

UNIVERSITÄT GRAZ



KARL-FRANZENS-UNIVERSITÄT GRAZ  
INSTITUT FÜR PHYSIK

23S PHY.L02UB FORTGESCHRITTENPRAKTIKUM 2 LU

678 Bachelorstudium Physik, UG2002/2021W

## II. Interferometrie

Wachmann Elias      Zach Andreas  
12004232            12004790  
Gruppe 12

Betreut von  
BSc. MSc. Thomas Georg BONÉ

10.03.2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Grundlagen . . . . .</b>	<b>3</b>
2.1 Young'scher Doppelspalt . . . . .	3
2.2 Shearing-Interferometer / Wellenfront-Analyse . . . . .	4
2.3 Polarisation . . . . .	5
2.4 Michelson-Interferometer . . . . .	5
<b>3 Geräteliste . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>4 Versuchsaufbau . . . . .</b>	<b>8</b>
4.1 Young'scher Doppelspalt . . . . .	8
4.2 Shearing Interferometer . . . . .	8
4.3 Polarisation . . . . .	9
4.4 Michelson Interferometer . . . . .	10
<b>5 Versuchsdurchführung . . . . .</b>	<b>10</b>
5.1 Young'scher Doppelspalt . . . . .	10
5.2 Shearing Interferometer . . . . .	13
5.3 Polarisation . . . . .	13
5.4 Michelson Interferometer . . . . .	13
<b>6 Auswertung . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>7 Diskussion . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>8 Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>13</b>

## 1 Aufgabenstellung

Der folgende Laborversuch gliedert sich in 4 Teilversuche welche sich abermals wie folgt in Unterversuche glieder:

- Young'scher Doppelspalt
  - Bestimmen des Beugungsmusters von vier Doppelspalten mit unterschiedlichen Spaltbreiten und Spaltabständen.
  - Daraus Berechnung der Wellenlänge des Lasers.
  - Erklärung der Beugungsmuster durch Vergleich mit errechneten Mustern.
  - Bestimmung der Beugungsmuster eines Liniengitters und vergleich mit errechneten Werten.
  - Bestimmung der Gitterkonstante
- Wellenfront-Analyse / Shearing Interferometer
- Polarisation
  - Verifizieren des Gesetzes von Malus
  - Untersuchung des Einflusses des Durchlasswinkels eines weiteren Polarisators zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren.
- Michelson Interferometer
  - Justieren und generieren von konzentrischen Interferenzmustern.
  - Bestimmung der Wellenlänge des Lasers durch Weglängenänderung.
  - Untersuchung des absoluten Weglängenunterschieds in den beiden Interferometerarmen, sowie Auflösung und Stabilität des Interferometers.
  - Untersuchung der Rolle der Polarisation auf die Interfenzfähigkeit des Laserlichts.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Young'scher Doppelspalt

Bescheint man mit einer Lichtquelle zwei eng beieinander liegende Spalte mit dem Abstand  $d$  in einem ansonsten undurchsichtigen Schirm, so wirkt die Spalte als kohärente Lichtquellen (Anmerkung: Dies ist evident für einen kohärenten Lichtquelle, gilt für eine thermische Lichtquelle aber nur unter bestimmten Bedingungen, jenen der räumlichen Kohärenz). Die Wellen aus den Spalten überlagern sich in Abhängigkeit vom Beobachtungswinkel konstruktiv oder destruktiv, was auf einen Schirm projiziert eine Abfolge an Intensitätsmaxima und -minima ergibt. Unter der Bedingung, dass der Abstand zwischen

Doppelspalt und Beobachtungsebene viel größer als der Spaltabstand  $d$  ist, ergibt sich der optische Gangunterschied in die durch den Winkel  $\phi$  definierte Richtung als ( $\lambda$  Wellenlänge)

$$\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \phi \quad (1)$$

Mit der Näherung  $\sin \phi \approx x/z$  (erfüllt für große Abstände  $z$  zwischen Doppelspalt und Schirm) ergibt sich ein Streifenmuster mit der Periode  $x$  der Form

$$I(x)_{\text{Interferenz}} = I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi x d}{\lambda z}\right) \quad (2)$$

Dafür wurde die endliche Breite des Spalts vernachlässigt bzw. ein unendlich schmaler Spalt angenommen. Tatsächlich überlagert sich dem Interferenzmuster das Beugungsmuster des Einzelpalts, das i.A. symmetrisch mit zu größeren Winkeln hin abnehmender Intensität ist. Ein einzelner rechteckiger Spalt der Breite  $D$  führt zu einem Beugungsmuster der Form

$$I(x)_{\text{Beugung}} = I_0 \frac{\sin^2 \frac{\pi D x}{\lambda z}}{\left(\frac{\pi D x}{\lambda z}\right)^2} \quad (3)$$

Das Beugungsmuster des Doppelspalts ergibt sich multiplikativ als  $I(x) = I(x)_{\text{Interferenz}} \cdot I(x)_{\text{Beugung}}$ .

