

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM TECHNISCHE PHYSIK 1 & 2

PHY.M40 & PHY.M50

Übungstitel: _____

Betreuer: _____

Name: _____

Kennzahl: _____ Matrikelnummer: _____

Datum: _____ WS _____ SS _____

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
1.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	3
1.2 Wellenfront-Analyse	3
1.3 Polarisation	3
1.4 Michelson Interferometer	3
2 Voraussetzungen und Grundlagen	4
2.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	4
2.2 Wellenfront-Analyse	4
2.3 Polarisation	5
2.4 Michelson Interferometer	5
3 Beschreibung der Versuchsanordnung	6
3.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	6
3.2 Wellenfront-Analyse	6
3.3 Polarisation	7
3.4 Michelson Interferometer	7
4 Material- und Geräteliste	9
5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse	9
5.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	9
5.2 Wellenfront-Analyse	11
5.3 Polarisation	11
5.4 Michelson Interferometer	12
6 Auswertung	15
6.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	15
6.2 Wellenfront-Analyse	18
6.3 Polarisation	18

6.4 Michelson Interferometer	19
7 Zusammenfassung und Diskussion	19
7.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter	19
7.2 Wellenfront-Analyse	19
7.3 Polarisation	19
7.4 Michelson Interferometer	20

Interferometrie

1 Aufgabenstellung

1.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

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

1.2 Wellenfront-Analyse

1. Untersuchen Sie mit dem Shearing Interferometer die Wellenfront des verwendeten Lasers.

1.3 Polarisation

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

1.4 Michelson Interferometer

1. 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.
2. Untersuchen Sie den absoluten Weglängenunterschied in den beiden Interferometerarmen, sowie Auflösung und Stabilität des Interferometers.
3. Untersuchen Sie die Rolle der Polarisation auf die Interferenzfähigkeit des Laserlichts.

2 Voraussetzungen und Grundlagen

2.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Wird ein Young'scher Doppelspalt mit einer räumlich kohärenten Lichtquelle beschienen, so wirken die Spalten als kohärente Lichtquellen, die miteinander interferieren. Im Fraunhoferlimit ergibt sich für die Wellenlänge λ des verwendeten Lichtes

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{z \cdot m}, \quad (1)$$

wobei d der Spaltabstand, x die Position am Schirm, z der Abstand vom Schirm zum Doppelspalt und m die Ordnung (also das m -te Maximum) beschreibt. Für ein Gitter mit der Gitterkonstante g ergibt sich:

$$g = \frac{z \cdot m \cdot \lambda}{x}. \quad (2)$$

Der theoeretische Verlauf der Intensität $I(x)$ ergibt sich aus einem Interferenzteil und einem Beugungsteil:

$$I(x) = I(x)_{\text{Interferenz}} \cdot I(x)_{\text{Beugung}} = I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi x d}{\lambda z} \right) \cdot \frac{\sin^2(\pi x D / \lambda z)}{(\pi x D / \lambda z)^2}, \quad (3)$$

wobei hier D die Spaltbreite darstellt.

2.2 Wellenfront-Analyse

Beim Shearing-Interferometer wird die bekannte Geometrie der Grenzflächen ausgenutzt, um Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Lichtwelle zu ziehen. Dabei kann bestimmt werden, ob ein Lichtstrahl kollimiert, konvergent oder divergent ist. In der Abbildung 1 ist der optische Strahlengang, sowie das Interferenzmuster illustriert.

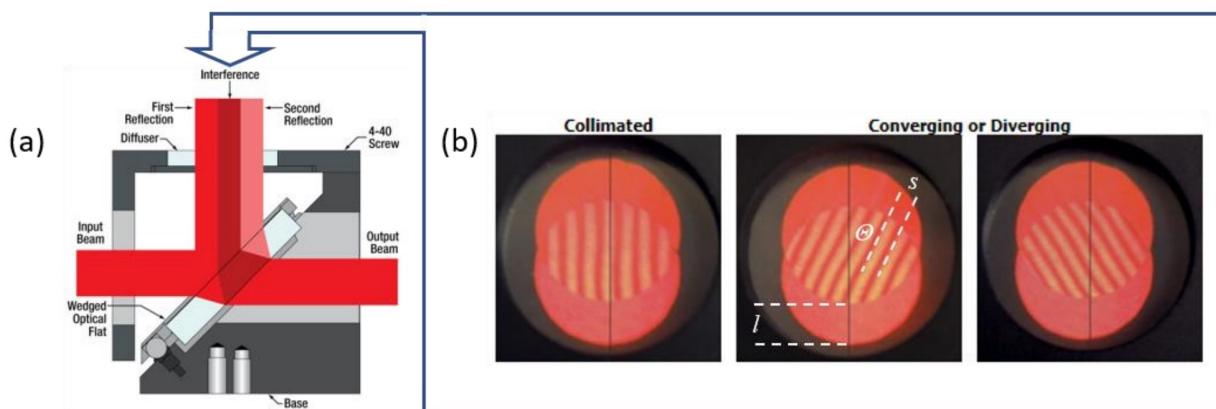


Abbildung 1: Shearing Interferometer. (a) Schematischer Aufbau in Seitenansicht, (b) beobachtete Interferenzmuster (in Aufsicht) für kollimierte, konvergierende und divergierende Wellenfronten, im mittleren Bild sind die im Text besprochenen Bestimmungsgrößen eingezeichnet. © Thorlabs. [2]

Aus dem lateralen Versatz der beiden reflektierten Strahlen l , dem Streifenabstand s und dem (bezogen auf die Senkrechte) Winkel der Interferenzstreifen Θ (siehe Abbildung 1b) lässt sich der Radius r der Wellenfront mit

$$r = \frac{l \cdot s}{\lambda \cdot \sin(\Theta)} \quad (4)$$

berechnen.

2.3 Polarisation

Licht kann als elektromagnetische Welle beschrieben werden, wobei man unter Polarisation die Ausrichtung des elektrischen Feldes versteht. So bedeutet linear polarisiert, dass der elektrische Feldvektor sich stets in einer Schwingungsebene befindet (siehe Abbildung 2). Schickt man nun solches Licht durch einen Polarisationfilter, so ist dessen Ausrichtung (Winkel) entscheidend für die transmittierende Intensität. Falls die Durchlassrichtung des Polarisators mit dem Winkel $\phi = 0$ identifiziert wird, so ergibt sich für die transmittierende Intensität das Gesetz von Malus.

$$I(\phi) = I_0 \cdot \cos^2(\phi) \quad (5)$$

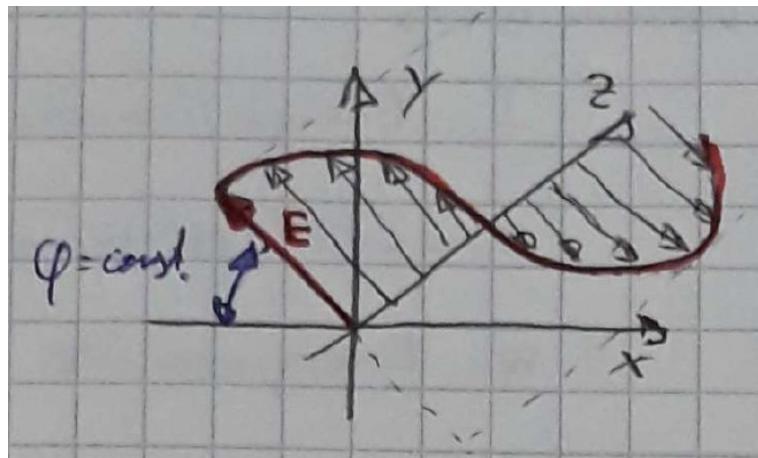


Abbildung 2: Illustration von linear polarisiertem Licht. Hier entspricht φ dem konstanten Winkel der Schwingungsebene zur x-Achse und E ist das elektrische Feld.

