

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>2</b>
1.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	2
1.2	Polarisation	2
1.3	Michelson Interferometer	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsanordnung</b>	<b>6</b>
3.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	6
3.2	Polarisation	7
3.3	Michelson Interferometer	8
<b>4</b>	<b>Geräteliste</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Versuchsdurchführung und Messergebnisse</b>	<b>11</b>
5.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	11
5.2	Polarisation	11
5.3	Michelson Interferometer	11
<b>6</b>	<b>Auswertung</b>	<b>11</b>
6.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	12
6.2	Polarisation	12
6.3	Michelson Interferometer	12
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>12</b>
7.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	12
7.2	Polarisation	12
7.3	Michelson Interferometer	12
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>12</b>
8.1	Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	12
8.2	Polarisation	12
8.3	Michelson Interferometer	12

# 1 Aufgabenstellung

## 1.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

- Bestimmen Sie das Beugungsmuster von vier Doppelspalten mit (bekannten) unterschiedlichen Spaltbreiten und Spaltabständen. Berechnen Sie aus den Messwerten die Wellenlänge des Lasers.
- Erklären Sie die Details der beobachteten Beugungsmuster durch Vergleich mit den berechneten Mustern.
- Bestimmen Sie das Beugungsmuster eines Liniengitters und vergleichen Sie mit berechneten Werten. Berechnen Sie aus den Messwerten die Gitterkonstante.

## 1.2 Polarisation

- Verifizieren Sie das Gesetz von Malus.
- Untersuchen Sie den Einfluss des Durchlasswinkels eines weiteren Polarisators zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren.

## 1.3 Michelson Interferometer

- Justieren Sie das Interferometer und generieren Sie ein konzentrisches Interferenzmuster. Bestimmen Sie durch Weglängenänderung die Wellenlänge des Lasers. Wiederholen Sie dies für ein paralleles Interferenzmuster.
- Untersuchen Sie den absoluten Weglängenunterschied in den beiden Interferometerarmen, sowie Auflösung und Stabilität des Interferometers.
- Untersuchen Sie die Rolle der Polarisation auf die Interferenzfähigkeit des Laserlichts.

# 2 Grundlagen

## Kohärenz

Die zeitliche Kohärenz bezieht sich auf den Grad der Ähnlichkeit zwischen zwei Lichtwellen, die von derselben Quelle, aber zu unterschiedlichen Zeiten ausgesendet werden. Lichtwellen bestehen aus oszillierenden elektrischen und magnetischen Feldern, und damit es zu einer Interferenz kommt, müssen die beiden Wellen eine

konstante Phasenbeziehung haben. Das bedeutet, dass die Phasendifferenz zwischen den beiden Wellen über einen längeren Zeitraum konstant bleiben muss. Ändert sich die Phasenbeziehung schnell, wird von einer geringen zeitlichen Kohärenz der Wellen ausgegangen. Bleibt die Phasenbeziehung dagegen über einen langen Zeitraum konstant, so wird von einer hohen zeitlichen Kohärenz ausgegangen.

Die räumliche Kohärenz hingegen bezieht sich auf den Grad der Ähnlichkeit zwischen zwei Lichtwellen, die von derselben Quelle, aber an unterschiedlichen Orten im Raum ausgesendet werden. Damit es zu einer Interferenz kommt, müssen die beiden Wellen über ihre gesamte Wellenfront eine konstante Phasenbeziehung aufweisen. Das bedeutet, dass die Phasendifferenz zwischen zwei beliebigen Punkten der Wellenfronten konstant bleiben sollte. Wenn sich die Phasenbeziehung über die Wellenfronten hinweg schnell ändert, wird von einer geringen räumlichen Kohärenz der Wellen ausgegangen. Bleibt die Phasenbeziehung dagegen über die Wellenfronten hinweg konstant, so wird von einer hohen räumlichen Kohärenz ausgegangen.

