

Grundpraktikum der Physik - Optik



Versuch 0

Messen, Auswerten, Darstellen

Durchführung am 30.04.2007

Gruppe 20

Betreuer: Christoph Rapp

21.05.2007

Nadine Kremer
nadine.kremer@uni-ulm.de

Rainer Pfeiffer
rainer.pfeiffer@uni-ulm.de

Inhaltsverzeichnis

1	Volumen eines Quaders	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Theorie - Fehlerrechnung	3
1.2.1	Fehlerarten	3
1.2.2	Statistische Fehler	3
1.2.3	Verteilung der Messwerte	4
1.2.4	Fehlerfortpflanzung	4
1.3	Messung und Auswertung	5
1.3.1	Messinstrumente	5
1.3.2	Messwerte	5
1.3.3	Berechnung	6
1.3.4	Fehlerrechnung	7
1.4	Zusammenfassung	8
2	Widerstandsmessung	9
2.1	Einleitung	9
2.2	Theorie	9
2.2.1	Widerstandskennwerte	9
2.2.2	Versuchsaufbau	9
2.3	Messung und Auswertung	9
2.4	Zusammenfassung	10
3	Genauigkeit der Winkelmessvorrichtung	11
3.1	Einleitung	11
3.2	Theorie	11
3.2.1	Versuchsaufbau	11
3.2.2	Interferenzmuster	12
3.3	Messung und Auswertung	12
3.3.1	Messwerte	12
3.3.2	Fehlerrechnung und Ergebnisse	13
3.4	Zusammenfassung	13
4	Helligkeit einer Lampe in Abhängigkeit des Winkels	14
4.1	Einleitung	14
4.2	Theorie	14
4.2.1	Versuchsaufbau	14
4.3	Messung und Auswertung	15
4.4	Zusammenfassung	16

1 Volumen eines Quaders

1.1 Einleitung

In der ersten Aufgabe ging es um eine möglichst genaue Vermessung eines Quaders. Zur Verfügung standen hierbei ein Messschieber und zwei Mikrometerschrauben. Aus den Messergebnissen sollte unter Beachtung angemessener Fehlerrechnung das Volumen und die Dichte bestimmt werden.

1.2 Theorie - Fehlerrechnung

1.2.1 Fehlerarten

Grundsätzlich gibt es drei Arten von Fehlern: grobe, systematische und statistische Fehler. Grobe Fehler entstehen durch Unachtsamkeiten oder Ungenauigkeiten des Experimentators und können immer durch sorgfältiges Überlegen und Vorgehen vermieden werden.

Systematische Fehler entstehen zum Beispiel durch Ungenauigkeiten der Messinstrumente oder Umwelteinflüsse. Sie können entdeckt werden, indem man eine Überschlagsrechnung der zu messenden Größen aufstellt und ergänzende und damit kontrollierende Messungen mit Hilfe anderer Messverfahren vornimmt.

Statistische Fehler sind zufällig und treten zum Beispiel auf Grund von Signalrauschen auf.

1.2.2 Statistische Fehler

Ein statistischer Fehler bezeichnet die Abweichung des Mittelwerts einer Stichprobe von dem Erwartungswert.

Da Messwerte Schwankungen unterliegen, gibt es für jede Stichprobe eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass sie das gesamte Ergebnis repräsentiert. Stichproben können zum Beispiel in einem Histogramm visualisiert und in Klassen ($x_i - \Delta x_i < x < x_i$) eingeteilt werden. Aus den Stichproben kann man den **Mittelwert** errechnen, der die Lage einer Verteilung beschreibt:

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \sum_{i=1}^a a_i x_i \quad (1)$$

A_i sind die „Häufigkeiten der in einer bestimmten Klasse fallender Messwerte“ a_i stellt die relative Häufigkeit dar.

Wird die Klassenbreite verringert und die Anzahl der Messung erhöht, erhält man eine differentielle Verteilungsfunktion. Oft ist es wichtig, eine solche Funktion mit der theoretischen Erwartung zu vergleichen und somit eine Theorie zu stützen oder zu widerlegen.

Desweiteren gibt es noch das geometrische und reziproke Mittel, wie auch den Median, welcher den Wert darstellt, bei dem gleich viele Werte links und rechts liegen. Der Median wird besonders dann angewandt, wenn die Messwerte eine hohe Streuung aufweisen.