2.4 Michelson Interferometer

Der Aufbau und optische Strahlgang eines Michelson Interferometer ist in der Abbildung 3 (a) dargestellt. Durch die Überlagerung der beiden Teilstrahlen ergibt sich je nach den Abständen $\Delta S = |S_1 - S_2|$ konstruktive oder destruktive Interferenz. In der Abbildung 3 (b)) ist die Lichtintensität $I = \frac{1}{4}c\varepsilon_0 E_0^2(1 + \cos(\Delta\varphi))$ dargestellt, wobei $\Delta\varphi$ die Phasendifferenz bezeichnet, die mit dem Weglängenunterschied ΔS nach $\Delta\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot \Delta S$ zusammenhängt. In diesem Versuch will man die Wellenlänge der Lasers bestimmen. Die Länge vom beweglichen Spiegel wird dabei mithilfe einer Mikrometerschraube justiert, wobei die vorliegende Mechanik eine Untersetzung von 5,3 beinhaltet. Damit ergibt sich für die Wellenlänge des Lasers zu:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta x}{5, 3 \cdot N}, \quad (6)$$

wobei Δx die Abstandsänderung vom variablen Spiegel und N die Anzahl der durchlaufenden Maxima (bzw. der Anzahl der Perioden) darstellt. [2] [1]

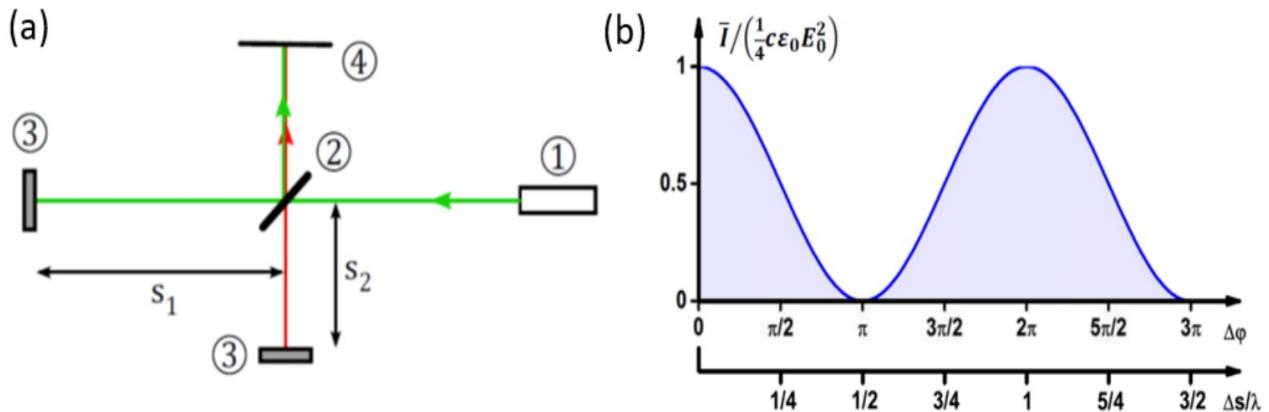


Abbildung 3: (a) Strahlengang im Michelson-Interferometer. Ein Laserstrahl aus der Quelle (1) wird am Strahlteiler (2) aufgeteilt, die beiden Teilstrahlen durchlaufen die beiden Interferometerarme der Länge S_1 und S_2 . Nach ihrer Reflexion an den Spiegeln (3,4) werden die Teilstrahlen am Strahlteiler wieder überlagert und interferieren am Beobachtungsschirm (4). (b) Normierte Lichtintensität als Funktion des normierten Weglängenunterschieds. © Thorlabs. [2]

3 Beschreibung der Versuchsanordnung

3.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Der Aufbau ist in der Abbildung 4 dargestellt. Das entstehende Interferenzmuster wird an der Hausmauer dargestellt. Hier ist es wichtig, dass die Höhe der einzelnen Bauelemente so eingestellt sind, dass das Licht des Lasers vollständig auf den Doppelspalt bzw. auf das Gitter gerichtet wird. Direkt nach dem Laser ist ein Stellrad zu erkennen. Dieses dient zur Abschwächung der Intensität des Lasers.

3.2 Wellenfront-Analyse

Der optische Strahlengang ist in der Abbildung 5 dargestellt.

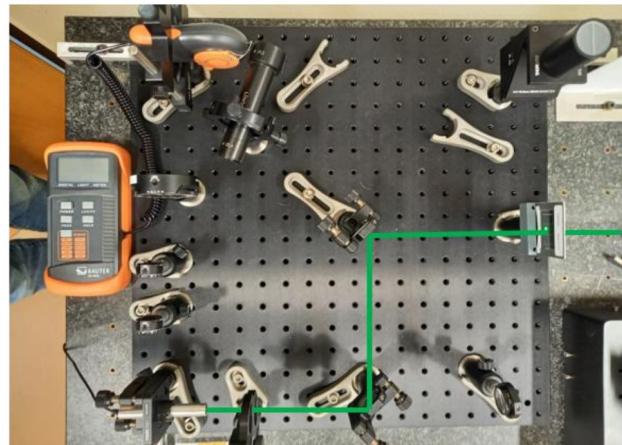
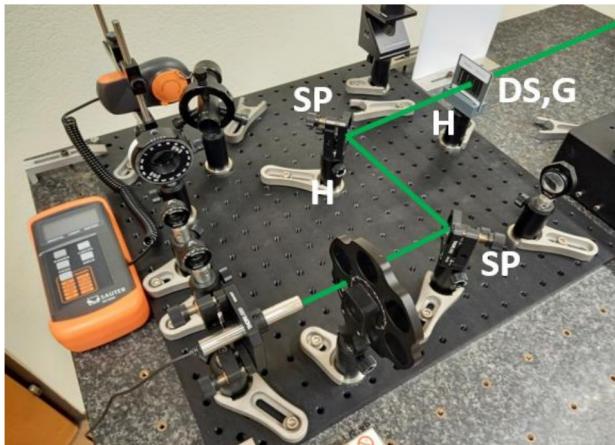


Abbildung 4: Experimenteller Aufbau zu Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter. Der Verlauf des Lasers ist als grüne Linie eingezeichnet, (SP) Spiegel, (H) Halterung für (DS) Doppelspalt und (G) Beugungsgitter. [2]

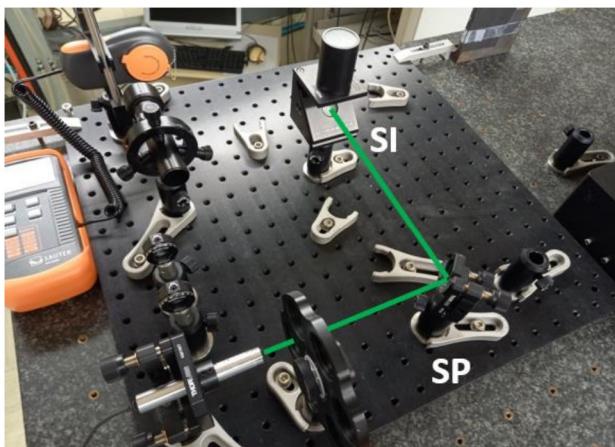


Abbildung 5: Experimenteller Aufbau zum Shearing Interferometer. Der Verlauf des Lasers ist als grüne Linie eingezeichnet, (SP) Spiegel, (SI) Shearing Interferometer. [2]

3.3 Polarisation

Der Aufbau ist in der Abbildung 6 gut ersichtlich. Nach dem Umlenkspiegel werden zwei Polarisatoren (P1 und P2) in den Strahlengang montiert. Das Rohr (R) dient zur Abschirmung des restlichen Raumlichtes. Anschließend wird der Photodetektor mithilfe der dafür vorgesehenen Spannvorrichtung in Position gebracht. Weiters wird ein weiterer Polarisationsfilter (PF) für den Versuch bereitgelegt.