Die Kohärenzlänge ist ein Maß dafür, wie weit sich das Licht unter Beibehaltung seiner Kohärenz ausbreiten kann. Sie ist die Strecke, über die die Phasenbeziehung zwischen zwei Punkten auf einer Wellenfront konstant bleibt. Die Kohärenzlänge verhält sich umgekehrt proportional zur spektralen Bandbreite der Lichtquelle. Eine schmalbandige Lichtquelle mit einer kleinen spektralen Bandbreite hat eine große Kohärenzlänge, während eine breitbandige Lichtquelle mit einer großen spektralen Bandbreite eine kleine Kohärenzlänge hat.

Zur Erzeugung von Interferenzmustern mit Licht ist eine Lichtquelle mit hoher zeitlicher Kohärenz, hoher räumlicher Kohärenz und einer ausreichend langen Kohärenzlänge erforderlich. Eine hohe zeitliche Kohärenz gewährleistet, dass die Phasenbeziehung zwischen zwei Wellen über einen längeren Zeitraum konstant bleibt, so dass sie konstruktiv oder destruktiv interferieren können. Eine hohe räumliche Kohärenz stellt sicher, dass die Phasenbeziehung zwischen verschiedenen Punkten auf den Wellenfronten konstant bleibt, so dass die Wellen gleichmäßig über das Muster interferieren können. Die Kohärenzlänge bestimmt die Größe des Bereichs, in dem Interferenz auftreten kann. Eine große Kohärenzlänge ist notwendig, um gut definierte Interferenzstreifen zu beobachten, während eine kurze Kohärenzlänge zu verschwommenen oder verwaschenen Mustern führt.

Das Youngsche Doppelspaltexperiment ist ein klassisches Experiment, das die Wellennatur des Lichts und das Phänomen der Interferenz demonstriert. Dabei wird Licht durch zwei eng beieinander liegende Spaltöffnungen geleitet und das sich ergebende Muster auf einem hinter den Spaltöffnungen angebrachten Bildschirm beobachtet.

Bei diesem Experiment wird eine kohärente Lichtquelle, z. B. ein Laser, verwendet, um eine hohe zeitliche und räumliche Kohärenz zu gewährleisten. Das Licht wird

durch zwei schmale Schlitze geleitet, wodurch zwei Lichtwellenquellen entstehen, die sich als halbkreisförmige Wellenfronten ausbreiten. Diese Wellenfronten überlagern sich dann und interferieren miteinander.

Um die Kriterien für konstruktive Interferenz im Young'schen Doppelspaltexperiment zu verstehen, betrachten wir das Konzept der optischen Wegdifferenz (OPD). Die OPD ist der Unterschied in der Strecke, die die Lichtwellen von den beiden Spaltöffnungen bis zu einem bestimmten Punkt auf dem Bildschirm zurücklegen. Wenn diese Differenz ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge des Lichts ist, tritt an diesem Punkt konstruktive Interferenz auf.

Mathematisch lässt sich die Bedingung für konstruktive Interferenz wie folgt ausdrücken:

wobei  $d$  der Abstand zwischen den beiden Schlitzen und  $\theta$  der Winkel zwischen der Verbindungslinie zwischen dem Punkt auf dem Schirm und den Schlitzen und der Senkrechten zum Schirm ist.

Wenn die OPD gleich  $m\lambda$  ist, wobei  $m$  eine ganze Zahl ist, die die Ordnung des Interferenzstreifens angibt, und  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts ist, tritt konstruktive Interferenz auf. Das bedeutet, dass die Wellen der beiden Schlitze an diesem Punkt des Schirms in Phase eintreffen, was zu einem hellen Streifen führt.

Die quadrierte Amplitude der Welle steht in direktem Zusammenhang mit der Lichtintensität, die an einem bestimmten Punkt des Bildschirms beobachtet wird. Durch Quadrieren der Amplitude erhält man also das Interferenzmuster des Doppelspalts. Das Muster besteht aus abwechselnd hellen und dunklen Streifen, die als Interferenzstreifen oder -bänder bezeichnet werden.

Zusätzlich zum Interferenzmuster des Doppelspalts wird jedoch noch ein weiteres Interferenzmuster überlagert. Dieses zusätzliche Muster entsteht durch die Interferenz von Lichtwellen, die durch jeden einzelnen Spalt laufen und sich dann beugen, wodurch Einzelspalt-Interferenzmuster entstehen. Die einzelnen Schlitze sind keine punktförmigen Quellen, und die gebeugten Wellen jedes Spalts interferieren mit sich selbst.