Zusätzlich ist es notwendig die Breite einer Verteilung zu charakterisieren, was man durch Dispersionsgrößen bestimmt. Dabei gibt es den durchschnittlichen Fehler (s.u.) und die Varianz(s.u.). Die Varianz ist der quadrierte Wert der Standardabweichung

Durchschnittlicher Fehler:

$$d = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i |\bar{x} - x_i| \quad (2)$$

Varianz der Stichprobe:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (3)$$

Wobei

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

der Mittelwert ist. Den mittleren Fehler des Mittelwertes bei k Stichproben kann man durch

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{k}} \quad (5)$$

errechnen. Bei verschiedenen Stichproben schwanken Mittelwert und Varianz. Der mittlere Fehler des Mittelwertes ist um den Faktor \sqrt{n} kleiner als der mittlere Fehler der Einzelmessung s_m , deshalb erhält man erst ein doppelt so gutes Resultat, wenn man viermal mehr Messungen vornimmt.

1.2.3 Verteilung der Messwerte

Die Normalverteilung besagt, dass man innerhalb einer Varianz 68,3% aller Werte und innerhalb von 3 Varianzen 99,7% aller Werte vorfindet. Diese Verteilung findet besonders bei sehr vielen Messwerten Anwendung. Desweiteren gibt es noch die Binomialverteilung, die beispielsweise bei Würfelexperimenten angewandt wird und die Poisson-Verteilung.

1.2.4 Fehlerfortpflanzung

Fehler der Einzelgrößen beeinflussen natürlich auch das Endergebnis. Fließt dabei nur eine fehlerbehaftete Größe ein, kann man eine Taylorreihe der Ergebnisfunktion bilden und so den Fehler abschätzen.

Fließen jedoch nicht nur eine, sondern mehrere fehlerbehaftete Größen in das Ergebnis ein, müssen alle in der Fehlerrechnung berücksichtigt werden.

Bei systematischen Fehlern kann man das Fehlerfortpflanzungsgesetz linear aufstellen:

$$\Delta A = \sum_{k=1}^N \left| \frac{\partial A}{\partial a_k} \right| |\Delta a_k| \quad (6)$$

Den **Größtfehler** bei systematischen Fehlern ermittelt man durch:

$$\Delta F = \sum_{k=1}^n \left| \frac{\partial F}{\partial f_k} \right| |\Delta f_k| \quad (7)$$

Das **Gaussche Fehlerfortpflanzungsgesetz** gilt für statistische Fehler und wird in der Praxis meist in der Form für die Mittleren Fehler der Mittelwerte angewandt.

$$s_{\langle A \rangle}^2 = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial A}{\partial a_k} \right)^2 s_{\langle a_k \rangle}^2 \quad (8)$$

Dieses Gesetz gibt an, wie sich die Fehler der einzelnen Messungen auf das Gesamtergebnis auswirken.

1.3 Messung und Auswertung

1.3.1 Messinstrumente

Der verwendete Messschieber hatte eine Genauigkeit von 0,05 mm. Die Breite des Tiefenmessers betrug 1,97 mm (gemessen mit Mikrometerschraube). Die Dicke betrug 1,36 mm.

Die erste Mikrometerschraube hatte einen Messbereich von 0-25 mm und eine Genauigkeit von 0,01 mm.

Die zweite Mikrometerschraube wies einen Messbereich von 25-50 mm auf, die Genauigkeit lag bei 0,01 mm.

1.3.2 Messwerte

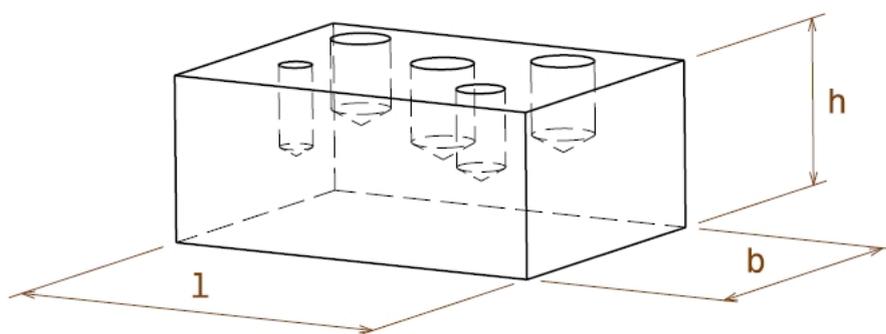


Abbildung 1: Quaderskizze

Es wurden pro Längenmessung fünf Messpunkte gesetzt. Dabei befanden sich vier der Messpunkte an den jeweiligen vier Ecken, der fünfte Messpunkt lag in der Mitte. Jeder Messpunkt wurde je zweimal mit der Mikrometerschraube und zweimal mit dem Messschieber gemessen. Die Länge des Quaders konnte nicht durch die Mikrometerschraube bestimmt werden, da ihr Messbereich nicht ausreichte.