3.4 Michelson Interferometer

Bei diesem Versuch wird ein Michelson-Interferometer aufgebaut (siehe Abbildung 7). Für die verschiedenen Versuche ist weiters eine Sammellinse L1 ($f = 40$ mm) eine Zerstreuungslinse L2 ($f = -16$ mm), sowie zwei Polarisationsfilter bereitzulegen.

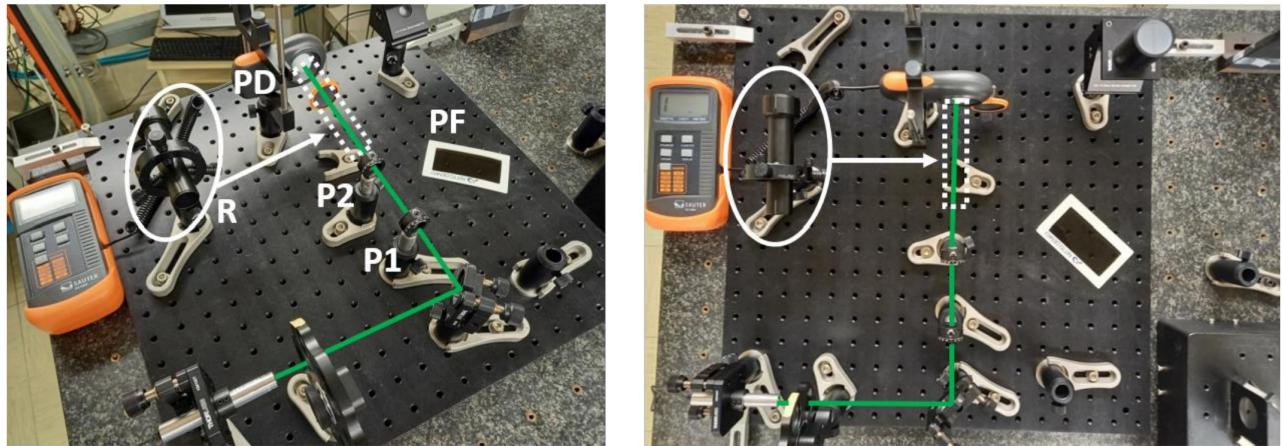


Abbildung 6: Experimenteller Aufbau zur Polarisations-Analyse. Der Verlauf des Lasers ist als grüne Linie eingezeichnet, (P1),(P2) Polarisatoren, (PF) Polarisationsfolie, (PD) Photodetektor. Zur Unterdrückung des Hintergrundlichts wird das Rohr (R) in der eingezeichneten Position montiert. [2]

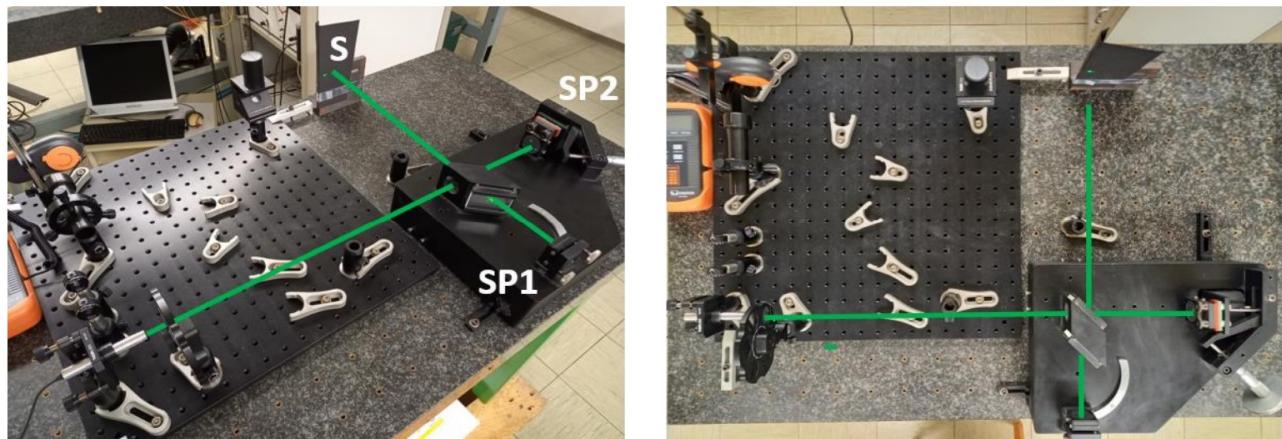


Abbildung 7: Experimenteller Aufbau zum Michelson Interferometer. Der Verlauf des Lasers ist als grüne Linie eingezeichnet, (SP1) fixer Interferometerspiegel, (SP2) verschiebbarer Interferometerspiegel, (S) Schirm. [2]

4 Material- und Geräteliste

Material/Gerät	Nummer	Typ	Unsicherheit
Optischer Tisch		Granitplatte	
Grundplatte		Aluminium mit Bohrungen im quadratischen 25 mm Raster	
Michelson-Interferometer			
Shearing-Interferometer			
Laser	CPS532-C2	Thorlabs	
Intensitätsfilter			
Klemmen			
Spiegel			
Schirm			
Rollmaßband			1 mm
Geodreieck			1 mm
Fotokamera		Handy, Samsung Galaxy A52	
Photodetektor	S1152203	Intensitätssmessgerät	0,1 Lux (bis 200 Lux)
Polarisationsfilter		zwei an der Grundplatte fixierbare und zwei Polarisationsfolien	
Abschirmrohr			
Doppelspalt		$D = 0,1 \text{ mm}, d = 1 \text{ mm}$ $D = 0,1 \text{ mm}, d = 0,5 \text{ mm}$ $D = 0,1 \text{ mm}, d = 0,25 \text{ mm}$ $D = 0,2 \text{ mm}, d = 0,25 \text{ mm}$	
Gitter		optisches Gitter mit unbekannter Gitterkonstante	
optische Linsen		Sammellinse, $f = 40 \text{ mm}$ Zerstreuungslinse, $f = -16 \text{ mm}$	

Tabelle 1: Material- und Geräteliste. Bei den Doppelspalten entspricht D der Spaltbreite und d dem Spaltabstand.

5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

5.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Der optische Strahlengang wird nach der Abbildung 4 aufgebaut. Nun wird der Abstand $L = (251,0 \pm 1,0) \text{ cm}$ vom Doppelspalt zum Schirm (Hausmauer) mit einem Rollmaßband gemessen. Anschließend wird der Laser eingeschalten und bei den jeweiligen Doppelspalte das Interferenzmuster fotografiert. Dabei wurde zusätzlich ein Geodreieck dazugehalten, der für die spätere Auswertung notwendig ist (siehe Abbildung 8). Anschließend wird das Gitter in den Strahlengang gebracht. Das Interferenzmuster ist in der Abbildung 9 ersichtlich.