Das Interferenzmuster der Einzelspalte ist durch ein zentrales Maximum und eine Reihe kleinerer Maxima und Minima auf beiden Seiten gekennzeichnet. Dieses Muster wird mit dem Interferenzmuster der Doppelspalte überlagert, wodurch sich ein komplexeres Gesamtmuster ergibt, das auf dem Bildschirm zu sehen ist. Das kombinierte Muster weist sowohl die Interferenzstreifen des Doppelspalts als auch das Interferenzmuster des Einzelspalts auf.

Das im Young'schen Doppelspaltexperiment beobachtete Muster ist also die Überlagerung von zwei Interferenzmustern: den Interferenzstreifen, die von den Doppelspalten erzeugt werden, und dem Interferenzmuster, das sich aus der Beugung der

Einzelspalte ergibt. Dieses Experiment ist ein starker Beweis für die Wellennatur des Lichts und das Phänomen der Interferenz.

Das Gesetz von Malus-Gesetz beschreibt die Beziehung zwischen der Intensität des polarisierten Lichts, das durch einen Analysator übertragen wird, und dem Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Übertragungsachse des Analysators.

Nach dem Malus-Gesetz ist die Intensität ( $I$ ) des durchgelassenen Lichts gegeben durch:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\alpha)$$

wobei  $I_0$  die anfängliche Intensität des einfallenden polarisierten Lichts und  $\alpha$  der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Transmissionsachse des Analysators ist.

Das Malus-Gesetz beruht auf dem Prinzip der Polarisation. Wenn unpolarisiertes Licht einen Polarisator durchläuft, wird es polarisiert und seine elektrischen Feldschwingungen auf eine bestimmte Richtung beschränkt. Das polarisierte Licht ist durch seine Polarisationsrichtung gekennzeichnet, die senkrecht zur Transmissionsachse des Polarisators verläuft.

Wenn das polarisierte Licht einen Analysator durchläuft, der ein weiterer Polarisator mit einer bestimmten Transmissionsachse ist, hängt die Intensität des übertragenen Lichts von der relativen Ausrichtung zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Transmissionsachse des Analysators ab.

Wenn die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts perfekt mit der Transmissionsachse des Analysators ausgerichtet ist ( $\alpha = 0$ ), ist die transmittierte Intensität ( $I$ ) maximal und entspricht der Ausgangsintensität ( $I_0$ ).

Wenn der Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Transmissionsachse des Analysators zunimmt, nimmt die transmittierte Intensität ab. Bei  $\alpha = 90$  Grad ist die durchgelassene Intensität minimal und wird zu Null. Dies ist der Fall, wenn die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts senkrecht zur Transmissionsachse des Analysators steht.

Mathematisch gesehen zeigt das Malus-Gesetz, dass die übertragene Intensität proportional zum Quadrat des Kosinus des Winkels zwischen der Polarisationsrichtung und der Transmissionsachse ist. Mit zunehmendem Winkel nimmt der Kosinus des Winkels ab, was zu einer Abnahme der übertragenen Intensität führt.

