

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
DORTMUND

ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK  
SOMMERSEMESTER  
2014

---

**V500a**  
**Der Photoeffekt**

**10.06.2014**

**2.ABGABE: 01.07.2014**

---

Leonard Wollenberg  
Joshua Luckey

leonard.wollenberg@udo.edu  
joshua.luckey@udo.edu

# 1 Einleitung

In diesem Versuch wird der Zusammenhang zwischen der Dispersionsspannung und Frequenz beziehungsweise der Wellenlänge einer Diode untersucht.

# 2 Theorie

Eine Leuchtdiode funktioniert wie die Umkehrung des Photoeffektes. Eine Leuchtdiode besteht aus Halbleiterverbindungen, durch die der Strom in Licht umgewandelt wird. Eine Diode besteht aus zwei verschiedenen Halbleitern, aus einem p-Leiter und einem n-Leiter. Vom n-Leiter bewegen sich die Elektronen zum p-Leiter und treffen dort auf positive Ladungen, sogenannte Löcher. An der Grenzschicht gleichen sich die positiven und die negativen Ladungen aus. Durch diese Elektronendiffusion wird, in der Nähe der Grenzschicht der n-Leiter positiv und der p-Leiter negativ geladen, wodurch sich ein elektrisches Feld in np-Richtung (von n-Leiter nach p-Leiter) einstellt. Dieses Feld verhindert ab einer bestimmten Stärke die weitere Diffusion von Elektronen.

Legt man nun eine elektrische Spannung und damit ein elektrisches Feld in pn-Richtung an, so wirkt dieses Feld dem E-Feld in der Grenzschicht entgegen und schwächt dieses ab. Hat das externe Feld eine bestimmte Grenzspannung, die Diffusionsspannung  $U_D$ , überschritten ist ein Ladungsaustausch zwischen n- und p-Leiter wieder möglich, es kann somit ein Strom durch die Diode fließen. Wenn an die Diode eine Spannung angelegt wird, werden die Elektronen mit der Energie

$$E = e_0 U \quad (1)$$

beschleunigt. Die Elektronen geben dabei ihre Energie in Form von Strahlung ab und regen die Atome im Gitterverbund des Halbleiters durch Abgabe von Energie zu Schwingungen an. Die Energiegleichung hat damit die Form

$$e_0 U = hf + A_S, \quad (2)$$

wobei  $A_S$  die Energie ist, die an die Gitteratome abgegeben wird. Die Wellenlänge  $\lambda$  beziehungsweise die Frequenz  $f$  des emittierten Photons, hängt im wesentlichen von der Energiedifferenz zwischen Leitungs- und Valenzband des verwendeten Halbleiters ab.

# 3 Durchführung

An einem Schaltbrett sind Leuchtdioden mit verschiedenen Wellenlängen angebracht. Fünf dieser Dioden werden vermessen. Sie werden nacheinander an eine Konstantstromquelle

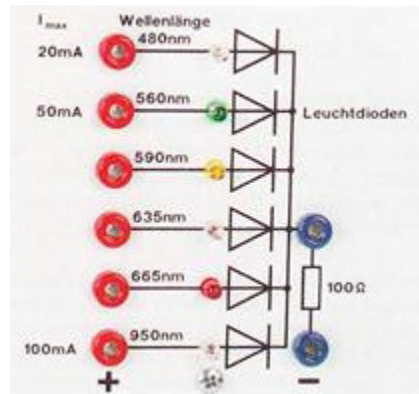


Abbildung 1: Das Schaltbrett mit den Leuchtdioden [1]

angeschlossen und parallel zur Diode wird eine Spannungsmessgerät angeschlossen. Nun werden Strom- und Spannungswertepaare aufgenommen.

## 4 Auswertung

Im folgenden Abschnitt sind während des Versuchs aufgenommenen Messwerte und die aus diesen berechneten Ergebnisse sowohl tabellarisch als auch grafisch dargestellt. An entsprechender Stelle sind Anmerkungen und Erklärungen zu den Rechnungen und Ergebnissen gegeben.