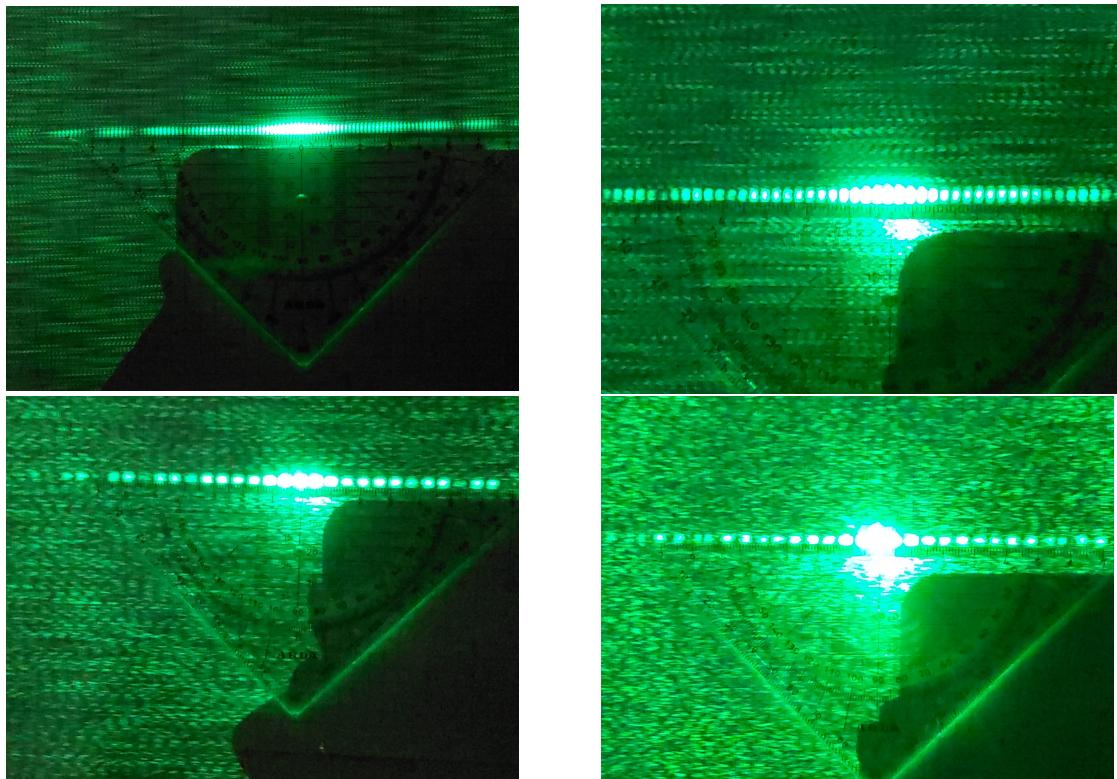


Abbildung 8: Foto des jeweiligen Interferenzmuster bei $D = 0,1 \text{ mm}$; $d = 1 \text{ mm}$ (oben links), $D = 0,1 \text{ mm}$; $d = 0,5 \text{ mm}$ (oben rechts), $D = 0,1 \text{ mm}$; $d = 0,25 \text{ mm}$ (unten links) und $D = 0,2 \text{ mm}$; $d = 0,25 \text{ mm}$ (unten rechts).

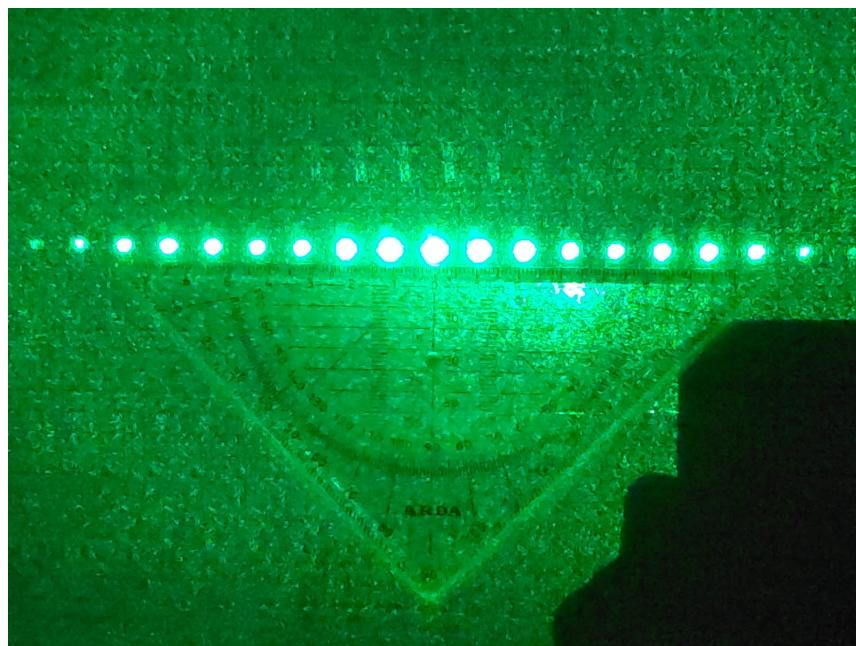


Abbildung 9: Foto des Interferenzmuster beim Gitter.

5.2 Wellenfront-Analyse

Das Shearing-Interferometer wird nach der Abbildung 5 aufgebaut. Anschließend wird das Interferenzmuster abfotografiert (siehe Abbildung 10). Weiters wird der Durchmesser $D_S = (25,0 \pm 1,0)$ mm des sichtbaren Feldes gemessen.



Abbildung 10: Foto des Interferenzmuster beim Shearing-Interferometer.

5.3 Polarisation

Der optische Strahlengang wird nach der Abbildung 6 aufgebaut, wobei die Abschirmröhre noch nicht eingebaut wird. Zur Verifikation der Abschirmung wird nun das beim Photodetektor ankommende Licht ohne und anschließend mit der Röhre gemessen. Ohne Röhre ergab sich eine Beleuchtungsstärke von $E_v, \text{ ohne Rohr} = (1,4 \pm 0,2) \text{ lx}$ und mit der Abschirmröhre $E_v, \text{ mit Rohr} = (0,0 \pm 0,2) \text{ lx}$. Nun wird der erste Polarisator in die 0° Stellung gebracht und der zweite in 20° -Schritten gedreht und jeweils die Beleuchtungsstärke gemessen. Die Messdaten sind in der Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Messergebnisse beim Versuch zur Polarisation. ϕ ist die Position des Stellrades beim zweiten Polarisator in grad ($\Delta\phi = 1^\circ$) und E_v entspricht die dabei gemessene Belichtungsstärke in Lux. Da das Messgerät in verschiedene Skalierungen einstellbar ist (ident wie z.B. bei einem üblichen Multimeter), skaliert auch die Unsicherheit. Falls beim Messwert keine Nachkommastelle angegeben ist, beträgt die Unsicherheit $\Delta E_v = 2 \text{ lx}$ und ansonsten $\Delta E_v = 0,2 \text{ lx}$.

$\phi / {}^\circ$	E_v / lx	$\phi / {}^\circ$	E_v / lx	$\phi / {}^\circ$	E_v / lx
100	710	220	182,8	340	156
120	599	240	423	0	13,7
140	399	260	622	20	27,7
160	171	280	694	40	187,7
180	13,4	300	595	60	426
200	23,2	320	395	80	631

Nun wird der weitere Polarisationsfilter zwischen den Polarisatoren (diese sind so eingestellt, dass minimal viel Intensität beim Photodetektor ankommt) eingebracht und qualitativ beobachtet,

was passiert. Es lässt sich leicht feststellen, dass die Drehung des zusätzlichen Filters eine Intensitätsveränderung herbeiführt. Der Grund dafür wird in der Auswertung geklärt.

5.4 Michelson Interferometer

Das Michelson-Interferometer wird nach der Abbildung 7 aufgebaut. Nun wird der Spiegel SP1 solange justiert, bis sich die beiden Reflexionen der Teilstrahlen überschneiden und später interferieren können. Die Reflexionen sind nicht nur ein Punkt, sondern mehrere. Dabei handelt es sich um Sekundärreflexionen. Anschließend wird die Linse L1 ($f = 40 \text{ mm}$) in den Strahlengang nach dem Laser und vor dem Strahlteiler eingefügt. Am Schirm erscheint ein symmetrisches, konzentrisches Interferenzmuster. Dieses ist sehr empfindlich. So verändert es sich bereits, wenn man den Aufbau anpustet. Anschließend wird das komplementäre Muster, das beim 2. Ausgang (also wieder zum Laser zurückgeworfen wird) mithilfe eines variablen Schirms (Metallplatte) untersucht. Komischerweise war nicht das komplementäre Muster (dort konstruktive Interferenz, wo am Schirm destruktive Interferenz sichtbar ist) ersichtlich, sondern das genau gleiche Muster wie am Schirm sichtbar. In der Diskussion wird auf diesen Sachverhalt noch einmal näher eingegangen. Nun wird der Abstand des variablen Spiegels so verändert, dass beim Interferenzmuster ein Maximum zuerst zum Minimum und anschließend wieder zum Maximum wird, also $N = 1$. Das wird sieben Mal wiederholt. Anschließend wird der Versuch mit $N = 10$ wiederholt. Die Messergebnisse sind in der Tabelle 3 gelistet.

