

Martin Lieberherr
MNG Rämibühl, martin.lieberherr@mng.ch

Abstandsgesetz mit Photodiode

1 Einleitung

Wie alle Lehrkräfte, die etwas auf sich halten, überarbeite ich von Zeit zu Zeit meine Unterlagen. Einen Praktikumsversuch zum $1/r^2$ -Gesetz für die Lichtintensität konnte ich modernisieren, weil neu digitale Multimeter mit Mikroampere-Auflösung zur Verfügung standen. Leider musste ich die Auswertung einen Schritt zurückfahren, denn dank “Bring Your Own Device” bringen meine Klassen meistens eine lausige Tablet-Version von Microsoft Excel mit. Die Gratisversion beherrscht standardmässig nur noch die lineare Regression; andere Ausgleichsfunktionen stehen nicht zur Verfügung oder sind hinter Kontextmenues versteckt, die in jeder Version auf andere Weise aufgerufen werden müssen.

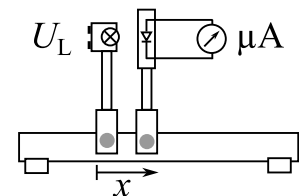
Im Praktikum soll das Abstandsgesetz $J \sim 1/r^2$ (Kepler, 1604) getestet werden. Die Lichtintensität J wird als Funktion des Abstands r von der Quelle mit einer Photodiode gemessen und mit der Theorie verglichen.

2 Experiment

Eine 6 V Glühlampe dient als Lichtquelle, siehe Abb. 1, und eine kleine Photodiode als Empfänger. Die Photodiode wird mit einem Fluke 15B+ Multimeter mit μA -Auflösung kurzgeschlossen.

Abbildung 1: Messaufbau auf optischer Schiene

Die Lampe im Halter auf dem Reiter bleibt fixiert, die Position x der Photodiode wird variiert. Wenn die Photodiode mit dem Mikroamperemeter kurzgeschlossen wird, ist die gemessene, elektrische Stromstärke J proportional zur Lichtintensität.

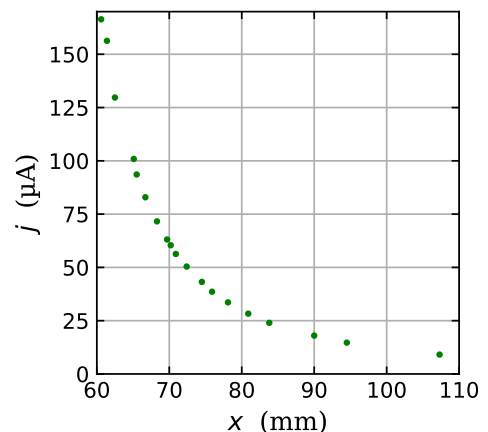


Der Photostrom J_1 bei eingeschalteter sowie der Untergrund J_0 bei ausgeschalteter Glühlampe werden für etwa zwanzig Positionen x der Photodiode gemessen. Dann wird der Untergrund subtrahiert: $J = J_1 - J_0$. Die Position x , d.h. der äussere Abstand der Reiter auf der optischen Schiene, wird mit der Schublehre mit 0.1 mm Auflösung gemessen. Diese Position unterscheidet sich um einen festen Wert x_0 vom Abstand r Glühwendel-Photodiode. Der Abstand r kann nur grob gemessen werden.

Abbildung 2: Gemessener Photostrom j in Mikroampere als Funktion der Photodiodenposition x in Millimetern

Die kleinste Position $x = 60.6 \text{ mm}$ entspricht einem Glühwendel-Photodiode-Abstand $r \approx 1.5 \text{ cm}$.

Wer dazu vorbereitet ist – meine Klassen sind es nicht – kann eine nichtlineare Ausgleichsrechnung mit der Funktion $J = a \cdot (x - x_0)^b$ versuchen. Als Resultat wird $b \approx -2$ erwartet.