## 2.2 Shearing-Interferometer / Wellenfront-Analyse

Das Erscheinungsbild von optischen Interferenzmustern ist sowohl durch die Natur der Lichtwelle als auch der optischen Grenzflächen bestimmt, man denke an die farbigen Interferenzen auf Seifenblasen. Entsprechend ist es möglich, aus der Beobachtung von Interferenzen an Grenzflächen bekannter Geometrie auf die Eigenschaften der Lichtwelle zu schließen.

Beim Shearing-Interferometer handelt es sich um ein simples Interferometer, mit dem bestimmt werden kann, ob ein Lichtstrahl kollimiert, konvergent oder divergent ist. Dazu trifft das Licht unter  $45^\circ$  auf eine Glasplatte, welche keilförmig ausgeführt ist. Durch die Reflexion an der vorderen und hinteren Fläche der Glasplatte entstehen zwei reflektierte Strahlen (Abb. 5a), in deren Überlappungsbereich Interferenz auftritt (Abb. 5b). Durch die keilförmige Geometrie führt dies für einen kollimierten Strahl zu einem zur Einfallsebene des Lichts parallelen Streifenmuster (Abb. 5b). Ein konvergierender bzw. divergierender Strahl führt dagegen nach Abb. 5b zu einem gedrehten Streifenmuster. Aus dem lateralen Versatz der beiden reflektierten Strahlen  $l$ , dem Streifenabstand  $s$  und dem (bezogen auf die Senkrechte) Winkel der Interferenzstreifen  $\Theta$  (siehe Abb. 5b) lässt sich der Radius  $r$  der Wellenfront mit  $r = ls/\lambda \sin \Theta$  berechnen.

## 2.3 Polarisation

Für den Fall linearer Polarisation gilt für die transmittierte Intensität durch einen Polarisator mit der Durchlassrichtung entlang der durch den Winkel Null definierten Richtung das Gesetz von Malus.

$$I(\alpha) = I_0 \cos^2 \alpha \quad (4)$$

Die nicht transmittierte Intensität wird je nach Art des Polarisators absorbiert oder reflektiert. Die Polarisation ist entscheidend für die Interferenzfähigkeit von Licht, es gelten die vier Gesetze nach Fresnel und Arago (**siehe dazu auch einen entsprechenden Versuch mit dem Michelson-Interferometer**).

- In dieselbe Richtung linear polarisierte Lichtstrahlen interferieren (wie nicht polarisiertes Licht).11
- Zueinander senkrecht linear polarisierte Lichtstrahlen interferieren nicht (mit den folgenden Einschränkungen).
- Zueinander senkrecht linear polarisierte Lichtstrahlen interferieren, wenn sie ursprünglich dieselbe Polarisationsebene besaßen und wieder in diese zurückgeführt werden.
- Zueinander senkrecht linear polarisierte Lichtstrahlen interferieren nicht, wenn sie in dieselbe Polarisationsebene zurückgeführt werden, diese aber nicht ursprünglich besaßen.

## 2.4 Michelson-Interferometer

Der prinzipielle Strahlengang eines Michelson-Interferometers ist in Abb. 8 dargestellt. Ein Lichtstrahl aus einer (Laser-)Quelle (1) wird an einem Strahlteiler (2) aufgeteilt. Der Strahlteiler ist ein dünnes Glasplättchen mit einer teilreflektierenden Schicht auf einer Fläche. Die beiden resultierenden Lichtstrahlen werden an zwei Spiegeln reflektiert und am Strahlteiler wieder vereint. Die Lichtstrahlen im Detektorarm treffen auf den Schirm (4), wo sie sich in Abhängigkeit vom Unterschied der Weglängen  $s_1$  und  $s_2$  überlagern. Für ebene Wellen der Form

$$E(x,t) = E_0 \exp\{\omega t - kx\} \quad (5)$$

ist die Lichtintensität am Beobachtungsschirm gegeben durch

$$I = 1/4c\epsilon_0 E_0^2 (1 + \cos \Delta\phi) \quad (6)$$

wobei  $\Delta\phi$  die Phasendifferenz bezeichnet, die mit dem Unterschied der Weglängen  $\Delta s = |s_1 - s_2|$  nach  $\Delta\phi = (2\pi/\lambda)\Delta s$  zusammenhängt.