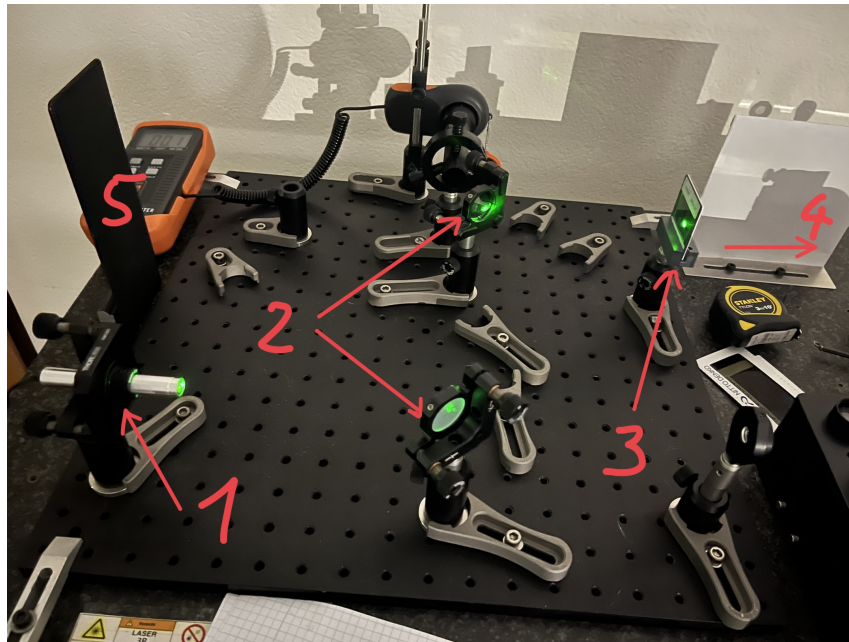
### 3 Versuchsanordnung

Für alle Versuche wird als Lichtquelle ein Laser mit einer Wellenlänge  $\lambda$  von 532 nm und einer Leistung von 5 mW verwendet. Der gesamte Versuch wird auf einem Breadboard aufgebaut, welches auf einer gedämpften Steinplatte steht, um Erschütterungen besser ausgleichen zu können. Dies wird noch genauer in Abschnitt 7 behandelt.

#### 3.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Der fertige Versuchsaufbau ist in Abbildung 3.1 sichtbar. Die entsprechenden Nummerierungen entsprechen dabei den Justierungsschritten in der Aufzählung.

1. Zunächst wird der Laser am Breadboard parallel ausgerichtet. Dazu kann der Blechschirm mit der Skala (5) verwendet werden. Zusätzlich kann damit der Laserstrahl während dem Hantieren oder Reflexionen ausgeblockt werden.
2. Nun werden die beiden Spiegel, wie in Abbildung 3.1 sichtbar, aufgestellt, um den Laserstrahl auf den entsprechenden Lichtweg zu lenken. Erneut ist die parallele Ausrichtung zu überprüfen.
3. Nun wird mithilfe des entsprechenden Diahalters der Doppelspalt in den Lichtweg gegeben. Durch den Doppelspalt entsteht eine Reflexion die auf den Spiegel zurückgeworfen wird. Durch die Position dieser Reflexion auf den Spiegel kann die parallele Ausrichtung des Aufbaus überprüft werden. Nun werden die genauen Ausrichtungen der Spiegel und des Lasers durch die entsprechenden Feinjustierungsschrauben so lange nachjustiert, bis die Positionen übereinstimmen.
4. Um die Entfernung zwischen Schirm und Doppelspalt zu maximieren, wird als Schirm die Wand verwendet. Um die einzelnen Distanzen zwischen den Beugungsmaxima besser bestimmen zu können, wird auf die Position des Beugungsbilds ein Blatt Millimeterpapier geklebt.



**Abbildung 3.1:** Versuchsaufbau für den Young'schen Doppelspalt und das Beugungsgitter

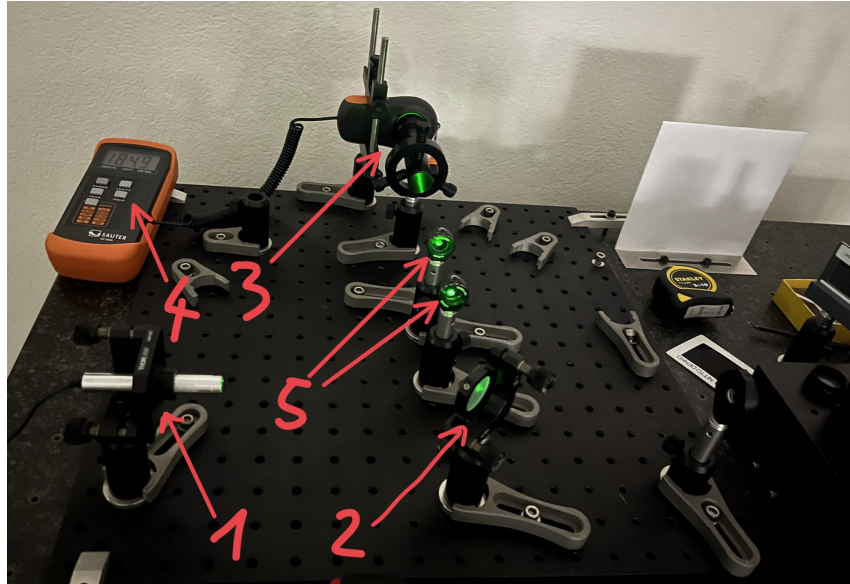
- 1 ...Laser
- 2 ...Spiegel
- 3 ...Halterung mit Young'schen Doppelspalt oder dem Beugungsgitter
- 4 ...Schirm auf der Wand (nicht sichtbar)
- 5 ...Blebschirm mit Skala