In folgender Tabelle werden lediglich die arithmetischen Mittelwerte der gesamten Messwerte angegeben.

Tabelle 1: Kanten

l / mm	b / mm	h / mm
$59,81 \pm 0,05$	$45,52 \pm 0,05$	$25,15 \pm 0,05$

Daraus ergibt sich folgendes Volumen des reinen Quaders:

$$V_{\text{Quader}} = l * b * h = (68336 \pm 345,57) \text{ mm}^3$$

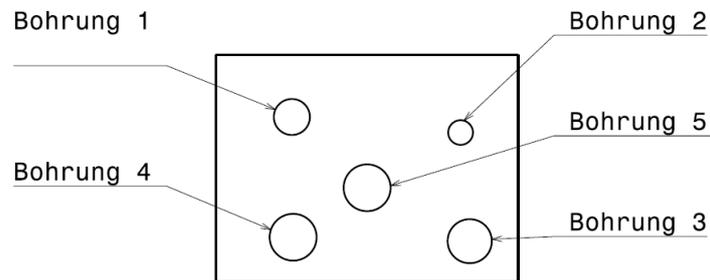


Abbildung 2: Bohrungen am Quader

An den fünf Bohrungen wurde jeweils in zwei Messreihen der Durchmesser d_i , die Tiefe am Rand der Bohrung r_i und die Tiefe in der Mitte der Bohrung t_i gemessen. In folgender Tabelle werden jeweils nur die arithmetischen Mittelwerte angegeben.

Tabelle 2: Bohrungen

i	d_i / mm	r_i / mm	t_i / mm
1	$7,150 \pm 0,05$	$11,725 \pm 0,05$	$12,825 \pm 0,05$
2	$4,925 \pm 0,05$	$12,125 \pm 0,05$	$12,300 \pm 0,05$
3	$8,675 \pm 0,05$	$10,550 \pm 0,05$	$12,125 \pm 0,05$
4	$9,300 \pm 0,05$	$11,025 \pm 0,05$	$11,500 \pm 0,05$
5	$9,300 \pm 0,05$	$11,750 \pm 0,05$	$13,675 \pm 0,05$

1.3.3 Berechnung

Aus den arithmetischen Mittelwerten ergeben sich folgende Volumina:

Tabelle 3: Volumina der Bohrungen

i	$V_{\text{Bohrung}_i} / \text{mm}^3$
1	$485,50 \pm 0,018$
2	$235,43 \pm 0,018$
3	$654,59 \pm 0,018$
4	$759,68 \pm 0,018$
5	$841,76 \pm 0,018$

$$V_{\text{Bohrungen}} = \sum_{i=1}^5 V_{\text{Bohrung}_i} = (2976,96 \pm 0,018) \text{ mm}^3$$

Das Gesamtvolumen ergibt somit zu

$$V_{ges} = V_{Quader} - V_{Bohrungen} = (65359,04 \pm 345,57) \text{ mm}^3$$

Die Masse des gesamten Quaders beträgt laut Angabe $m = (177,6 \pm 1) \text{ g}$. Daraus lässt sich die Dichte berechnen:

$$\rho = \frac{m}{V_{ges}} = (2,72 \pm 0,03) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

1.3.4 Fehlerrechnung

Da der Messschieber eine geringere Genauigkeit als die Mikrometerschraube aufweist, eine Länge aber auf Grund technischer Bedingungen nur mit dem Messschieber gemessen werden konnte, ergibt sich eine Ungenauigkeit pro Wert von 0,05 mm.

Die Volumenberechnung des reinen Quaders hängt von drei fehlerbehafteten Werten ab. Die einzelnen Fehler pflanzen sich in der Volumenberechnung fort, so dass eine Fehlerfortpflanzungsrechnung von Nöten ist.