Es stellt sich die Frage, wo bei destruktiver Interferenz im Detektorarm die Energie der Lichtwellen bleibt. Tatsächlich hat das Interferometer ja zwei „Ausgänge“, wobei einer eben zum Beobachtungsschirm, der zweite zurück zum Laser führt. Tatsächlich beobachtet man

in zweiterem konstruktive Interferenz, wenn am Schirm destruktive Interferenz (also keine Lichtintensität) zu beobachten ist.

Das am Schirm beobachtete Interferenzmuster reagiert empfindlich auf kleine Änderungen in der Richtung des einfallenden Laserstrahls und in der Ausrichtung der Spiegel. Gleichzeitig sind diese Änderungen durch den nur wenige mm durchmessenden Strahl schwer zu beobachten. Deshalb wird der Strahl durch eine Linse aufgeweitet, was zwischen Laser und Strahlteiler oder zwischen Strahlteiler und Schirm geschehen kann. Ersteres führt zu einem konzentrischen Interferenzmuster, zweiteres zu parallelen Interferenzstreifen. Wie in Abb. 9a skizziert, können divergierende Strahlen auf (bei Vorliegen eines Weglängenunterschieds  $\Delta s$  zwischen den beiden Interferometerarmen) auf zwei virtuelle Lichtquellen A und B zurückgeführt werden, wodurch sich das Auftreten eines konzentrischen Interferenzmusters erklärt. Gleichzeitig kann dieses genutzt werden, um die Interferometerarme auf die gleiche Länge einzustellen (im Prinzip auf einen Bruchteil der Wellenlänge), da sich dabei nach Abb. 9b die Größe des zentralen Interferenz“spots“ maximiert. Alternativ könnte dazu eine breitbandige Lichtquelle mit geringer Kohärenzlänge verwendet werden, wobei die Kohärenzlänge durch die Verwendung von Bandpassfiltern erhöht werden kann.

### 3 Geräte liste

Für den praktischen Aufbau und die Messungen der geforderten Größen wurden die in Tabelle 3.1 aufgelisteten Geräte und Hilfsmittel verwendet.

**Tabelle 3.1:** Verwendete Geräte und wichtige Materialien

Gerät	Hersteller	Modell	Messbereich / Unsicherheit	Inventar-Nr.
Laser	Thorlabs	CPS532	$\lambda = 532$	22442-S01
diverse Spiegel	Thorlabs	KM100	-	-
Graufilter	Thorlabs	NX1N/M	-	-
Doppelpalte	Phywe	0852300	-	-
Gitter	Phywe	0852400	-	-
Optischer Tisch	-	-	-	-
diverse Halterungen	Thorlabs	-	-	-
Sammellinse	Thorlabs	FMP1/M	$f = 40 \text{ mm}$	-
Zerstreuungslinse	Thorlabs	FMP1/M	$f = -16 \text{ mm}$	-
Shearing-Interferometer	Thorlabs	nicht vorhanden	-	-
Lichtintensitätsmesser	Sauter	SO 200k	$\Delta I = (\pm 3\% \text{rdg} \pm 0.5\% \text{fs}) \cdot I$	51152203
Polarisationsfolie	Nitto denko	-	-	-
Maßband	Schuller Eh klar	Power Tape 3 m	Klasse 2	-
Michelson Interferometer	-	-	-	-
Rohr	-	-	-	-
diverse Abbildungsschirme	Wand, Papier, Tür, etc.	-	-	-
Mobiltelefon	OnePlus	8-Pro	-	-

Die verwendeten Doppelpalte haben folgende Abmessungen in ??: **TABELLE FEHLT NOCH!**

#### Anmerkung zu den Unsicherheiten:

Zur Unsicherheitsangabe werden die jeweiligen Unsicherheitsmaße der Geräte, welche aus den Datenblättern (sofern vorhanden) entnommen werden, verwendet. Für die analogen Messgeräte wird eine kombinierte Ablese- und Mess-Unsicherheit von  $\pm 1$  Skalenstrich verwendet.