### 3.2 Polarisation

Der fertige Versuchsaufbau ist in Abbildung 3.2 sichtbar. Die entsprechenden Nummerierungen entsprechen dabei den Justierungsschritten in der Aufzählung.

1. Zunächst wird wieder der Laser am Breadboard parallel ausgerichtet. Dabei kann der Blebschirm mit der Skala, wie bereits erklärt verwendet werden.
2. Nun wird ein Spiegel, wie in Abbildung 3.2 sichtbar, aufgestellt, um den Laserstrahl zum Photodetektor (3) zu lenken. Erneut ist die parallele Ausrichtung zu überprüfen.
3. Vor dem Photodetektor wird ein Rohr mithilfe einer entsprechenden Halterung befestigt, um die Hintergrundbeleuchtung möglichst abzuschirmen.
4. Um die entsprechende Lichtintensität ablesen zu können, wird das entsprechende Messgerät mit dem Photosensor verbunden.

5. Zwischen Photodetektor und Spiegel werden nun noch zwei Polarisationsfilter gegeben, deren Orientierung mit einer Skala verbunden ist.



**Abbildung 3.2:** Versuchsaufbau für die Polarisation

- 1 ...Laser
- 2 ...Spiegel
- 3 ...Photodetektor mit Rohr
- 4 ...Messgerät für Photosensor
- 5 ...Polarisationsfilter

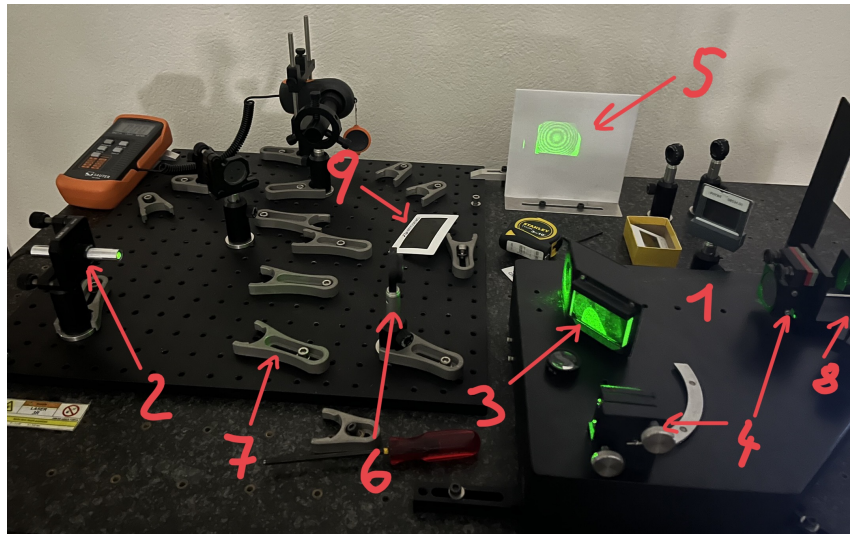
### 3.3 Michelson Interferometer

Der fertige Versuchsaufbau ist in Abbildung 3.3 sichtbar. Die entsprechenden Nummerierungen entsprechen dabei den Justierungsschritten in der Aufzählung. Der Hauptbestandteil des Interferometers befindet sich nicht auf dem Breadboard, sondern auf der Platte daneben.

1. Zunächst wird die Platte, auf der sich das Interferometer befindet so befestigt, dass sie nicht mehr wackelt.
2. Dann wird der Laser am Breadboard wieder parallel ausgerichtet, sodass dieser auf den Beamsplitter trifft.
3. Der Strahlteiler sorgt dafür, dass der halbe Lichtstrahl durchgelassen und die andere Hälfte in einem Winkel von  $90^\circ$  abgelenkt wird.