Die statistischen Fehler wurden durch die arithmetische Mittelung der Einzelwerte bereits berücksichtigt, somit müssen nun noch die systematischen Fehler durch die Ungenauigkeit der Messgeräte berücksichtigt werden.

Bei der Fortpflanzung von statistischen Fehlern wird die Berechnung des Größtfehlers angewandt (siehe Gleichung 7).

$$\Delta V = \sum_{i=1}^3 \left| \frac{\partial V}{\partial f_i} \right| |\Delta f_i| = 268,32 \text{ mm}^3$$

Wobei ΔV den Größtfehler des Volumens, f_i die Kantenlängen und Δf_i den systematischen Messfehler darstellt. Als systematische Fehler wurden die Genauigkeiten der Messinstrumente eingesetzt. Aus den Messwerten wurde außerdem folgende Standardabweichungen des Mittelwerts berechnet:

$$s_l = 0,027 \text{ mm}$$

$$s_b = 0,220 \text{ mm}$$

$$s_h = 0,036 \text{ mm}$$

$$s_{Bohrungen} = 0,018 \text{ mm}$$

Dies ergibt einen statistischen Fehler (nach Gauß) für das Volumen von $345,57 \text{ mm}^3$

Der statistische Fehler ist größer als der Größtfehler. Dies ist zurückzuführen auf extrem unterschiedliche Messungswerte bei Messschieber und Mikrometerschraube in der Breite (siehe Laborbuch).

Normalerweise müsste der statistische Fehler wesentlich geringer sein als der Größtfehler.

Der Größtfehler in Bezug auf die Dichte stellt sich wie folgt dar:

$$\Delta \rho = \sum_{i=1}^2 \left| \frac{\partial \rho}{\partial f_i} \right| |\Delta f_i| = 0,030 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Dabei wurde der statistische Fehler als Fehler des Volumens und $\pm 1 \text{ g}$ als Fehler der Masse eingesetzt.

1.4 Zusammenfassung

Bei der Messung ergaben sich einige Probleme, die zu den Differenzen der Messergebnisse führten. Zum Einen war es schwierig, an exakt der selben Stelle des Quaders zu messen, da wir die Stelle nicht markieren wollten, um den Quader nicht zu verändern. Ein größeres Problem war die Verkantung und der unterschiedliche Anpressdruck bei der Benutzung des Messschiebers. Dies versuchten wir durch möglichst filigranes Arbeiten zu kompensieren, konnten dies jedoch nicht immer erreichen. Die Ungenauigkeit der Messapparatur sorgte auch für unterschiedliche Ergebnisse: Der Messschieber wies nur eine Genauigkeit von 0,05 mm auf, wobei die Mikrometerschraube eine von 0,02 mm hatte. Die Differenz von 0,03 mm konnten wir nicht ausgleichen, da die Mikrometerschraube einen zu geringen Messbereich zur Bestimmung der Länge des Quaders aufwies.

Bei der Tiefenmessung der Bohrungen ergab sich auch das Problem, dass der Tiefenmesser des Messschiebers eine zu große Dicke am unteren Ende aufwies. Dies wollten wir zuerst in unsere Volumenberechnungen miteinfließen lassen, entschieden uns dann aber dagegen, da dieser Fehler so klein ist, dass er im Gesamtergebnis kaum Auswirkungen hat und die Genauigkeiten der Messinstrumente weit mehr ins Gewicht fallen.

Die Unterschiede in den Messergebnissen lagen somit auch oftmals in der Tolleranz der Messgeräte, wodurch sich begründen lässt, dass wir den Mittelwert errechneten und mit diesem weitere Werte wie Volumen und Dichte berechneten. Auch berücksichtigten wir daher nicht alle Fehler, da diese eben in einem zu kleinen Bereich lagen.



2 Widerstandsmessung

2.1 Einleitung

Bei dieser Aufgabe sollten verschiedene Widerstände gemessen werden und zu jedem Standardabweichung und Mittelwert angegeben werden.

2.2 Theorie

2.2.1 Widerstandskennwerte

Widerstände sind von außen sichtbar durch einen Farbcode bezeichnet. Es gibt Widerstände mit 4 und Widerstände mit 5 oder 6 Ringen, wobei jeweils der äußere, etwas abgesetzte und oftmals dickere Ring die Tolleranz angibt. Der Unterschied zwischen Widerständen mit 4, 5 oder 6 Ringen ist ausschließlich die Genauigkeit der Angabe.