Alle Teilversuche wurden bei einer Umgebungstemperatur von  $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$  einem Luftdruck von  $(1000 \pm 10) \text{ hPa}$  und einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $(33 \pm 1)\%$  durchgeführt.

## 4 Versuchsaufbau

### 4.1 Young'scher Doppelspalt

Für den Aufbau zum Versuch Young'scher Doppelspalt wird der Laser mittels zwei Spiegel auf das Plättchen mit den 4 verschiedenen (siehe ??) Doppelspalten gelenkt. Der Abstand vom Doppelspalt wird zu  $(2520 \pm 5)$  mm - wobei hier noch zur vom Maßband gegebenen Unsicherheit von 1,1 mm eine weitere Unsicherheit durch das Messen in der Luft hinzukommt - bestimmt. Der Aufbau in Abbildung 4.1 zeigt den optischen Tisch, der Schirm ist rechts im oben angeführten Abstand an der Wand befestigt.



Abbildung 4.1: Aufbau young'scher Doppelspalt

### 4.2 Shearing Interferometer

Der Aufbau des Shearing Interferometers ist in Abbildung 4.2 gegeben. Dabei wird der untere Spiegel aus dem vorhergehenden Versuch wieder verwendet und der Laserstrahl auf die Frontalebene - welche um  $45^\circ$  zur Tischemebene geneigt ist - gelenkt.



Abbildung 4.2: Aufbau Shearing Interferometer **CITE THIS!!!!**

**Anmerkung zum Versuch:** Da sich das Shearing Interferometer leider zum Zeitpunkt der Übung in Reparatur befand, wird der Versuch im folgenden hypothetisch abgehandelt.

### 4.3 Polarisation

Anstelle des Shearing Interferometers werden jetzt zwei Polarisationsfilter in den Laserstrahl eingebracht. Nach dem zweitem Filter trifft der Laser auf einen Lichtintensitätsmesser welcher, wie in Abbildung 4.3 ersichtlich, durch ein Rohr von sonstigen Lichteinflüssen abgeschirmt wird.



Abbildung 4.3: Aufbau Polarisation

#### 4.4 Michelson Interferometer

Nun wird auch der letzte verbleibende Spiegel aus dem Strahlengang des Lasers gegeben und der Laserstrahl trifft so direkt auf das in Abbildung 4.4 rechts gezeigte Michelson Interferometer. Wie gut in der Abbildung ersichtlich ist, wird der Strahl im Michelson Interferometer in die beiden Arme aufgeteilt. Nach letzlicher Zusammenführung der beiden Strahlen trifft der resultierende Strahl auf den Schirm. Zum untersuchen verschiedenen Effekte wird eine Sammel- bzw. Zerstreuungslinse in den Strahlengang zwischen Laser und Michelsoninterfereometer eingebracht.



Abbildung 4.4: Aufbau Michelson Interferometer

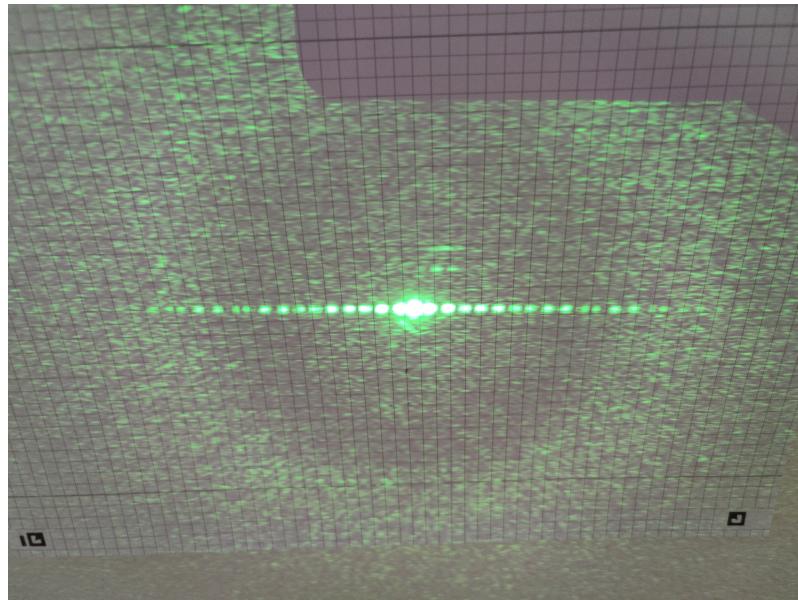
### 5 Versuchsdurchführung

Vor jedem Teilversuch wird nochmals überprüft, ob sich ein sinnvoller optischer Weg ergibt und der Laser nicht unkontrolliert oder ungewollt in nicht beabsichtigte Richtungen abgelenkt wird. Weiters wird stets darauf geachtet, dass man nicht mit Gegenständen welche „unkontrolliert“ reflektieren (z.B. Ring, Schraubenzieher) in den Strahlengang kommt.

