



SS/WS 20.¹¹/.....

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: 30.....

Name: Fischer Vorname: Johannes.....

Name: King Vorname: Johannes.....

Versuch: Laser A (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Holt, Ewa Durchgeführt am: 5.7.2011.....

Abgabe am: 12. JULI 2011.....

Rückgabe am: Begründung:

2. Abgabe am:

Ergebnis: (+/0/-)

Fehlerrechnung: ja nein

Datum: 12.07.11

Handzeichen: E. Holt

Bemerkungen:



Obwohl A.Einstein schon 1917 von der theoretischen Existenz stimulierter Emission berichtet hat, wurde erst 1954 dieses Phänomen experimentell nachgewiesen. Mit dem darauf basierenden optischen Laser stehen der Forschung und der Technik seit 1960 Lichtquellen zur Verfügung, die sich durch extrem große Kohärenzlänge, sehr gute Parallelität und große 'Energiedichte' auszeichnen.

Sie verwenden bei diesem Versuch den Laser als ideale Lichtquelle für Beugungs- und Interferenzexperimente und lernen Anwendungen wie z.B. die Holographie kennen.

SICHERHEITSHINWEISE:

DER LASERSTRAHL IST GEFÄHRLICH FÜR DIE AUGEN!

NIE DIREKT IN DEN STRAHL HINEINSEHEN!

Bei allen Justier- und Aufbauarbeiten Laserschutzbrillen tragen!

Da beim Experimentieren spiegelnde Flächen im Strahl unvermeidlich sind und die Strahlage nicht festliegt, ist besondere Vorsicht geboten. Bleiben Sie beim Experimentieren in der Regel stehen, mit den Augen also weit über der Strahlhöhe. Stark aufgeweitetes oder gestreutes Laserlicht, z.B. von matten Flächen, vom Schirm, vom Hologramm etc., ist bei den verwendeten, relativ schwachen Lasern ungefährlich. Die Grundjustierung eines verstellten und nicht mehr zündenden Lasers (nur bei den Lasern mit externen Spiegeln) ist sehr zeitraubend. Verstellen Sie deshalb die Justierschrauben an den Spiegeln nicht. Der Laser verlischt schon bei sehr geringen Drehwinkeln!

Für Fehlerrechnung sind die Aufgaben 2.1, 3.1 und 3.3 geeignet. Jedes Beugungsbild sollte hier fünfmal abgezeichnet werden, um eine ausreichende Statistik für die Auswertung zu erhalten.

Aufgaben:

1. Brewsterwinkel (Gemeinsam bearbeiten, weil leider nur noch 1x vorhanden!)

1.1 Bei einem Experimentier-Gaslaser mit externen Spiegeln wird das Entladungsrohr mit 'Brewster-Fenstern' abgeschlossen. Überlegen Sie sich den Sinn dieses Verfahrens und demonstrieren Sie die Notwendigkeit: Montieren Sie einen drehbaren Plattenhalter mit planparalleler Glasscheibe zwischen Entladungsrohr und Resonatorspiegel, verändern Sie den Einfallswinkel und beobachten Sie die Strahlintensität. Die Glasscheibe muß sorgfältig geputzt und der Laser optimal justiert sein. Beim Nachjustieren des Lasers den Betreuer hinzuziehen. Die Spiegeljustierschrauben nur um wenige Grad verdrehen und sofort zurückdrehen, wenn der Laser verlischt.

1.2 Messen Sie den Brewsterwinkel, und bestimmen Sie daraus den Brechungsindex des Glases.

Der Plattenhalter wird außerhalb des Lasers montiert. Das Minimum der Reflexion wird ohne Intensitätsmessung an der Zimmerdecke beobachtet. Für die Beobachtung des Maximums der Transmission kann ein Si-Photoelement mit Meßinstrument benutzt werden. Das ist aber ungenauer als die Beobachtung des Minimums. (Warum?)

2. Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Bestimmen Sie aus der Lage der Beugungsmaxima und -minima die nur grob bekannte Breite der beiden Spalte, $d \sim 0,2\text{mm}$ oder $0,3\text{mm}$.

2.2 Vergleichen Sie die Beugungsfigur eines gleichbreiten Steges mit der des Spaltes (Babinet-Theorem).

2.3 Betrachten Sie die Beugungsbilder einer Kreisöffnung, einer gleichgroßen Kreisscheibe sowie einer Kante.

Frage: Warum ist die Mitte der Beugungsfigur einer Scheibenblende stets hell? (Poissonscher Fleck)

2.4 Bestimmen Sie aus seiner Beugungsfigur den Durchmesser eines Haares. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem einer Messung mit Mikrometerschraube.

3. Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Bestimmen Sie die Spaltbreite und den Spaltabstand eines der Doppelspalte aus seinem Beugungsbild.

3.2 Sagen Sie voraus und beobachten Sie dann, a) wie sich das Beugungsbild bei Verwendung des zweiten Doppelspalts charakteristisch ändern wird und b) wie sich das Beugungsbild des Dreifachspalts (0,25 / 0,5) von dem des Doppelspalts (0,25 / 0,5) charakteristisch unterscheidet.