Um den Wert des Widerstandes angeben zu können, benötigt man eine Tabelle, die den Farbcode entschlüsselt (zum Beispiel auf www.hobbyelektroniker.de). Die ersten 2 bzw 3 Ringe (je nach der Anzahl der Ringe) werden zusammengenommen und mit dem 3. bzw. 4. Wert, dem Multiplikator, verrechnet.

Hat ein Widerstand 6 Ringe aufgedruckt, gibt der 5. den Temperaturkoeffizienten an.

2.2.2 Versuchsaufbau

Es standen verschiedene Widerstände zur Auswahl, wobei von jeder Art 5 Stück vorhanden waren. Pro Widerstand nahmen wir eine Messung vor, wobei wir ein selbstjustierendes Digitalmultimeter verwendeten.

2.3 Messung und Auswertung

Widerstand 1 hatte folgende Abfolge der farbigen Ringe: Braun - Schwarz - Schwarz - Gold - Gelb.

Daraus ermittelten wir den theoretischen Wert von 10Ω . Die Berechnung des arithmetischen

Tabelle 4: Widerstand 1

R1 / Ω	R2 / Ω	R3 / Ω	R4 / Ω	R5 / Ω
9,60	9,55	9,60	9,60	9,70

Mittelwertes führt zu einem Wert von $9,61 \Omega$, was einer Varianz von $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 =$

$\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_i - 9,61)^2 = 0,012$ somit einer Standardabweichung von $s = 0,110$ entspricht.

Widerstand 2 hatte folgende Abfolge der farbigen Ringe: Braun - Grün - Braun - Gold.

Daraus ermittelten wir den theoretischen Wert von 150Ω und eine Tolleranz von $\pm 5\%$.

Tabelle 5: Widerstand 2

R1 / Ω	R2 / Ω	R3 / Ω	R4 / Ω	R5 / Ω
148	147,7	147,7	148,4	148

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes führt zu einem Wert von 147,96 Ω , was einer Varianz von $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_i - 147,96)^2 = 0,0661$ somit einer Standardabweichung von $s = 0,257$ entspricht.

Widerstand 3 hatte folgende Abfolge der farbigen Ringe: Braun - Schwarz - Grün - Gold. Daraus ermittelten wir den theoretischen Wert von 1000000 Ω und eine Tolleranz von $\pm 5\%$.

Tabelle 6: Widerstand 3

R1 / M Ω	R2 / M Ω	R3 / M Ω	R4 / M Ω	R5 / M Ω
0,979	0,970	0,982	0,970	0,968

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes führt zu einem Wert von 0,974 Ω , was einer Varianz von $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_i - 0,974)^2 = 6,625 * 10^{-5}$ somit einer Standardabweichung von $s = 8,139 * 10^{-3}$ entspricht.

Widerstand 4 hatte folgende Abfolge der farbigen Ringe: Braun - Grau - Orange - Gold. Daraus ermittelten wir den theoretischen Wert von 18000 Ω und eine Tolleranz von $\pm 5\%$.

Tabelle 7: Widerstand 4

R1 / M Ω	R2 / M Ω	R3 / M Ω	R4 / M Ω	R5 / M Ω
17,91	18,05	18,05	18,06	17,82 M

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes führt zu einem Wert von 17,98 Ω , was einer Varianz von $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_i - 17,98)^2 = 0,0467$ und somit einer Standardabweichung von $s = 0,216$ entspricht.

2.4 Zusammenfassung

Bei der Messung der Widerstände mit Hilfe eines Multimeters ergab sich im Besonderen das Problem, an welcher Stelle des Widerstandes man die Kontaktklemmen ansetzen sollte. Zum Einen galt es natürlich dringend die Berührung des Kunststoffes zu Vermeiden, zum Anderen wollte man natürlich möglichst nahe am Widerstand selbst bleiben, damit nicht der Widerstand des Verbindungsdrahtes das Messergebnis unverhältnismäßig hoch verfälsche.

Zur Fehlerrechnung benutzen wir die Standardabweichung, da es sich um Abweichungen handelt, die zum einen durch das Multimeter bedingt sind oder auch durch die Tolleranz der Widerstände selbst, zum anderen aber auch, da sich bei der hier vorhandenen Einzelmessung keine Fehler fortpflanzen.