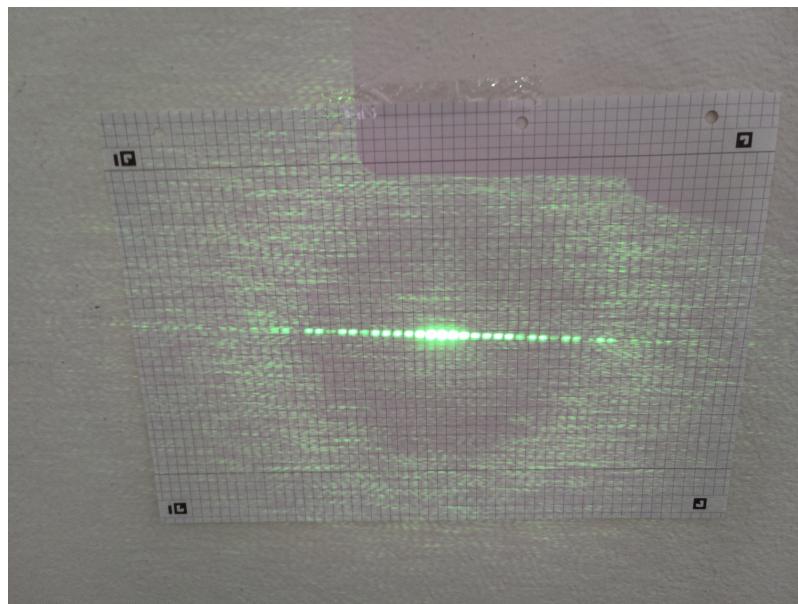
#### 5.1 Young'scher Doppelspalt

Der Versuch wird gemäß der Beschreibung in Unterabschnitt 4.1 aufgebaut und die in ?? angeführten Doppelpalte werden der Reihe nach vom Laser durchstrahlt. Der  $l_{\text{Schirm}} = (2520 \pm 5) \text{ mm}$  entfernte Schirm - ein karriertes A4-Blatt an der Wand - wird nun vom sich ergebendem Interferenzmuster beleuchtet.

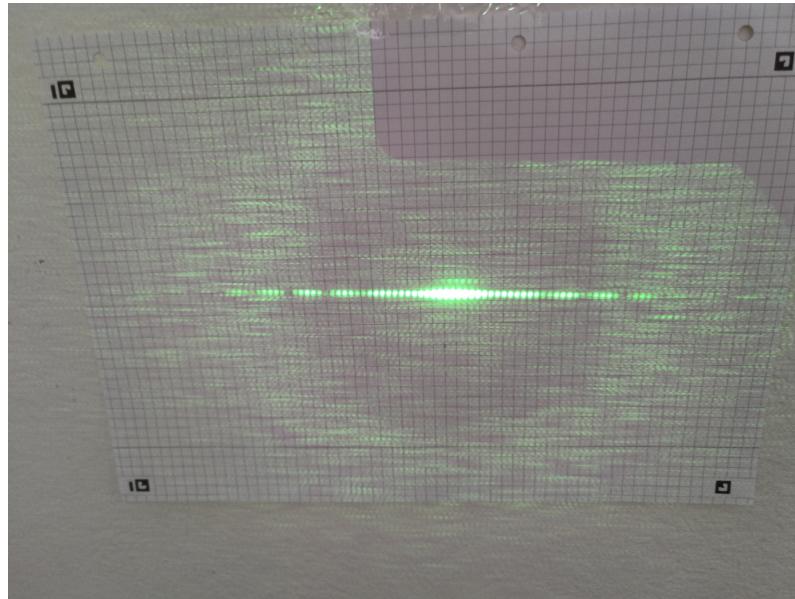
Es ergeben sich für die 4 Doppelspalte folgende Bilder in den Abbildungen 5.1 bis 5.2.