3 Auswertung

Wir wollen die gemessenen Intensitäten respektive Photoströme $J(x)$ mit dem $1/r^2$ Gesetz vergleichen. Zu diesem Zweck werden die Messwerte so transformiert, dass sie auf einer Geraden liegen, falls das Abstandsgesetz erfüllt ist. Durch eine Ausgleichsrechnung kann dann der Offset x_0 bestimmt werden. Die lineare Regression wird auch von poor-man's Versionen des Standard-Tabellenkalkulationsprogramms beherrscht.

$$J = \frac{a}{r^2} \quad \text{Abstandsgesetz} \quad (1)$$

$$J = \frac{a}{(x - x_0)^2} \quad \text{Abstandsgesetz mit Offset} \Rightarrow (x - x_0) \sqrt{J} = \sqrt{a} \Rightarrow \quad (2)$$

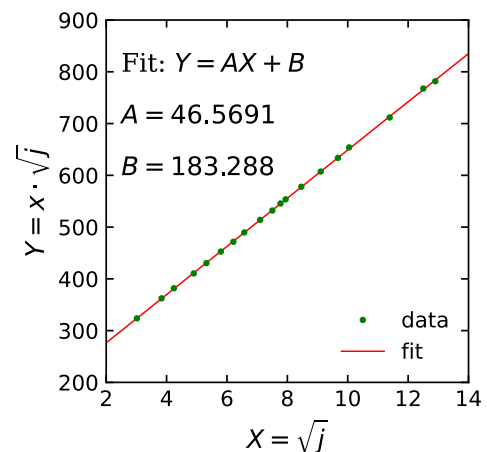
$$\underbrace{x \sqrt{J}}_Y = \underbrace{x_0}_A \underbrace{\sqrt{J}}_X + \underbrace{\sqrt{a}}_B \quad \underbrace{\text{transformiert}}_{\text{Geradengleichung}} \quad (3)$$

In Abbildung 3 ist $Y = x \sqrt{J}$ als Funktion von $X = \sqrt{J}$ graphisch dargestellt.

Abbildung 3: Transformierte Daten (Photostrom j in Mikroampere und Dienenkoordinate x in Millimetern) mit Ausgleichsgerade

Der Fitparameter A entspricht dem Offset x_0 . Der Wert ist kompatibel mit den in Abbildung 2 genannten Abständen: $60.6 \text{ mm} - 1.5 \text{ cm} \approx 46 \text{ mm}$.

Die Messwerte liegen auf einer Geraden, passen also im Rahmen der Zeichengenauigkeit zum $1/r^2$ -Gesetz.



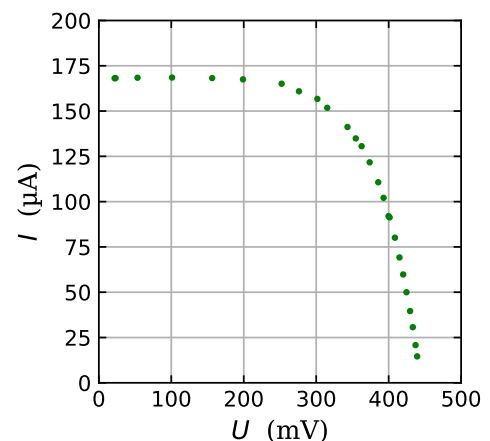
4 Nachlese

Wird ein Halbleitersensor – hier die Photodiode – verwendet, muss unbedingt dessen Charakteristik bestimmt werden, damit die Messungen korrekt kalibriert sind.

Abbildung 4: Strom-Spannung Charakteristik der verwendeten Photodiode

Die Photodiode wurde mit einem verstellbaren 25 Kiloohm-Widerstand verbunden. Der Widerstand wurde verändert und parallel elektrische Stromstärke und Spannung gemessen, während die Photodiode in geringem Abstand beleuchtet wurde. Im Kurzschlussregime ($U \approx 0$) stellt die Photodiode eine Konstantstromquelle dar. Der Innenwiderstand des Amperemeters beeinflusst die Messung somit kaum.

(Ein Solarmodul hat dieselbe Kennlinie mit anderen Zahlen. Wie muss die Impedanz der Abnahmeelektronik angepasst werden, damit möglichst viel Leistung abgegeben wird?)



Falls kein Mikroamperemeter zur Verfügung steht, kann die Photodiode mit einem $1 \text{ k}\Omega$ -Widerstand verbunden werden. Der Photostrom ist dann proportional zur Spannung (mV) über diesem Widerstand. $1 \text{ k}\Omega$ ist deutlich kleiner als U/I im Bereich des “Knies” in Abbildung 4.