3.3 Bestimmen Sie die Gitterkonstante eines der Strichgitter. Beobachten Sie das Beugungsbild. Welche Rolle spielt die Ausleuchtung?

3.4 Beobachten Sie Beugungsbilder von Kreuz- und Wabengittern. Demonstrationsversuch ohne Auswertung.

4. Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände (vergl. 'Abbésche Theorie der Bildentstehung im Mikroskop'). **Zeigen Sie, daß für die Abbildung durchstrahlter Objekte das abgebeugte Licht eine wesentliche Rolle spielt.**

Beleuchten Sie ein Gitter (Wabengitter oder Strichgitter 100 Striche/cm) mit parallelem Licht und bilden Sie es mit Hilfe einer 150mm-Linse nach Umlenkung mit einem fernen Planspiegel auf eine Mattscheibe in Lasernähe neben der optischen Bank ab, d.h. in Ihrer Nähe, damit Sie beim Justieren beobachten können. Eine Beugungsordnungsblende in der bildseitigen Brennebene der Linse gestattet das Durchlassen von nur nullter oder von nullter und erster Ordnung des gebeugten Lichts, denn parallel in die Linse einfallendes Licht (Licht derselben Beugungsordnung!) wird in der Brennebene gesammelt. Da die Beugungsordnungsblende schwierig zu justieren ist, können Sie die nullte Ordnung auch mit der Kreisblende (1mm) ausblenden. Beobachten Sie das auf der Mattscheibe jeweils entstehende Bild. Versuchen Sie auch die Beobachtung der zwei weiteren Fälle: Nur die erste oder nur die zweite Ordnung passieren die Beugungsordnungsblende. Gitter, Linse und die dazu passende Beugungsordnungsblende werden in einem Justieraufbau montiert, die Beugungsordnungsblende kommt dabei in die nach allen Richtungen transversal zum Strahl verschiebbliche Fassung. Zeichnen Sie zu diesem Versuch bei der Vorbereitung den Strahlengang. Wie könnte man den beobachteten Effekt benutzen, um etwa bei einem digitalisiert empfangenen Zeitungsbild das störende Raster verschwinden zu lassen? ('Image Enhancement'; Literatur: Hecht/Zajac)

5. Holographie: Reproduzieren Sie ein Hologramm. Beobachten Sie sowohl das reelle als auch das virtuelle Bild.

Weiten Sie den Laserstrahl dabei jeweils geeignet auf. Überzeugen Sie sich davon, daß Sie wirklich dreidimensional beobachten können, daß sich nämlich beim Bewegen des Kopfes die Perspektive ändert und Sie zunächst Verborgenes dann sehen können. Das reelle Bild kann auf einem Schirm (weißes Papier) aufgefangen werden. Bewegen Sie den Schirm durch das Strahlungsfeld. Zeigen Sie auch, daß die Information über ein Gegenstandsdetail nicht nur an einer bestimmten Stelle des Hologramms gespeichert ist. Decken Sie verschiedene Bereiche des zunächst weit ausgeleuchteten Hologramms ab.

ZUBEHÖR: (Das Zubehör befindet sich teils an den Versuchsplätzen, teils im Schrank. Es ist mit wenigen Ausnahmen für jeden Versuchsort vorhanden.)

- Zur Demonstration: offener He-Ne-Laser, Spindler&Hoyer Typ 500, 2mW (632,8 nm, Entladungsrohr mit Brewsterfenstern, die um eine horizontale Achse gekippt sind, zwei separate Resonatorspiegel, R=99,7% und R=98%, Schutzkappen, Versorgungsgerät, Filterkappen und Justierkreuz; Bereich zwischen Spiegel und Brewsterfenster für Experimente zugänglich) **Nur einfach vorhanden!**
- He-Ne-Laser, Polytec PL-610P, 5mW (geschlossene Bauform mit integriertem Netzteil, polarisiert). **An allen Plätzen.**
- Experimentiertisch (mit 3m-Zeißschiene), diverse Reiter, Verschiebereiter,
- Lichtdetektor mit Phototransistor (kleinflächig, mit ausgeprägter Richtcharakteristik durch Frontlinse, in

