwellspannung, als die Siliziumdiode.

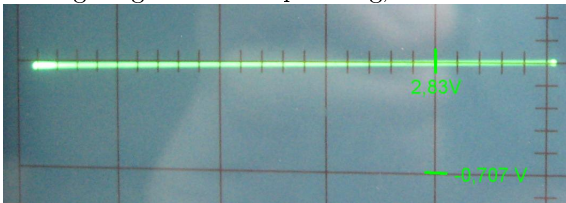


Bild 8: $I(U)$ einer GED in Sperrichtung

Hier ist das Verhalten wieder wie bei der Siliziumdiode - die Germaniumdiode lässt fast keinen Strom durch.

3.4. Varistor (VDR) in beiden Richtungen. Die gleiche Messung mit einem Varistor - vorwärts und rückwärts:

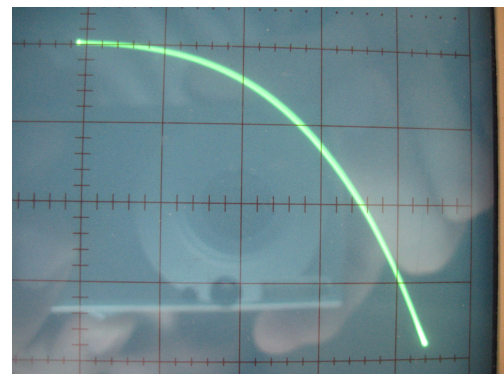
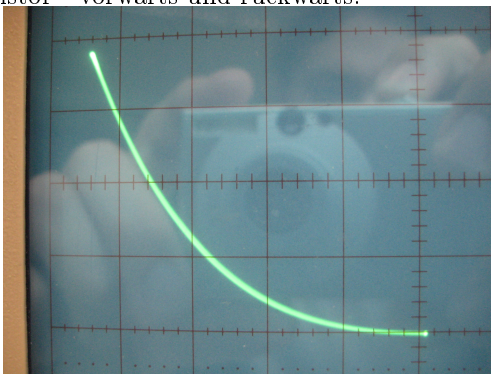


Bild 9: $I(U)$ eines VDR in die eine Richtung Bild 10: und in die andere.Richtung

Wie erwartet verlaufen die beiden Kurven Punktsymmetrisch zum Ursprung ($U = 0$ und $I = 0$). (Ja, es handelt sich um zwei verschiedene Bilder)

Der Varistor hat keine Vorzugsrichtung wie Dioden.