Tabelle 3: Messergebnisse beim Versuch mit dem Michelson-Interferometer. Dabei entspricht s der Position der Mikrometerschraube ($\Delta s = 0,002 \text{ mm}$) und N der Anzahl der durchlaufenden Maxima.

$N = 1$	$N = 10$
s / mm	s / mm
0,485	0,500
0,483	0,486
0,481	0,471
0,480	0,459
0,479	0,448
0,477	0,436
0,476	0,425

An dieser Stelle wird die Position des Spiegels SP2 so weit verschoben, sodass kein Interferenzmuster am Schirm mehr sichtbar ist. Das ist gleichbedeutend mit der Tatsache, dass beide Spiegel denselben Abstand vom Strahlteiler aufweisen. Im Experiment wurde am Schirm bei einer Position der Mikrometerschraube von $s_{\text{gleich}} = (13,742 \pm 0,002) \text{ mm}$ keine Interferenz beobachtet. Schließlich wird anstatt der Sammellinse, eine Zerstreuungslinse L2 ($f = -16 \text{ mm}$) vor dem Schirm angebracht. Am Schirm ergibt sich ein Muster, wie es in der Abbildung 11 ersichtlich ist. Bringt man einen Polarisator in einem Interferometerarm in den Strahlengang, so ergibt sich das Interferenzmuster nach der Abbildung 12. Wenn man noch einen weiteren Polarisator in den Strahlengang vom zweiten Interferometerarm einbringt, so erscheint kein Interferenzmuster (siehe 13).

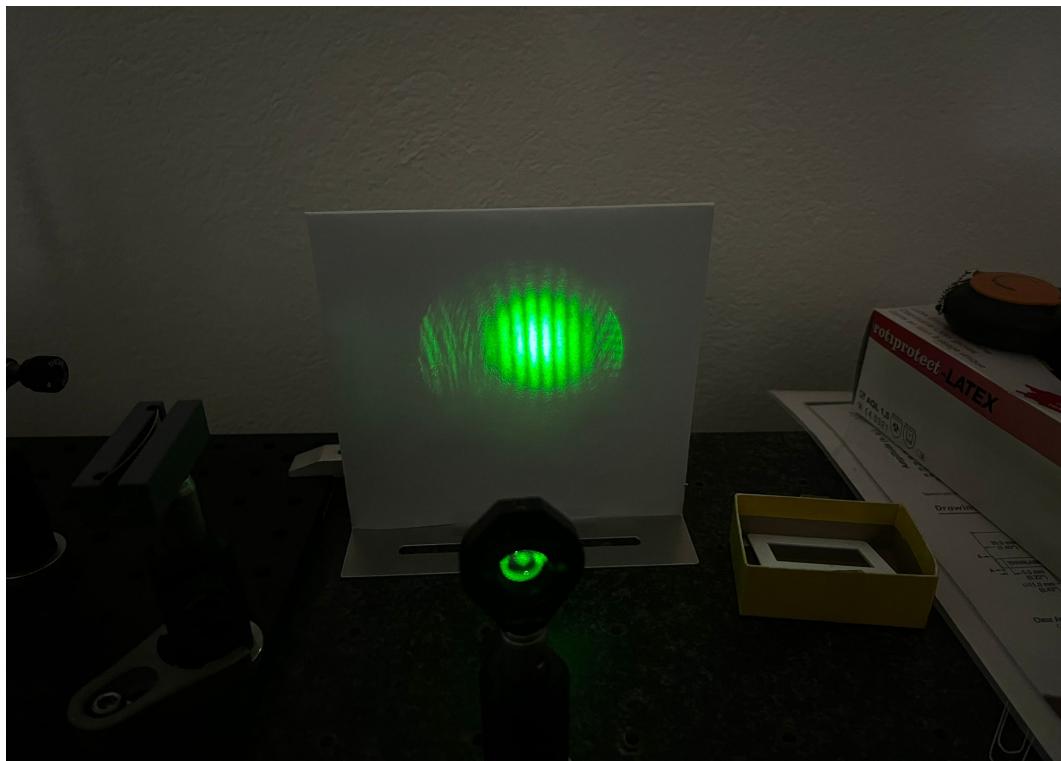


Abbildung 11: Bild des am Schirm entstehenden Interferenzmusters beim Versuch mit dem Michelson-Interferometer bei Einbringen einer Zerstreuungslinse vor dem Schirm.

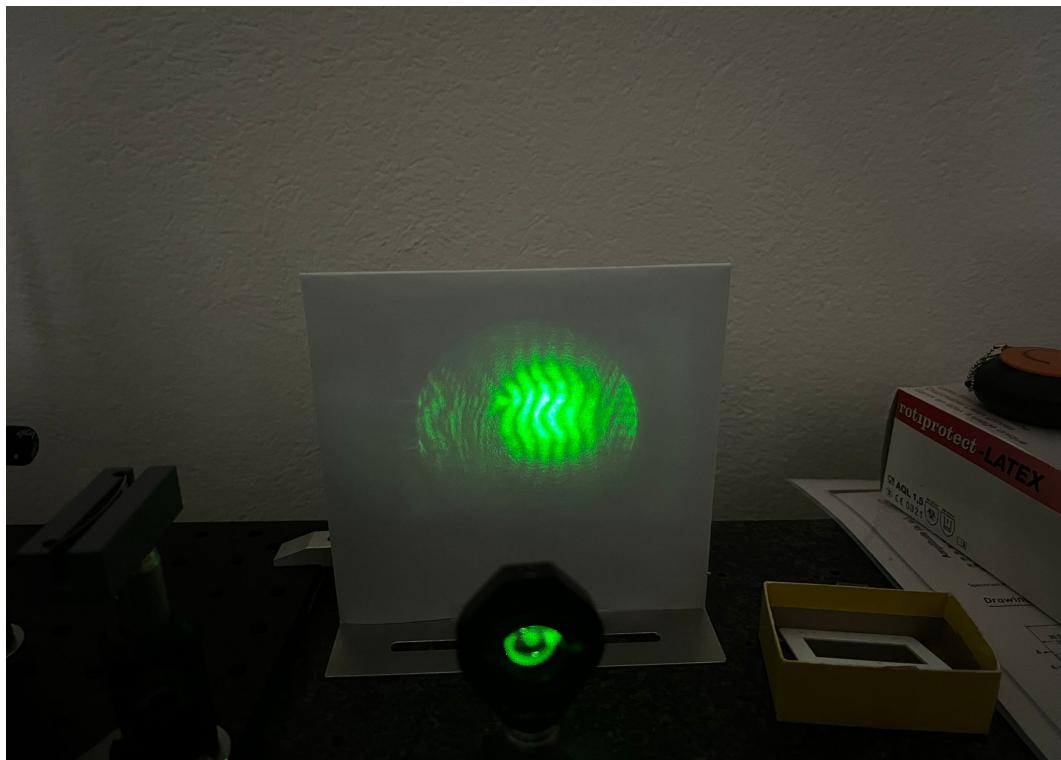


Abbildung 12: Bild des am Schirm entstehenden Interferenzmusters beim Versuch mit dem Michelson-Interferometer bei Einbringen einer Zerstreuungslinse vor dem Schirm und einem Polarisator in einem Interferometerarm.