Die Messfehler der aufgenommenen Größen wurden allgemein mit der kleinsten Skaleneinteilung des jeweiligen Messgeräts angenommen.

### 4.1 Bestimmung der Dispersionsspannung von Dioden

Die für die fünf Dioden aufgenommenen Messwerte für Strom  $I$  und Spannung  $U$  sind für jeweils eine Diode in den Tabellen 1, 2, 3, 4 und 5 aufgelistet.

In den Abbildungen 2 bis 6 sind die Messwerte für die Stromstärke  $I$  gegen die der Spannung, der jeweiligen Diode, aufgetragen. In diesen Abbildungen befinden sich auch die jeweiligen Regressionsgeraden der Messwerte für den annähernd linearen Teil der  $I$ - $U$ -Kennlinie. Diese Regressionen wurden mit Hilfe der *Python*-Bibliothek *SciPy* [2] und dem Ansatz

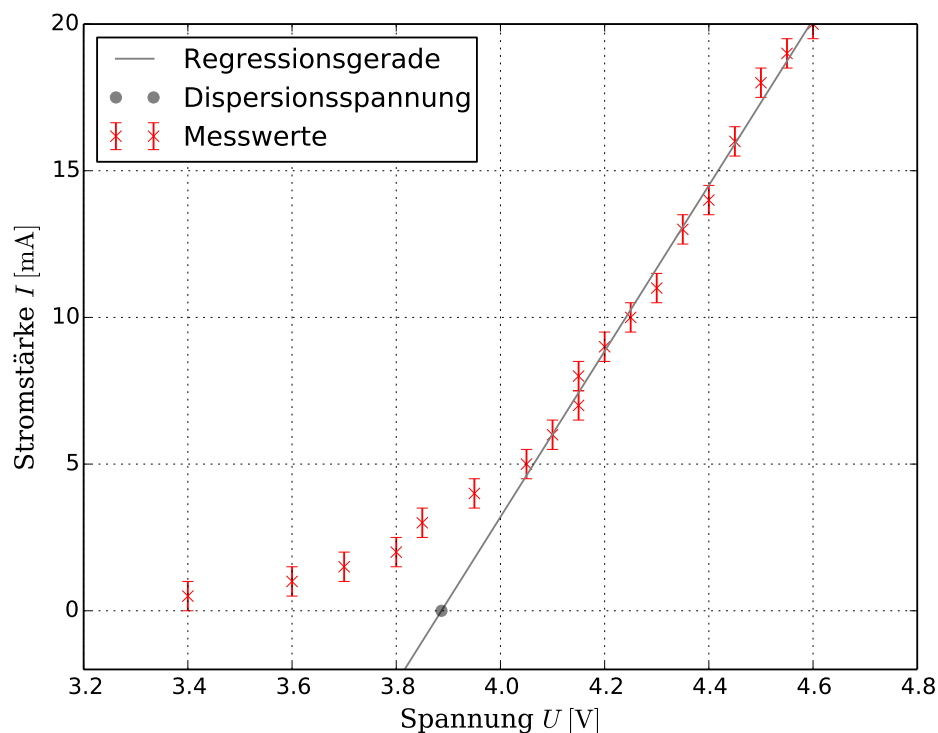
$$I(U) = A \cdot U + I_0 \quad (3)$$

bestimmt.

Die Parameter der fünf Regressionsgeraden sind in Tabelle 6 zu finden. In dieser Tabelle befinden sich ebenfalls die, als Nullstellen der Regressionsgeraden bestimmten, Dispersionsspannungen der jeweiligen Diode.

Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]	Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]
$4,60 \pm 0,05$	$20,0 \pm 0,5$	$4,15 \pm 0,05$	$7,0 \pm 0,5$
$4,55 \pm 0,05$	$19,0 \pm 0,5$	$4,10 \pm 0,05$	$6,0 \pm 0,5$
$4,50 \pm 0,05$	$18,0 \pm 0,5$	$4,05 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,5$
$4,45 \pm 0,05$	$16,0 \pm 0,5$	$3,95 \pm 0,05$	$4,0 \pm 0,5$
$4,40 \pm 0,05$	$14,0 \pm 0,5$	$3,85 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,5$
$4,35 \pm 0,05$	$13,0 \pm 0,5$	$3,80 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,5$
$4,30 \pm 0,05$	$11,0 \pm 0,5$	$3,70 \pm 0,05$	$1,5 \pm 0,5$
$4,25 \pm 0,05$	$10,0 \pm 0,5$	$3,60 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,5$
$4,20 \pm 0,05$	$9,0 \pm 0,5$	$3,40 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,5$
$4,15 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,5$	-	-

**Tabelle 1:** Messwerte der Spannung und des Stroms für die blaue Diode mit der Wellenlänge 465 nm



**Abbildung 2:** Grafische Darstellung der Messwerte für die  $I$ - $U$ -Kennlinie der blauen Diode und der Bestimmung der Dispersionsspannung

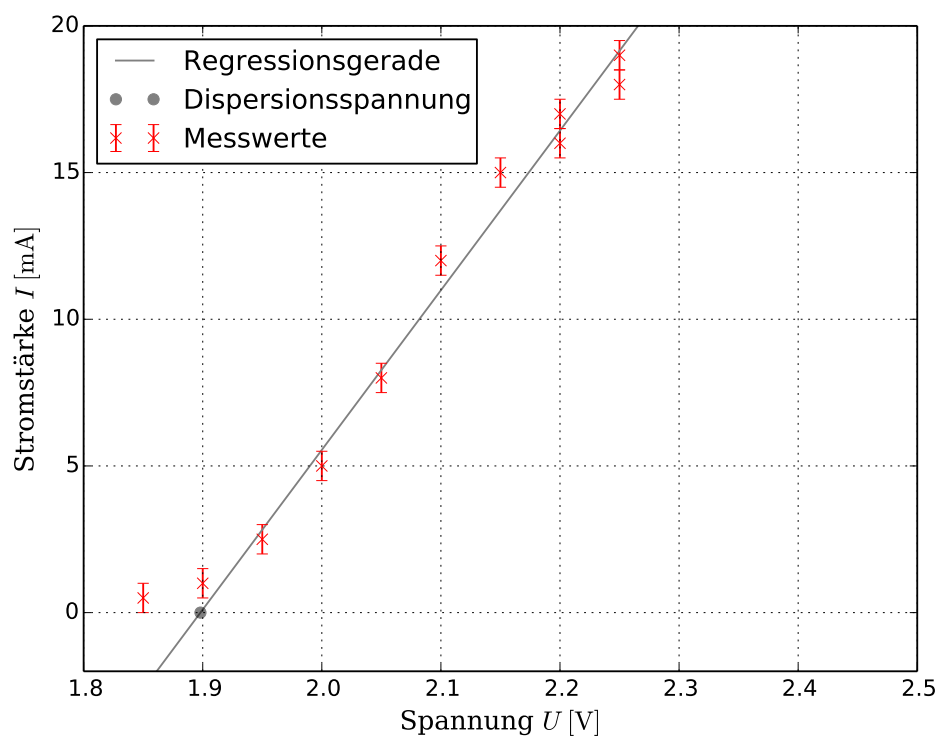
## 4.2 Bestimmung des Abhängigkeit der Dispersionsspannung von der Lichtfrequenz

Die Werte für die Dispersionsspannung  $U_D$  aus Tabelle 6 sind in Abbildung 7 gegen die Frequenzen des emittierten Lichtes der jeweiligen Diode aufgetragen.