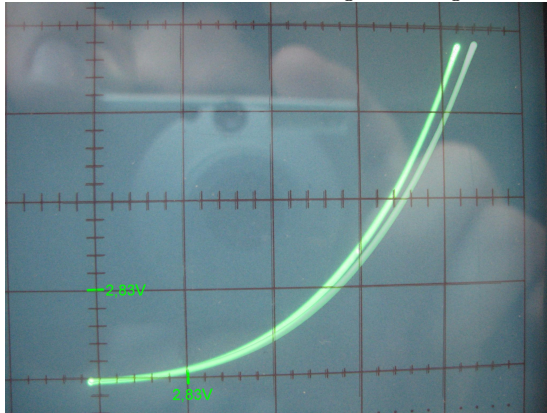


Bild 11: $I(U)$ eines VDR erwärmt

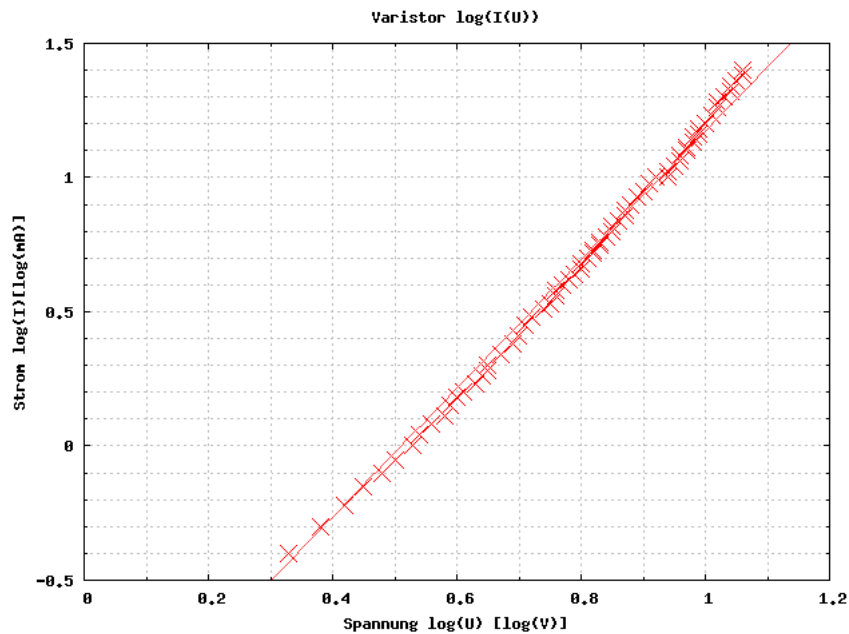
Auch hier ist wieder die Kurve des kalten VDR (blassgrün) mit der des erwärmten VDR (hellgrün) kombiniert. Es ist erkennbar, dass beim erwärmten VDR bereits früher höhere Ströme fließen.

4. $I(U)$ -ABHÄNGIGKEIT DES VDRS MIT SPANNUNGSTEILER-SCHALTUNG

Man misst punktweise den Strom I und die Spannung U . Die Spannungsteiler-Schaltung ist eine Spannungsrichtige Schaltung, deshalb spielt der Innenwiderstand des Strommessgerätes (Verstärker Multimeter) eine Rolle. Vorallem bei einem Messbereichswechsel, da der Innenwiderstand wechselt.

Aus den Messwerten kann man die Koeffizienten b und c der Gleichung $U = c \cdot I^b$ bestimmen. Wir tragen $\log(U)$ über $\log(I)$ auf.

$\log(U) = b \cdot \log(I) + \log(c)$ entspricht einer Geraden $f(x) = m \cdot x + d$ mit $m = b \approx 2,39$ und $d = \log(c) \approx -1,22$ somit $c \approx 0.06$.

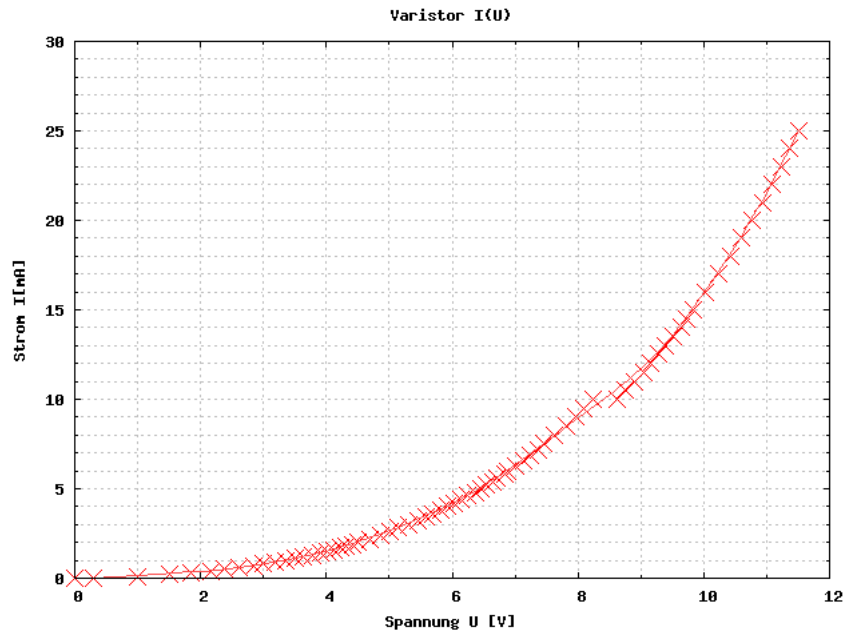


Grafik 3: $\log(I(\log(U)))$ des Varistors

Ausgleichsgerade: $\log(I) = 2,39 \frac{1}{\log V} \cdot \log(U) - 1,22 \log V$

Es ist deutlich zu sehen, dass die Kurve unterteilt ist in zwei Abschnitte von $I = 0mA$ bis $I = 10mA$ und von $I = 10mA$ bis $I = 25mA$. Sie ist ab $I = 10mA$

um ein Stück nach Rechts verschoben. Dies bringen wir in Zusammenhang mit dem Messbereichswechsel des Strommessgerätes vom 10mA-Bereich in den 30mA-Bereich.