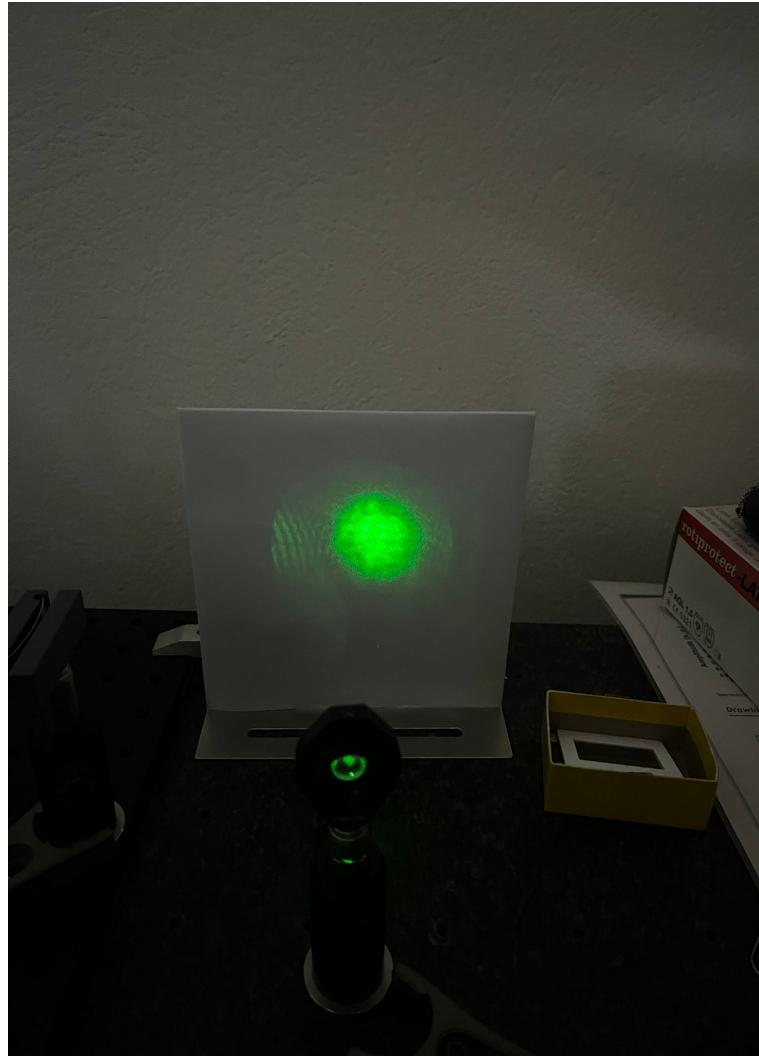


Abbildung 13: Bild des am Schirm entstehenden Interferenzmusters beim Versuch mit dem Michelson-Interferometer bei Einbringen einer Zerstreuungslinse vor dem Schirm und zwei Polarisatoren in jeweils einem Interferometerarm,

6 Auswertung

An dieser Stelle soll angemerkt sein, dass wenn im Text nichts anderes angegeben ist, die Unsicherheitsanalyse mit der Ableitungsmethode durchgeführt worden ist.

6.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Aus den aufgenommenen Fotos (siehe Abbildung 8) werden jeweils die Positionen x der Maxima bestimmt. Das wird auf dem PC vorgenommen. Deshalb ist hier auch eine Unsicherheit von $\Delta x = 0,2 \text{ mm}$ möglich. Anschließend kann mit der Gleichung 1 die Wellenlänge des Lasers bestimmt werden. In der Tabelle 4 sind die Ergebnisse gelistet.

Doppelspalt	λ / nm	$\Delta\lambda / \text{nm}$
$D = 0,1 \text{ mm}; d = 1,0 \text{ mm}$	530	30
$D = 0,1 \text{ mm}; d = 0,5 \text{ mm}$	524	15
$D = 0,1 \text{ mm}; d = 0,25 \text{ mm}$	527	8
$D = 0,2 \text{ mm}; d = 0,25 \text{ mm}$	670	60

Tabelle 4: Berechnete Wellenlänge λ bei den verschiedenen Doppelspalten

Weiters wird mit der Software 'ImageJ' die Intensität aus den Bildern rausgelesen. Schließlich können die experimentellen Daten mit dem theoretisch vorhergesagten Verlauf nach der Gleichung 3 verglichen werden (siehe Abbildung 14 bis 17). Beim Gitter wird analog vorgegangen, wobei hier die Gleichung 2 verwendet wird. Es ergibt sich ein Wert von $g = (124,8 \pm 0,6) \mu\text{m}$.

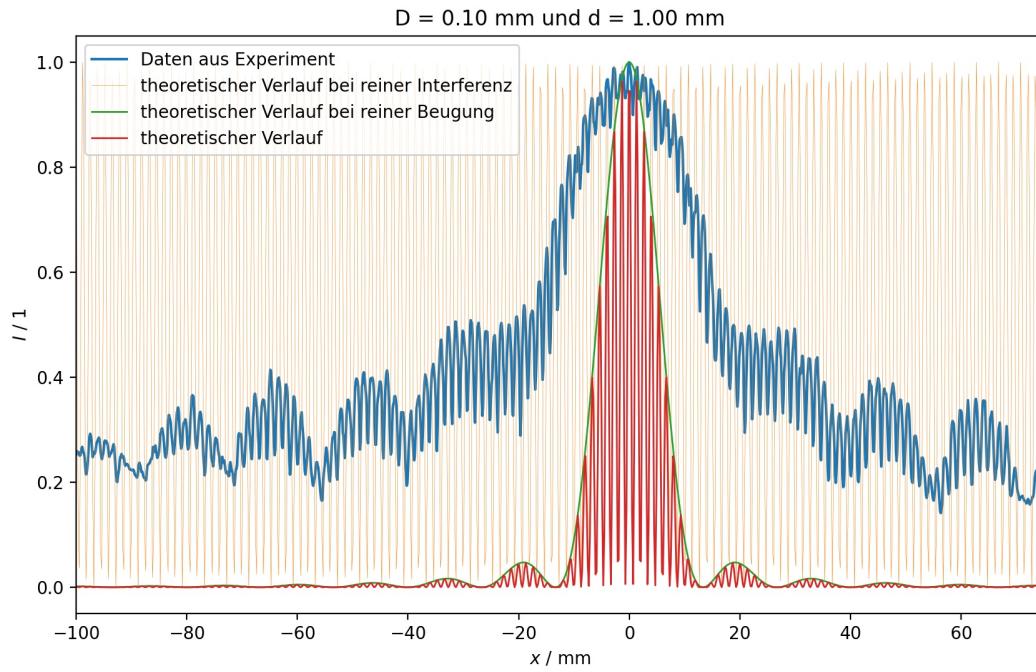


Abbildung 14: Plot der aufgenommenen Messwerte und des berechneten, theoretischen Verlaufes beim Versuch mit dem Doppelspalt. Auf der vertikalen Achse ist die normalisierte Intensität I aufgetragen und auf der horizontalen Achse der Abstand x am Schirm.

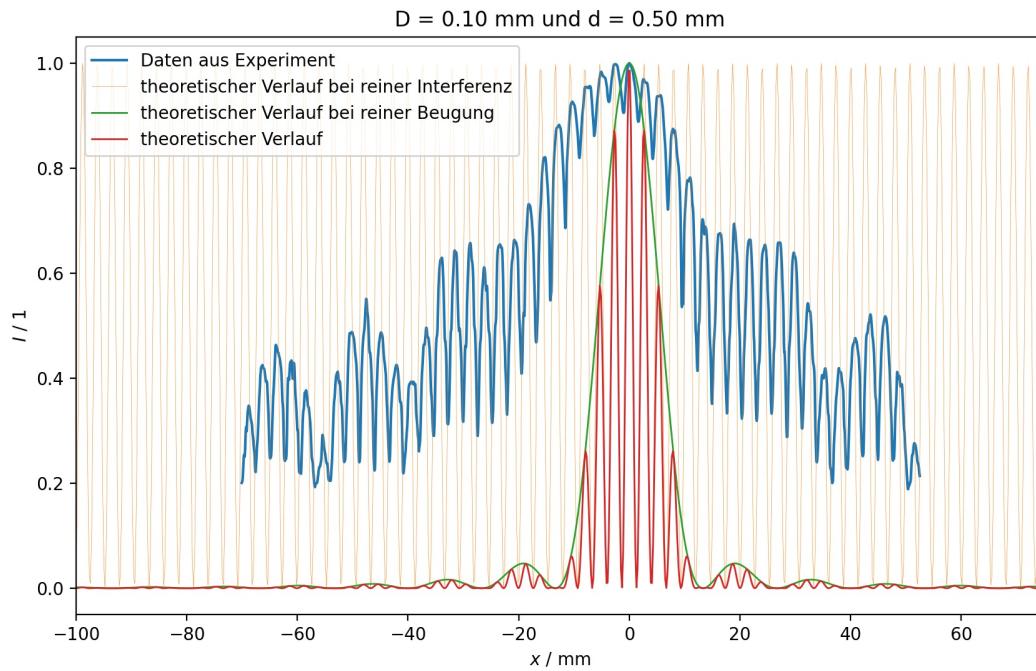


Abbildung 15: Plot der aufgenommenen Messwerte und des berechneten, theoretischen Verlaufes beim Versuch mit dem Doppelspalt. Auf der vertikalen Achse ist die normalisierte Intensität I aufgetragen und auf der horizontalen Achse der Abstand x am Schirm.