Die lineare Regression wurde wiederum mit *SciPy* berechnet, wodurch sich die Parame-

Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]	Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]
$2,25 \pm 0,05$	$19,0 \pm 0,5$	$2,05 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,5$
$2,25 \pm 0,05$	$18,0 \pm 0,5$	$2,00 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,5$
$2,20 \pm 0,05$	$17,0 \pm 0,5$	$1,95 \pm 0,05$	$2,5 \pm 0,5$
$2,20 \pm 0,05$	$16,0 \pm 0,5$	$1,90 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,5$
$2,15 \pm 0,05$	$15,0 \pm 0,5$	$1,85 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,5$
$2,10 \pm 0,05$	$12,0 \pm 0,5$	-	-

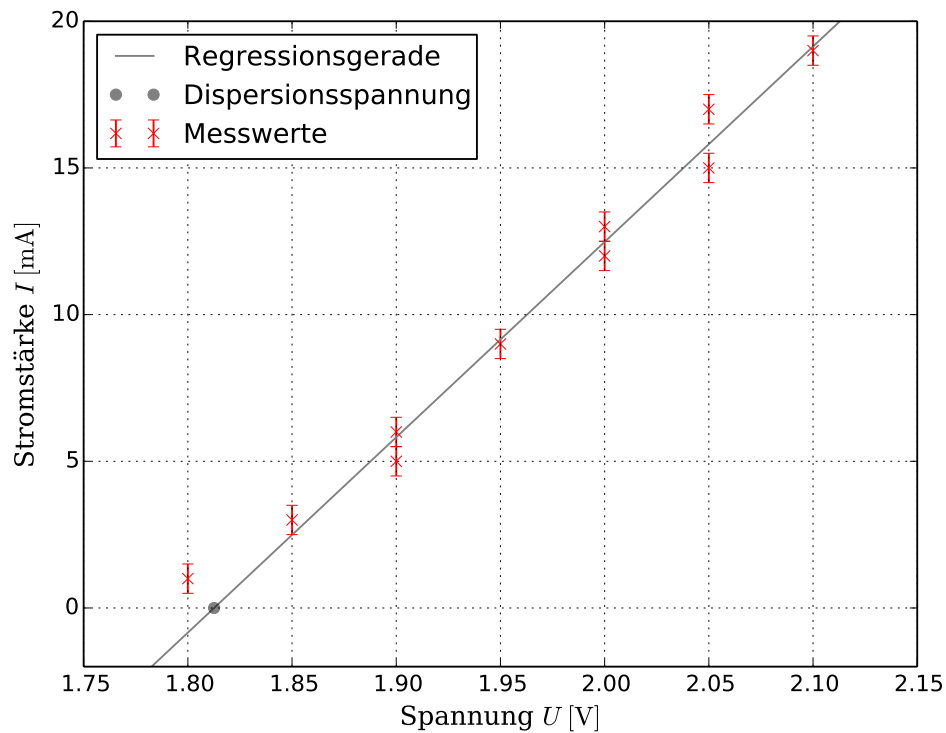
**Tabelle 2:** Messwerte der Spannung und des Stroms für die grüne Diode mit der Wellenlänge 565 nm



**Abbildung 3:** Grafische Darstellung der Messwerte für die  $I$ - $U$ -Kennlinie der grünen Diode und der Bestimmung der Dispersionsspannung

Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]	Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]
$2,10 \pm 0,05$	$19,0 \pm 0,5$	$1,95 \pm 0,05$	$9,0 \pm 0,5$
$2,05 \pm 0,05$	$17,0 \pm 0,5$	$1,90 \pm 0,05$	$6,0 \pm 0,5$
$2,05 \pm 0,05$	$15,0 \pm 0,5$	$1,90 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,5$
$2,00 \pm 0,05$	$13,0 \pm 0,5$	$1,85 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,5$
$2,00 \pm 0,05$	$12,0 \pm 0,5$	$1,80 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,5$