3 Genauigkeit der Winkelmessvorrichtung

3.1 Einleitung

Die optische Bank, welche im Grundpraktikum verwendet wird, ist mit einem drehbar gelagertem Arm ausgestattet. An der Drehachse ist ein Potentiometer montiert, das mit dem Arm gekoppelt ist und somit bei jedem eingestellten Winkel des Armes einen bestimmten Widerstand darstellt.

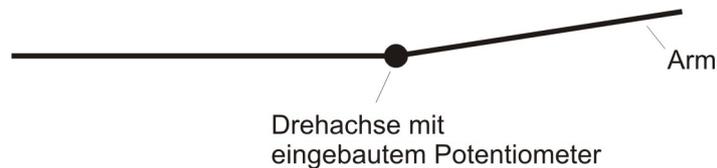


Abbildung 3: Optische Bank mit Dreharm

Über eine elektronische Schaltung kann eine Spannung abgegriffen werden, die von diesem Widerstand abhängig ist und somit in Relation zum Winkel des Armes gesetzt werden kann. Die Genauigkeit dieser Messvorrichtung soll nun überprüft werden.

3.2 Theorie

Um die Genauigkeit zu Bestimmen ist es nötig möglichst exakte Referenzwinkel einzustellen, die dann mit der Ausgangsspannung verglichen werden. Die exakte Einstellung eines bestimmten Winkels erwies sich als vorrangiges Problem, da nur wenige Hilfsmittel zur Verfügung standen. Eine Bestimmung des Winkels durch Trigonometrische Beziehungen hätte sehr genaue Streckenmessungen erfordert, die auf Grund des Aufbaus der optischen Bank nicht möglich waren. Es bietet sich jedoch an, auf einer optischen Bank, optische Effekte zu nutzen. Beugung und Interferenz sind solche Effekte, welche sich zur Lösung dieses Problems als geeignet erwiesen.

3.2.1 Versuchsaufbau

Verwendetes Zubehör:

- Laser mit Wellenlänge $\lambda = 675 \text{ nm}$
- Optisches Gitter mit Gitterkonstante $g = \frac{1}{300} \text{ mm}$
- Fotodiode
- Digitalmultimeter

Der Laser wurde mit Hilfe einer Lochblende so justiert, dass der Strahl direkt über der Symmetrieachse der optischen Bank verläuft. Das optische Gitter wurde genau auf der Drehachse des Armes, orthogonal zum Laserstrahl, montiert.

Skizze:

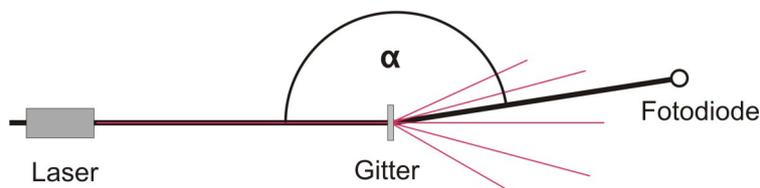


Abbildung 4: Versuchsaufbau zu Aufgabe 3

3.2.2 Interferenzmuster

Durch die Beugung der Lichtwelle am optischen Gitter entsteht ein charakteristisches Interferenzmuster mit Helligkeitsmaxima bei berechenbaren Winkeln zur optischen Achse. Diese Winkel α_k sind gegeben durch

$$\alpha_k = k \frac{\lambda}{g} \quad \text{mit} \quad k \in \mathbf{Z} \quad (9)$$

3.3 Messung und Auswertung

3.3.1 Messwerte

Mit Hilfe der Fotodiode wurden vier Hauptmaxima gemessen. Dabei wurde der Laserstrahl mit der Fotodiode durch Drehen des Armes "eingefangen" und bei maximaler Ausgangsspannung der Fotodiode die Spannung der Winkelmessvorrichtung gemessen.

Tabelle 8: Gemessene Maxima

k	Spannung U_k/mV	Erwarteter Winkel $\alpha_k/^\circ$	Quotient $q_k = U_k/\alpha_k$
0	181,1	180,00	1,006111111
1	169,0	168,32	1,004039924
2	156,4	156,63	0,998531571
3	142,4	144,95	0,982407727

3.3.2 Fehlerrechnung und Ergebnisse

Arithmetischer Mittelwert des Quotienten q :

$$\bar{q} = \frac{\bar{U}}{\bar{\alpha}} = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^3 \frac{U_k}{\alpha_k} = 0,9978 \frac{mV}{\circ}$$

Der Quotient ist nahezu konstant. Somit scheint der eingestellte Winkel direkt proportional zur Ausgangsspannung der Winkelmessvorrichtung zu sein. Der Umrechnungsfaktor liegt bei $0,9978 \approx 1$.