Grafik 4: $I(U)$ Kennlinie des Varistors

Die punktweise gemessene Kennlinie entspricht der Oszilloskopisch dargestellten.

5. TUNNELDIODE

5.1. $I(U)$ -Abhängigkeit einer Tunneldiode (TUD) mit Spannungsteiler-Schaltung. Messbereich des Strommessgerätes: $300\mu A$

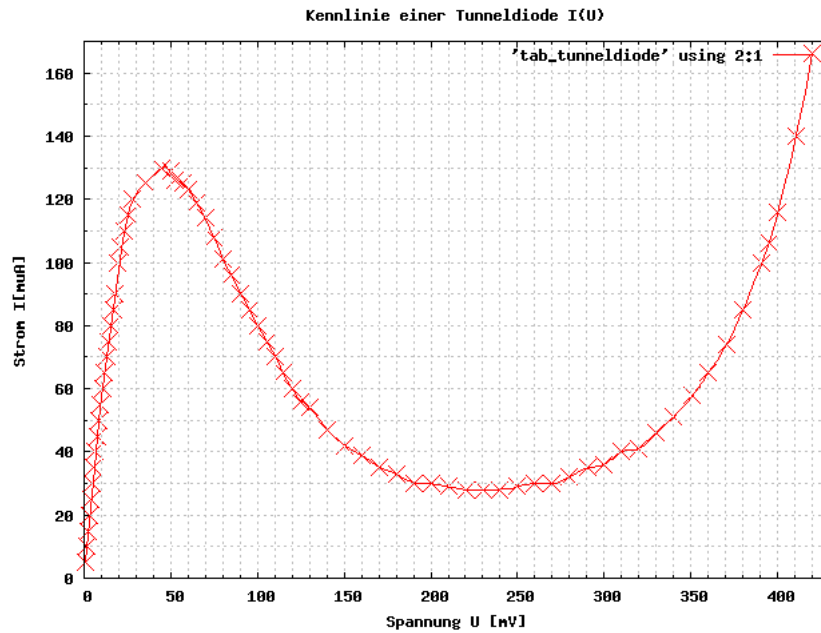
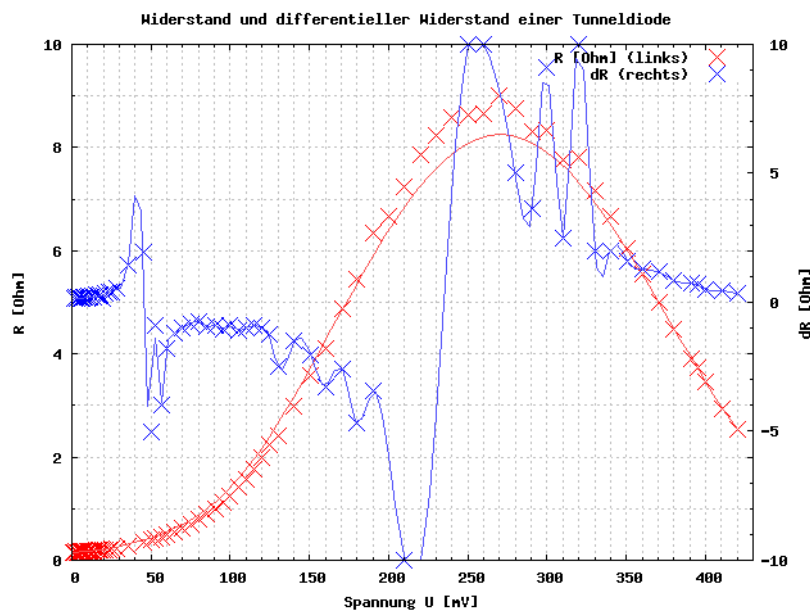
Die gemessenen Daten der Tunneldiode:

Höckerspannung bei $U_H = 50mV$

Höckerstrom $I_H = 130\mu A$

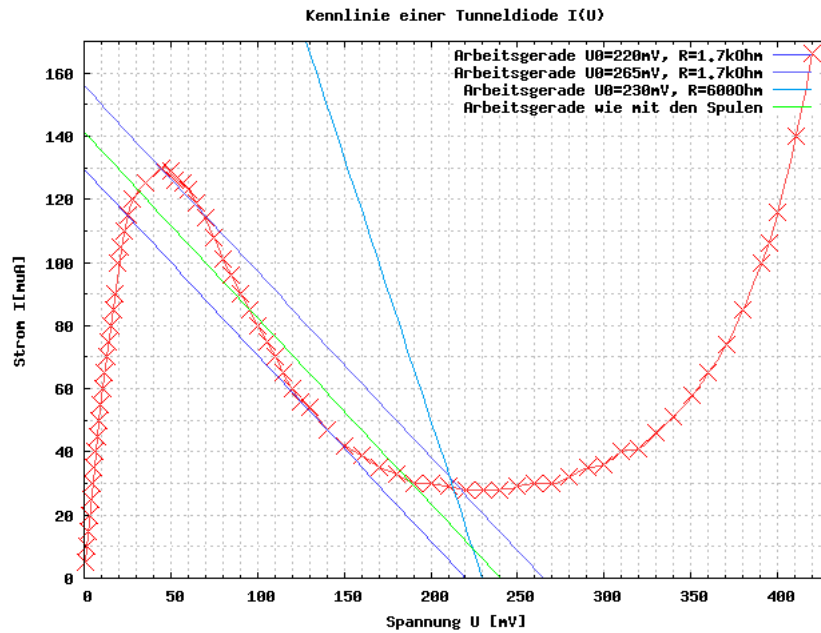
Talspannung $U_T = 220,1mV$

Talstrom $I_T = 28\mu A$

Grafik 5: $I(U)$ einer TunnelodiodeGrafik 6: $R(U), \frac{dU}{dI}(U)$ einer Tunnelodiode

5.2. Sprungverhalten der Spannung. Man wechselt den Messbereich vom $300\mu\text{A}$ Bereich ($R_i = 600\Omega$) in den $100\mu\text{A}$ Bereich ($R_i = 1700\Omega$). Es sind zwei Sprünge der Spannung zu beobachten kurz vor der Höckerspannung auf kurz danach. Das heißt die Spannung zwischen dem Sprung ist nicht erreichbar. Wir haben dazu aber nicht unser Messgerät (Philips) verwendet sondern das der anderen Gruppe. Mit dem Oszilloskop konnte man den Sprung gut erkennen.

Grafisch bedeutet dies, dass die Arbeitsgerade die Kennlinie der Tunnelodiode mehr als einmal schneidet. Es gibt also mehrere Lösungen der Gleichung $U_0 = U_R + U_D$. Dies liegt daran, dass der Strom durch die Tunnelodiode I nichtlinear von der anliegenden Spannung U_D abhängt.



Grafik 6: Arbeitsgeraden und Kennlinie der Tunnelodiode

Die blauen Geraden schneiden die Kennlinie der Tunnelodiode mehrmals - jeder Schnittpunkt ist Lösung obiger Gleichung, das System kann sich eine davon aussuchen - es springt auf die Lösung mit dem geringsten Strom (rechter Schnittpunkt).

Wird nun eine Spule statt eines Widerstandes verwendet, wirkt die Spule diesem Sprung des Stromes entgegen. Da zwischen den beiden Punkten keine Lösung liegt, geht es wieder zurück zum Ausgangspunkt (hoher Strom, wenig Spannung an der Diode). Von hier aus beginnt das Spiel von vorne - das System oszilliert. Dies wird in 5.3 deutlich sichtbar. Die erwähnte Spannungsüberhöhung kann nicht über den rechten Schnittpunkt hinaus.

5.3. Spannungsüberhöhung mit Hilfe einer Spule. Fügt man zu der Tunnelodiode eine Spule (in Serie) in die Schaltung ein, so kann man Oszillationen um die Höckerspannung der Diode beobachten. Bei der kleineren Spule (1) mit $47\mu\text{H}$ ist die maximale Spannung $\hat{U} = 0,18\text{V}$. Bei einer größeren Spule mit $355\mu\text{H}$ beginnt die Oszillation bei ca. $0,03\text{V}$ und überhöht bis max. $\hat{U} = 0,18\text{V}$.