**Tabelle 3:** Messwerte der Spannung und des Stroms für die gelbe Diode mit der Wellenlänge 585 nm



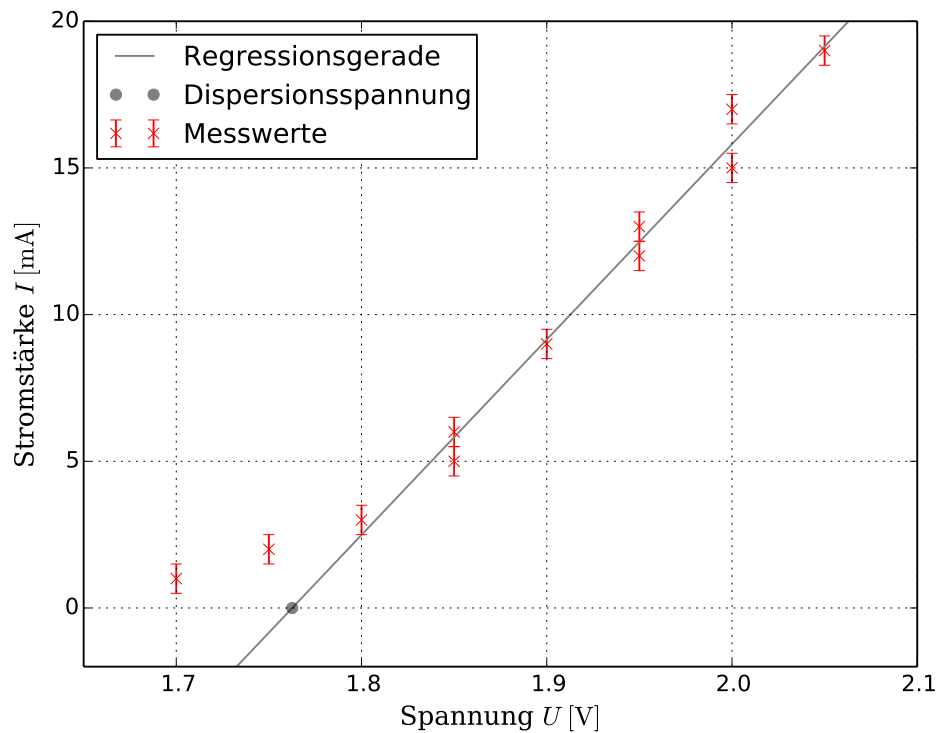
**Abbildung 4:** Grafische Darstellung der Messwerte für die  $I$ - $U$ -Kennlinie der gelben Diode und der Bestimmung der Dispersionsspannung

Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]	Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]
$2,05 \pm 0,05$	$19,0 \pm 0,5$	$1,85 \pm 0,05$	$6,0 \pm 0,5$
$2,00 \pm 0,05$	$17,0 \pm 0,5$	$1,85 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,5$
$2,00 \pm 0,05$	$15,0 \pm 0,5$	$1,80 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,5$
$1,95 \pm 0,05$	$13,0 \pm 0,5$	$1,75 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,5$
$1,95 \pm 0,05$	$12,0 \pm 0,5$	$1,70 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,5$
$1,90 \pm 0,05$	$9,0 \pm 0,5$	-	-

**Tabelle 4:** Messwerte der Spannung und des Stroms für die orangefarbene Diode mit der Wellenlänge 635 nm

Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]	Spannung $U$ [V]	Strom $I$ [A]
$2,25 \pm 0,05$	$19,0 \pm 0,5$	$2,05 \pm 0,05$	$9,0 \pm 0,5$
$2,25 \pm 0,05$	$17,0 \pm 0,5$	$2,05 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,5$
$2,20 \pm 0,05$	$16,0 \pm 0,5$	$2,00 \pm 0,05$	$6,0 \pm 0,5$
$2,15 \pm 0,05$	$14,0 \pm 0,5$	$1,95 \pm 0,05$	$4,0 \pm 0,5$
$2,15 \pm 0,05$	$13,0 \pm 0,5$	$1,90 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,5$
$2,10 \pm 0,05$	$11,0 \pm 0,5$	$1,85 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,5$