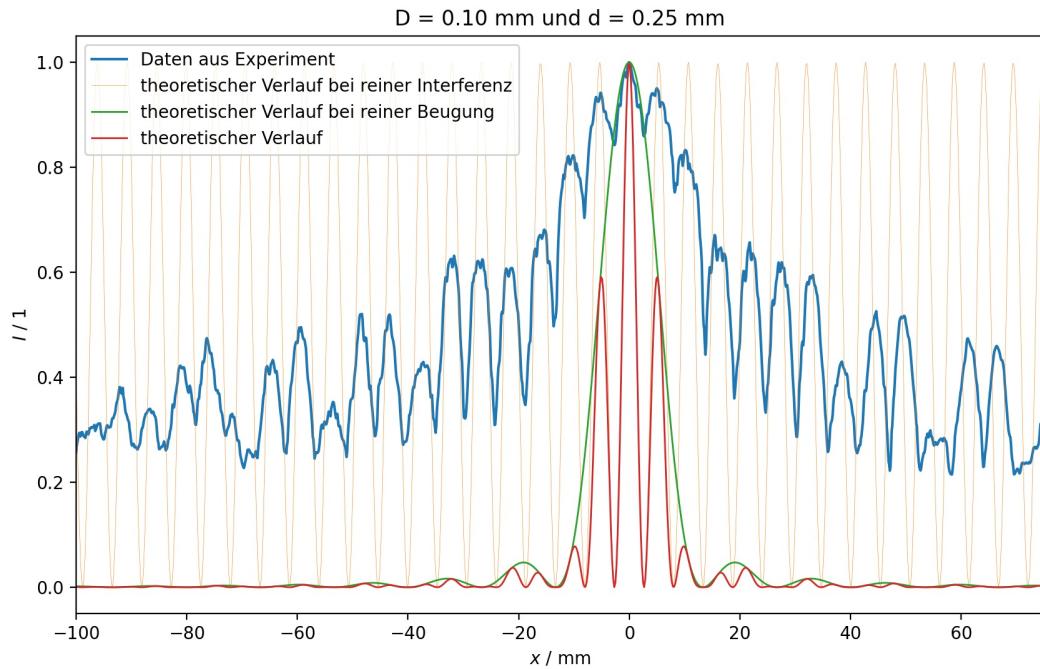


Abbildung 16: Plot der aufgenommenen Messwerte und des berechneten, theoretischen Verlaufes beim Versuch mit dem Doppelspalt. Auf der vertikalen Achse ist die normalisierte Intensität I aufgetragen und auf der horizontalen Achse der Abstand x am Schirm.

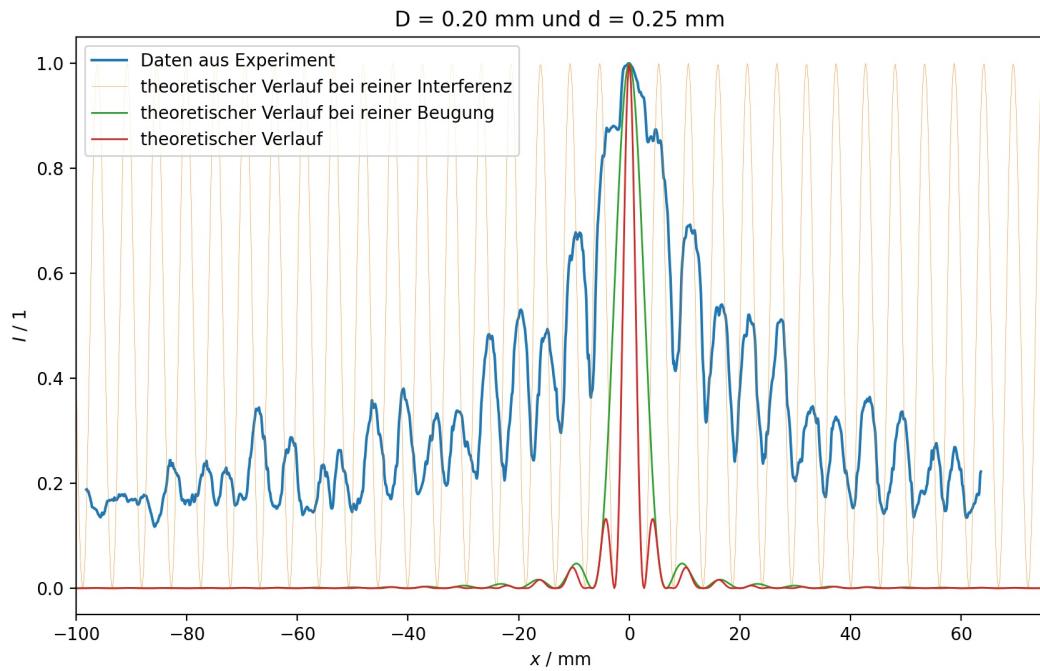


Abbildung 17: Plot der aufgenommenen Messwerte und des berechneten, theoretischen Verlaufes beim Versuch mit dem Doppelspalt. Auf der vertikalen Achse ist die normalisierte Intensität I aufgetragen und auf der horizontalen Achse der Abstand x am Schirm.

6.2 Wellenfront-Analyse

19.1

Aus dem Foto in der Abbildung 10 können die nötigen Parameter bestimmt werden. Der Wellenradius beträgt somit $r = (70 \pm 25)$ m.

6.3 Polarisation

Die aufgenommenen Messwerte (siehe Tabelle 2) werden in einem Diagramm zusammen mit dem theoretischen Verlauf nach Gleichung 5 dargestellt (siehe Abbildung 18).