4. Nun werden die beiden Spiegel so eingerichtet, dass das Licht zurück zum Beamsplitter geworfen wird, wo es miteinander interferieren kann. Bei der genauen Ausrichtung der Spiegel ist dabei darauf zu achten, dass sich diese im  $90^\circ$  Winkel zueinander befinden und beide Lichtwege ca. gleich lang sind.
5. Am Schirm wird das Interferenzbild der beiden Laserstrahlen sichtbar. Die genaue Position des einen Spiegels bzw. des Lasers muss nun so lange feinjustiert werden, bis ein Interferenzmuster sichtbar wird.
6. Um dafür zu sorgen, dass das Interferenzmuster ringförmig wird, wird eine Linse in den Strahlengang vor den Beamsplitter gegeben.
7. Mit dieser Halterung kann im späteren Verlauf ein Polarisationsfilter im Strahlengang fixiert werden.
8. Durch die Schraube und die entsprechende Übersetzung kann einer der beiden Lichtwege um eine kleine Distanz verkürzt werden.



**Abbildung 3.3:** Versuchsaufbau für das Interferometer

- 1 ...Platte für Interferometer
- 2 ...Laser
- 3 ...Beamsplitter
- 4 ...Spiegel
- 5 ...Schirm
- 6 ...Linse
- 7 ...Halterung für Polarisationsfilter
- 8 ...Schraube für die Distanzänderung der Lichtarme (nicht sichtbar)
- 9 ...Polarisationsfolie

## 4 Geräteliste

Für den Versuch werden die in Tabelle 4.1 aufgelisteten Geräte verwendet.

**Tabelle 4.1:** Verwendete Geräte für die Abbildung durch eine Sammellinse

Gerätetyp	Hersteller	Typ	Anmerkung
Linse			zu bestimmen
Lens Mount	ThorLabs	LMR1/M	
Optical Posts	ThorLabs	TR3	
Rail Carrier	ThorLabs	XT34TR1/M	3x
Halogenlampe	ThorLabs	QTH10/M	
Mount for Rectangular Optics	ThorLabs	XYF1/M	
Resolution and Distortion Target	ThorLab	R1L3S5P	
Aluminium-Schiene			
Schirm			selbst gebaut
Schibelehre	Workzone	819547	digital

## 5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

### 5.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

### 5.2 Polarisation

### 5.3 Michelson Interferometer

## 6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fort-pflanzt, ist erweiterte Gauss-Methode verwendet worden. Die Grundlagen dieser Me-thode stammen von den Powerpointfolien von GUM [[wolfgang\\_kessel\\_isobipm-gum\\_2004](#)]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen die Pakete `labtool-ex2`, `pandas`, `sympy`, `lmfit` zur Hilfe genommen worden. `lmfit` wurde für das Fitten verwendet, `sympy` wurde für symbolische Manipulation verwendet und die restlichen Pakete für leichteres Handhaben der Daten. Dies wurde aber alles durch `labtool-ex2` abstrahiert.

Um höchstmögliche Genauigkeit zu garantieren wird erst bei der Darstellung der Wert in Tabellen gerundet.

## **6.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter**

## **6.2 Polarisation**

## **6.3 Michelson Interferometer**

# **7 Diskussion**

## **7.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter**

## **7.2 Polarisation**

## **7.3 Michelson Interferometer**

# **8 Zusammenfassung**

Hier werden nochmals alle Ergebnisse dieser Experimentenfolge aufgelistet. Wobei die meisten zu erstellenden Diagramme Aufgrund der Länge der Abschnitt 6 entnommen werden sollen.

## **8.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter**

## **8.2 Polarisation**

## **8.3 Michelson Interferometer**

## Abbildungsverzeichnis

3.1	Versuchsaufbau für den Young'schen Doppelspalt und das Beugungs- gitter . . . . .	7
3.2	Versuchsaufbau für die Polarisation . . . . .	8
3.3	Versuchsaufbau für das Interferometer . . . . .	10

## Tabellenverzeichnis

4.1	Verwendete Geräte für die Abbildung durch eine Sammellinse . . . .	11
-----	--	----