**Tabelle 5:** Messwerte der Spannung und des Stroms für die roten Diode mit der Wellenlänge 657 nm



**Abbildung 5:** Grafische Darstellung der Messwerte für die  $I$ - $U$ -Kennlinie der orangefarbenen Diode und der Bestimmung der Dispersionsspannung

Wellenlänge $\lambda$ [nm]	Frequenz $f$ [PHz]	Steigung $A$ [mA V <sup>-1</sup> ]	y-Achsenabschnitt $I_0$ [mA]	Dispersionsspannung $U_D$ [V]
465	0,645	$28 \pm 1$	$-110 \pm 3$	3,887
565	0,531	$54 \pm 3$	$-103 \pm 6$	1,898
585	0,512	$67 \pm 3$	$-121 \pm 6$	1,813
635	0,472	$67 \pm 3$	$-117 \pm 6$	1,763
657	0,456	$47 \pm 2$	$-88 \pm 3$	1,865

**Tabelle 6:** Regressionsparameter für die jeweils angegebenen Wellenlängen und Frequenzen

ter für den Ansatz

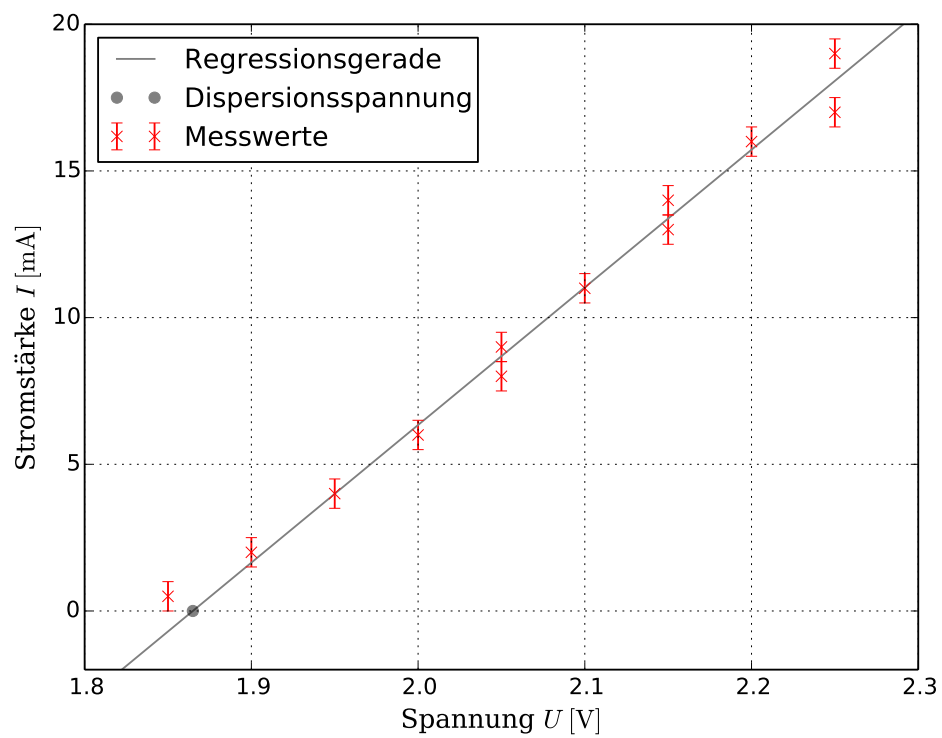
$$U(f) = B \cdot f + U_0 \quad (4)$$

$$B = (1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-14} \text{ V s} \quad (4a)$$

$$U_0 = (-4 \pm 2) \text{ V} \quad (4b)$$

ergeben. Der Theorie nach entspricht die Steigung dieser Geraden gerade dem Quotienten aus dem planckschen Wirkungsquantum  $h$  und der Elementarladung  $e_0$ , sodass