Standartabweichung der Stichprobe:

$$s = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{k=0}^3 (q_i - \bar{q})^2} = 0,0107 \frac{mV}{\circ}$$

Standartabweichung des Mittelwerts:

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{4}} = \frac{s}{2} = 0,0054 \frac{mV}{\circ}$$

3.4 Zusammenfassung

s_m entspricht der ermittelten Genauigkeit der Winkelmessvorrichtung. Jedoch sind die Messungen natürlich auch fehlerbehaftet.

Probleme hierbei:

- Laserstrahl nicht genau auf Symmetrieachse der optischen Bank
- Optisches Gitter nicht exakt auf Drehmittelpunkt und nicht exakt orthogonal montiert
- Schlechte Lagerung des Dreharms und somit Abweichungen in der Höhe der Fotodiode
- Ungenauigkeit des Multimeters (liegt bei 0,8%)

Es ist anzunehmen, dass die Messfehler größer sind als der Fehler der Winkelmessvorrichtung. Aber man kann sagen, dass die Winkelmessvorrichtung eine Genauigkeit von mindestens $\pm 0,0054 \frac{mV}{\circ}$ aufweist.

4 Helligkeit einer Lampe in Abhängigkeit des Winkels

4.1 Einleitung

In der vierten Aufgabe geht es um die Helligkeitsverteilung einer Halogenlampe im Bezug auf den Abstrahlwinkel.

Dabei soll mit Hilfe einer Fotodiode die Helligkeit an bestimmten Winkeln zur optischen Achse gemessen werden.

4.2 Theorie

Es wird angenommen, dass die Helligkeit auf der optischen Achse am größten ist und bei zunehmender Entfernung zur Achse abnimmt.

4.2.1 Versuchsaufbau

Verwendetes Zubehör:

- Halogenlampe
- Fotodiode
- Digitalmultimeter

Die Lampe wird möglichst nahe an der Drehachse des Armes befestigt, da sie leider nicht auf der Drehachse montiert werden kann.

Am äußeren Ende des Armes wird die Fotodiode befestigt.

Skizze:

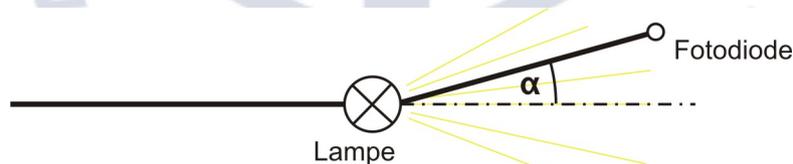


Abbildung 5: Versuchsaufbau zu Aufgabe 4

Um die optische Bank herum wurden schwarze Bretter platziert um das störende Streulicht zu reduzieren. Außerdem wurde das Licht im Raum ausgeschaltet.

4.3 Messung und Auswertung

Aus Symmetriegründen reicht eine Messreihe in eine Richtung (für $\alpha \geq 0$). Nach ersten Testmessungen war klar, dass bei zu großen Messwinkeln keine sinnvolle Werte mehr herauskamen. Daher wurde der Messbereich auf $0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ festgelegt.

Tabelle 9: Messwerte zur Helligkeitsverteilung

$\alpha / ^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U / mV	757	641	526	407	329	264	211	169	131	100	80

Aus den Messwerten konnte folgendes Diagramm erstellt werden:

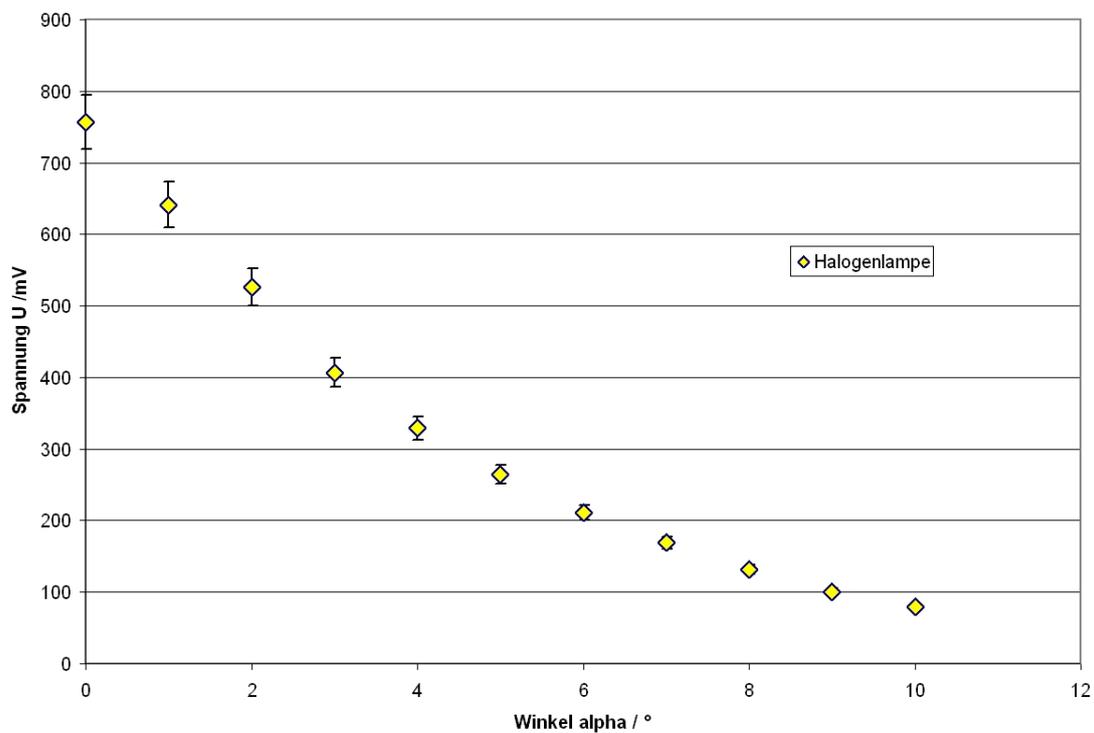


Abbildung 6: Diagramm zur Helligkeitsverteilung

4.4 Zusammenfassung

Bei der Messung war natürlich problematisch, dass die Halogenlampe nicht auf der Drehachse positioniert werden konnte, wobei dieser Fehler für die Diskussion zur Helligkeitsverteilung unerheblich sein dürfte.

Außerdem war auf Grund vieler äußerer Einflüsse keine genaue Messung möglich. Das größte Problem stellte das Streulicht der Lampen der benachbarten Arbeitsplätze dar, ein weiteres war die streng genommen unsymmetrische Verarbeitung der Glühbirne: In der Mitte des Glases befand sich aufgedruckter Text und der Glühwdragt lag nicht genau symmetrisch zur Achse, an Hand derer die Helligkeit gemessen wurde.

Die Helligkeit nimmt offensichtlich exponentiell mit dem Abstand zur optischen Achse ab. Das emittierte Licht des Glühdrahtes breitet sich jedoch gleichförmig im Raum aus. Man kann näherungsweise von einer punktförmigen Lichtquelle ausgehen.

Die exponentielle Helligkeitsverteilung muss daher auf die Geometrie des Reflektors zurückgeführt werden, welcher die Lichtstrahlen in eine Richtung bündelt. Eine einfache Glühlampe ohne Reflektor müsste eine gleichmäßige Helligkeitsverteilung (von Messfehlern abgesehen) aufweisen.



Tabellenverzeichnis

1	Kanten	5
2	Bohrungen	6
3	Volumina der Bohrungen	6
4	Widerstand 1	9
5	Widerstand 2	9
6	Widerstand 3	10
7	Widerstand 4	10
8	Gemessene Maxima	12
9	Messwerte zur Helligkeitsverteilung	15

Abbildungsverzeichnis

1	Quaderskizze	5
2	Bohrungen am Quader	6
3	Optische Bank mit Dreharm	11
4	Versuchsaufbau zu Aufgabe 3	12
5	Versuchsaufbau zu Aufgabe 4	14
6	Diagramm zur Helligkeitsverteilung	15

Literatur

- [1] Horst Kuchling: *Taschenbuch der Physik* Fachbuchverlag Leipzig, 18. Auflage (2004)