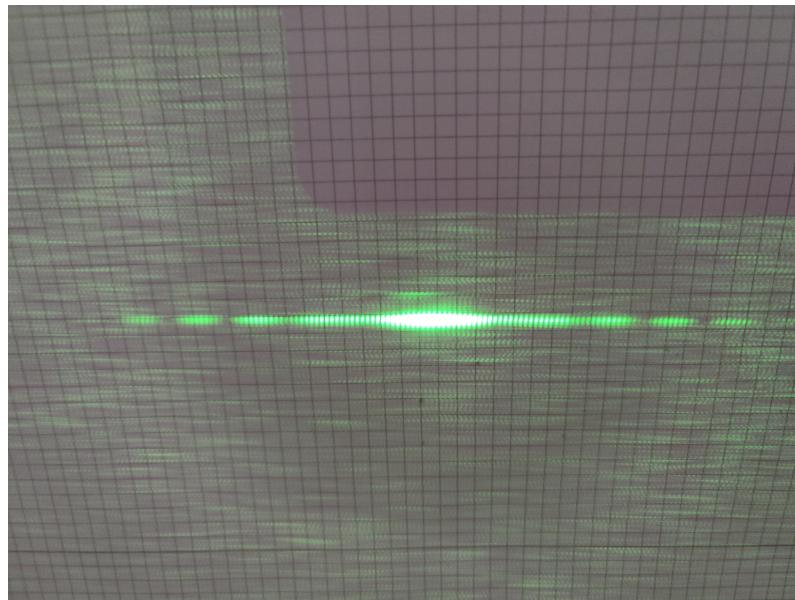
**Abbildung 5.1:** Interferenzmuster des Doppelspalts  $i = 1$



**Abbildung 5.2:** Interferenzmuster des Doppelspalts  $i = 2$



**Abbildung 5.3:** Interferenzmuster des Doppelspalts  $i = 3$



**Abbildung 5.4:** Interferenzmuster des Doppelspalts  $i = 4$

Neben der fotografischen Dokumentation werden auch die Abstände der Maxima mittels Lineal vermessen. Die Messungen ergeben die in ?? angeführten Werte.

Die obige Messung wird nun in analoger Weise nochmals mit dem Gitter durchgeführt. Die Messungen ergeben die in ?? angeführten Werte. Dabei bleibt der Abstand zum Schirm  $l_{\text{Schirm}} = (2520 \pm 5) \text{ mm}$  konstant.

## 5.2 Shearing Interferometer

Der Aufbau erfolgt gemäß Unterabschnitt 4.2 und die der Laser wird mittels Spiegel wie beschrieben auf das Interferometer gelenkt.

Aus dem am Shearing Interferometer entstandenem Interferenzmuster wird werden nun die drei Größen:  $l$  Versatz in laterale Richtung,  $\Theta$  Winkelversatz zur einfallenden Ebene und der Streifenabstand  $d$  bestimmt. Die Messungen ergeben sich zu:

- $l = (8,0 \pm 0,5) \text{ mm}$
- $\Theta = (-19 \pm 3)^\circ$
- $d = (4,0 \pm 0,5) \text{ mm}$

## 5.3 Polarisation

Der Strahl wird für den ersten Unterpunkt dieses Versuchs durch zwei Polarisationsfilter geführt. Für den ersten der beiden Filter wurde  $70^\circ$  als Ausgangswinkel gewählt, der zweite wird im folgenden Versuch einmal um  $360^\circ$  gedreht, wobei die Ausgangsstellung hier so gewählt wird, dass zuerst die höchste Lichtintensität am Messgerät abgelesen werden kann. So stehen die Polarisationsfilter gleich; Dies ist bei  $330^\circ$  des zweiten Filters der Fall. Die Messung wurde zweimal durchgeführt und die gemessenen Werte des Lichtintensitätsmessers sind in ?? angeführt.

## 5.4 Michelson Interferometer

## 6 Auswertung

## 7 Diskussion

## 8 Zusammenfassung

## Abbildungsverzeichnis

4.1 Aufbau young'scher Doppelspalt . . . . .	8
4.2 Aufbau Shearing Interferometer <b>CITE THIS!!!!</b> . . . . .	9
4.3 Aufbau Polarisation . . . . .	9
4.4 Aufbau Michelson Interferometer . . . . .	10
5.1 Interferenzmuster des Doppelspalts $i = 1$ . . . . .	11
5.2 Interferenzmuster des Doppelspalts $i = 2$ . . . . .	11
5.3 Interferenzmuster des Doppelspalts $i = 3$ . . . . .	12
5.4 Interferenzmuster des Doppelspalts $i = 4$ . . . . .	12

## Tabellenverzeichnis

3.1 Geräteliste . . . . .	7
---------------------------	---