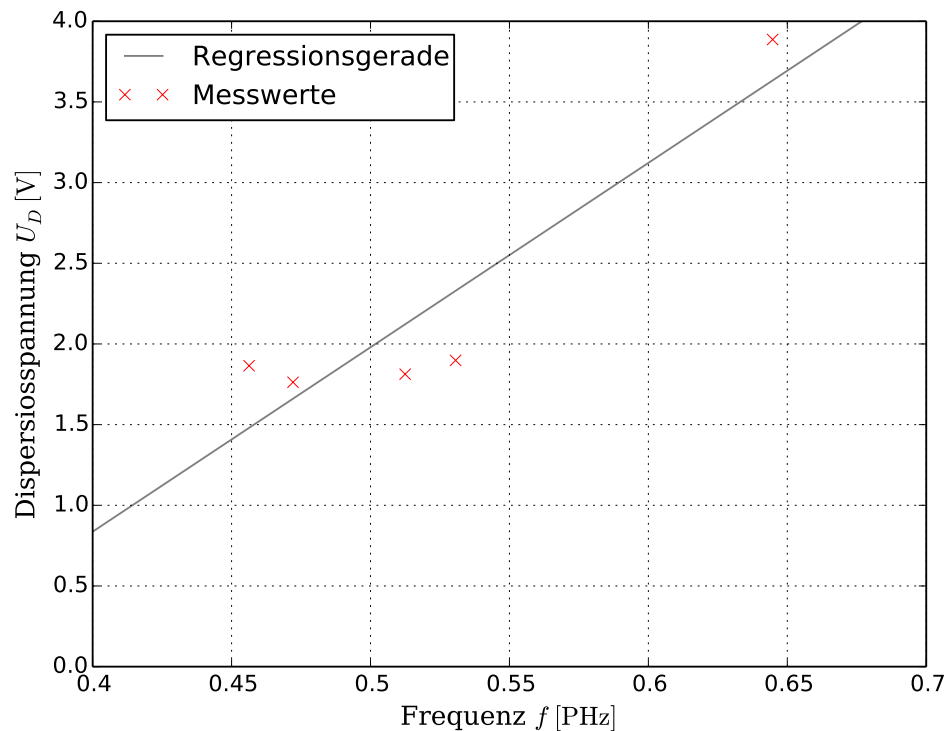
$$\frac{h}{e_0} = B = (1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-14} \text{ V s} \quad (5)$$



**Abbildung 6:** Grafische Darstellung der Messwerte für die  $I$ - $U$ -Kennlinie der roten Diode und der Bestimmung der Dispersionsspannung

gilt.





**Abbildung 7:** Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Dispersionsspannung und der Frequenz einer Diode mit Regressionsgerade

## 5 Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die in der Auswertung erhaltenen Ergebnisse noch einmal abschließend diskutiert und dabei auf ihre Plausibilität hin überprüft. Dabei wird auch Bezug auf den Versuchsaufbau und die -durchführung genommen.

Der erhaltene Wert für den Quotienten aus planckschem Wirkungsquantum und Elementarladung (5) weist mit einer relativen Abweichung von 180 % einen sehr großen Fehler zum Literaturwert  $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ V s}$  [2] auf. Dieser Fehler lässt sich durch die Genauigkeit der durchgeführten Messungen und dens somit abweichenden Dispersionsspannungen begründen. Dies fällt wegen der geringen Größenordnung der Naturkonstante  $h/e_0$  ins Gewicht, da so geringe Abweichungen der Messwerte für Strom und Spannung die in der Größenordnung  $10^1$  und  $10^{-3}$  aufgenommen wurden, große Auswirkung auf kleinere Größenordnungen haben.

## Literatur

- [1] Joachim Grehn , Joachim Krause. *Metzler Physik*. 4. Aufl. Bildungshaus Schulbuchverlage, 2007.
- [2] *SciPy*. URL: <http://docs.scipy.org/doc/> (besucht am 02.06.2014).