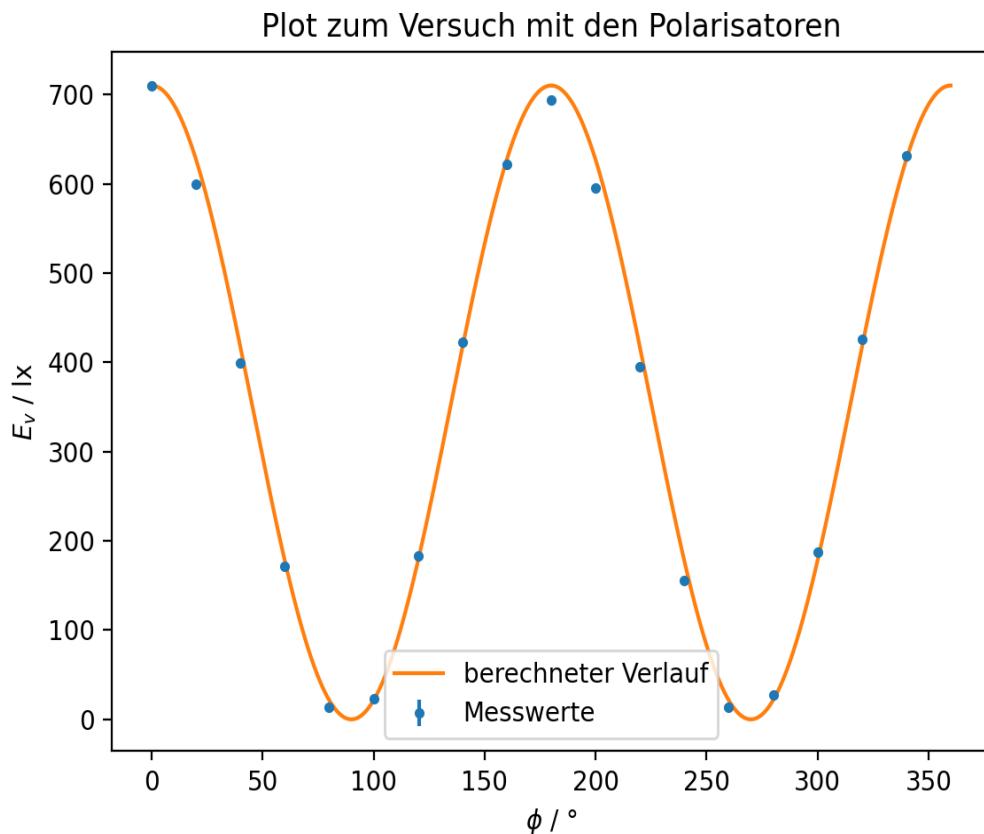


Abbildung 18: Plot der aufgenommenen Messwerte und des berechneten, theoretischen Verlaufes beim Versuch mit den Polarisatoren. Auf der vertikalen Achse ist die Belichtungsstärke E_v in lx aufgetragen und auf der horizontalen Achse der Winkel des zweiten Polarisators ϕ in grad aufgetragen. Hier sei angemerkt, dass die jeweiligen Unsicherheiten so gering sind, dass sie im Diagramm nicht sichtbar sind.

Der Sachverhalt mit dem zusätzlichen Polarisationsfilter lässt sich dem Licht als elektromagnetische Welle leicht erklären. So gelangt nach dem ersten Polarisator lediglich linear polarisiertes (eine Schwingungsebene) Licht hindurch. Je nach Stellung des zusätzlichen Filters gelangt Intensität nach dem Gesetz von Malus hindurch. Der dritte Polarisationsfilter lässt schließlich nur den Anteil transmittieren, der dieselbe Schwingungsebene aufweist, wie die Durchlassrichtung des Polarisators. Damit lässt sich auch erklären, warum ohne des mittleren Filters die Intensität minimal ist, mit dem zusätzlichen Filter jedoch wieder erhöht werden kann.

6.4 Michelson Interferometer

Mithilfe der Gleichung 6 kann aus den Messdaten von Tabelle 3 die Wellenlänge λ bestimmt werden. Da man mehrere Messwerte hat, wird Δx mit einer Methode bestimmt, wie sie bereits im Grundpraktika Quincke-Kundt verwendet wurde. Damit ergibt sich für $N = 1$ eine Wellenlänge von $\lambda_1 = (500 \pm 300) \text{ nm}$ und für $N = 10$ $\lambda_{10} = (470 \pm 30) \text{ nm}$. Bildet man den Mittelwert ergibt sich $\lambda = (500 \pm 140) \text{ nm}$. Der Grund für das Interferenzmuster in der Abbildung 11 ist die Zerstreuungslinse. So laufen die Lichtstrahlen auseinander (divergieren). Deshalb sind keine Kreise, wie bei der Sammellinse sichtbar, sondern Streifen. Bringt man einen Polarisator in einen Interferometerarm, so ergibt sich das Interferenzmuster nach der Abbildung 12. Jenes wird zwar aufgrund der Polarisationsfolie leicht verzerrt, jedoch ist immer noch ein Interferenzmuster sichtbar. In der Abbildung 13 wurde ein weiterer Polarisator in den zweiten Interferometerarm eingebracht, wobei die Polarisatoren so orientiert sind, dass die Durchlassrichtungen senkrecht aufeinander stehen. Das erklärt auch das Ausbleiben von einem Interferenzmuster. Die kleinste messbare Längenänderung des Michelson-Interferometers ist von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängig, formt man Gleichung 6 auf Δx um, so ergibt sich für $N = 1$: $\Delta x = \frac{\lambda \cdot 5,3}{2}$. In der Diskussion wird auf diesen Punkt noch einmal eingegangen.

7 Zusammenfassung und Diskussion

7.1 Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter

Mithilfe eines Lasers wurde das Interferenzmuster von verschiedenen Doppelspalten qualitativ und quantitativ untersucht (siehe Abbildungen 14 bis 17). Aus den Muster wurde die Wellenlänge (siehe Tabelle 4) des Lasers bestimmt. Vergleicht man mit der Angabe des Herstellers $\lambda_H = (532,1 \pm 0,5) \text{ nm}$, so ist es erstaunlich wie gut die Ergebnisse sind. Weiters wurde die Gitterkonstante zu $g = (124,8 \pm 0,6) \mu\text{m}$ bestimmt.

7.2 Wellenfront-Analyse

Mithilfe des Shearing-Interferometers wurde der Wellenfrontradius zu $r = (70 \pm 25) \text{ m}$ bestimmt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass in den Strahlengang zusätzlich eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse eingebracht wurden, um das Interferenzmuster von divergierenden Strahlen qualitativ zu untersuchen. In der Tat bestätigt sich das erwartete Muster (siehe Abbildung 1).

7.3 Polarisation

Es wurde mithilfe von zwei Polarisatoren und einer zusätzlichen Polarisationsfolie das Gesetz von Malus untersucht. Wie in der Abbildung 18 ersichtlich, stimmen die experimentellen Werte sehr gut mit der theoretischen Vorhersage überein. Wie sich die Situation mit dem zusätzlichen Polarisationsfilter beschreiben lässt, wurde bereits in der Auswertung geschildert.

7.4 Michelson Interferometer

Mithilfe eines Michelson-Interferometers wurde die Wellenlänge $\lambda = (500 \pm 140)$ nm des verwendeten Lasers bestimmt. Der Vergleich mit dem Wert des Herstellers $\lambda_H = (532,2 \pm 1,0)$ nm bestätigt die experimentelle Vorgehensweise. Leider konnte das komplementäre Muster experimentell nicht nachgewiesen werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass eine Reflexion des Schirmes sichtbar war und nicht das eigentliche Licht, das zum Laser zurückgelangt. Weiters wurden die Interferenzmuster mit einer Zerstreuungslinse bei Einbringen von Polarisatoren qualitativ untersucht. Die theoretisch kleinste messbare Längenänderung ergibt sich nach $\Delta x = \frac{\lambda^{5,3}}{2}$. Man kann aber auch $N = 1/2$ wählen oder noch kleiner. Dann müsste man sich die Intensität anschauen. Das könnte man mit Hilfe einer Kamera durchführen. So wäre es möglich noch kleinere Längenänderungen aufzulösen. Hier ist anzumerken, dass das Interferenzmuster sehr empfindlich auf äußere Störeinflüsse reagiert. So verändert es sich bei mechanischem Klopfen auf den Experimentiertisch, aber auch schon bei Anpusten des Aufbaus.

Literatur

- [1] W. Demtröder. *Experimentalphysik: Atome, Moleküle und Festkörper*. 4., überarbeitete Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN: 9783642039119. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1528518>.
- [2] Joachim Krenn. *Interferenz und Polarisierung:* • Young'scher Doppelspalt, Beugungsgitter • Shearing Interferometer, Wellenfront-Analyse • Polarisations-Analyse • Michelson Interferometer. Hrsg. von Karl Franzens Universität Graz. Graz, 3/2022. URL: <https://moodle.uni-graz.at/>.

Index der Kommentare

19.1 wie lauten diese?