Diese Spannungen lassen sich in etwa auch aus Grafik 6 ablesen - der linke und der rechte Schnittpunkt der grünen Arbeitsgeraden. Zwischen diesen beiden Punkten oszilliert das System.

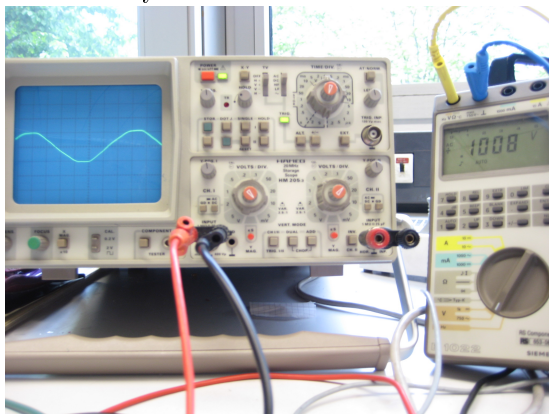
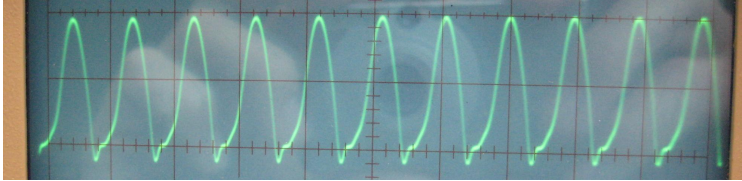


Bild 12: Eichung des Oszilloskops

Während des Versuchs haben wir die Zeitablenkung nicht korrekt geeicht, was jedoch mit Hilfe der Fotos nachträglich möglich ist. Auf Bild 12 ist eine 50Hz Wechselfspannung angelegt, das Oszilloskop steht auf 2ms. Eine Periode dauert 7,5u (Einheiten auf den Schirm) - somit entspricht in dieser Einstellung $1u = 2,66ms$.

*Bild 13: Tunneldiode mit kleiner Spule (1)*

Hier steht das Oszilloskop auf $0,2\mu s$ - somit entspricht nach obiger Eichung $1u = 0,266\mu s$. Aus einer Periodendauer von ca. $0,25\mu s$ ergibt sich eine Frequenz der Schwingung von fast $4MHz$. Die Schwingung ist fast sinusförmig.

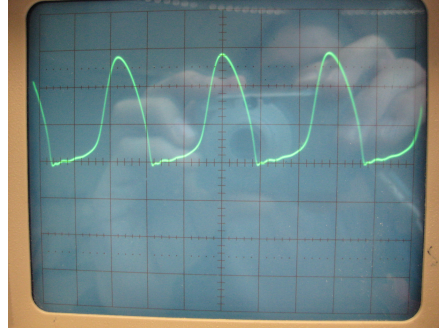
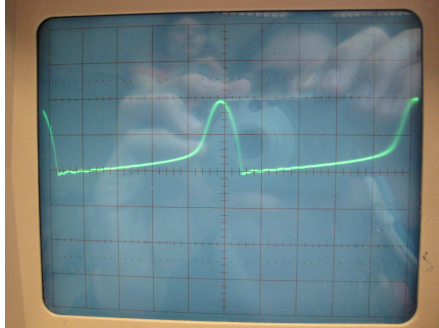


Bild 14: Spule 2 bei niedriger Spannung U_0 *Bild 15: Spule2 bei mittlerer Spannung U_0*

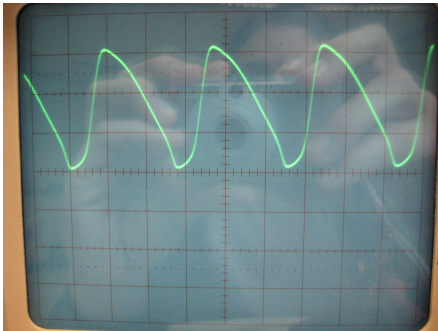


Bild 16: Spule 2 bei hoher Spannung U_0

Mit der größeren Induktivität der zweiten Spule oszilliert das System mit einer kleineren Frequenz von ca. $150kHz$ bei der höchsten Spannung U_0 . Die Schwingung ist offensichtlich stark von der angelegten Spannung abhängig und nur bei der höchsten Spannung, kurz bevor das System nicht mehr schwingt, halbwegs sinusförmig.