- Gehäuse mit Anschlussbuchsen für Betriebsgleichspannung, 9V bis 15V, und für Messinstrument, sehr lichtempfindlich und leicht übersteuerbar, deshalb nur für geringe Lichtintensität vorgesehen),
- Netzgerät (2 X 15V, für Phototransistor 1 X 15V an roter und schwarzer Buchse verwenden), Lichtdetektor Si-Photoelement (großflächige Photodiode, $d=12\text{mm}$, wird nur im Elementbetrieb verwendet, d.h. ohne Betriebsspannung direkt an Spannungs- oder Strommessgerät angeschlossen),
 - Vielfachmessinstrument (Metex 3800, digitale LCD-Anzeige, alle benötigten Messbereiche verfügbar, gleicher Innenwiderstand bei allen Gleichstrombereichen, deshalb intensitätsproportionale Anzeige mit Si-Photoelement auch über die Bereichsgrenzen hinaus; Achtung: Bei einer der Schalterstellungen 20A-Bereich für spezielle 20A-Buchse, jedoch nur 20-Mikroampere-Bereich für allgemeine A-Buchse !),
 - Strahlaufweitungssystem (Mikrobank auf Stift, in Haltern spezielle, für die Laserlicht-Wellenlänge korrigierte Linsen $f_1=10\text{mm}$ und $f_2=150\text{mm}$ im f_1+f_2 -Abstand, telezentrisches System), Justieraufbau (Mikrobank auf Stift mit drei verschiebbaren 25mm-Bauteil-Haltern, davon mindestens einer transversal justierbar), Halter (diverse, für Linsen, Blenden, Hologramme und Sonstiges),
 - Schirm (Fe, groß, mit Haftmagneten für Papierbefestigung), Planspiegel (auf Stift mit Kugelgelenk),
 - Mattscheibe (in Halter auf Stift), Glasplatte (in Halter, drehbar um hor. Achse, mit Winkelskala),
 - Polarisationsfilter ($d=10\text{cm}$, auf Stift, drehbar, mit Winkelskala, **nicht im unaufgeweiteten Strahl benutzen!**),
 - Hologramm (8,5cm X 10cm, in Halter auf Stift),
 - Gitter (Dia-Format: Strichgitter 570/mm, Kreuzgitter 13,4/mmX15/mm, Kreuzgitter 2,6/mm x 3,8/mm; in 25 mm-Fassung: Strichgitter 100/cm; Kreuzgitter und Wabengitter (= Hexagonalgitter) ohne Dimensionsangabe),
 - Kreisblende 1 – 1.5 – 2 mm als Dia
 - Tischlampe, Taschenlampe, Maßband, Reinigungsutensilien.

Folgende Elemente in 25mm-Fassungen:

- Beugungsordnungsblende mit 5 speziellen Öffnungen, Beugungskante, Lochblende 1mm,
- Scheibenblende 1mm, Beugungssteg 0,3mm, Spalte 0,2mm und 0,3mm und 0,4mm,
- Doppelspalte 0,25/0,5mm und 0,25/0,75mm, Dreifachspalt 0,25/0,5mm, Vierfachspalt 0,2/0,3mm,
- Einstellspalt, Irisblende, Polarisationsfilter ohne Skala,
- Achromate $f=10\text{mm}$ und $f=20\text{mm}$, Sammellinsen $f=30\text{mm}$ und $f=50\text{mm}$ und $f=100\text{mm}$ und $f=150\text{mm}$.

Literatur:

Demtröder, *Experimentalphysik 2*, Elektrizität und Optik, Springer-Verlag, 2006

F. Pedrotti et al., *Optik für Ingenieure*, Grundlagen, Springer-Verlag, 2002

Bergmann, Schäfer: *Experimentalphysik*, Bd.3, Optik

Hecht, Zajac: *Optics*

Koppelman: *Der Laser - Eine elem. Darst.*, Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986), S.37

Koppelman: *Die Grundidee der Holographie - Eine elem. Einf.*, Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986), S.2

Koppelman: *Erzeugung echt räuml. Bilder mit Hologr.* - Eine elem. Darst., Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986)

Mallwitz (Firma Spindler & Hoyer): *Arbeitsunterlagen zum He-Ne-Laser*, Versuche mit kohärentem Licht

Tradowsky: *Laser, kurz und bündig*

Brändli, Dändliker, Hatz: *Laserphysik*

Vorbereitung
P2 Praktikum
Versuch 10: Laser A

Johannes Fischer (1558192)

Johannes King(1572476)

Di - 30

Vorbereitung zum Versuch 05.07.2011

Der He-Ne-Laser

Das Prinzip eines Laser besteht darin mithilfe von induzierter Emission viele Photonen gleicher Phase und Polarisation zu erzeugen. Dabei ist die sogenannte **Besetzungsinversion** erforderlich. Diese besagt, dass das Verhältnis zwischen der Anzahl von Elektronen in hohen Niveaus zu der in niedrigen gerade umgekehrt ist, dass also viele Elektronen in angeregten Zuständen sind. Durch induzierte Emission können diese dann schlagartig abgeregt werden und ein Lichtstrahl diskreter Wellenlänge entsteht. Dieser wird im Laser reflektiert und fokussiert, bis er diesen durch einen halbdurchlässigen Spiegel verlässt.

Beim He-Ne-Laser werden zunächst die Helium-Atome mithilfe einer Gasentladung in den angeregten Zustand versetzt. Durch elastische Stöße wird die Energie an die Neon Atome abgegeben, deren angeregte Zustände auf fast der identischen Energie wie die des Heliums liegen. Diese Energiezustände sind relativ langlebig und eignen sich daher für stimulierte Emission. Bei dieser tritt dann das charakteristische rote Licht aus. Die beiden anderen Linien liegen nicht im sichtbaren Spektrum.

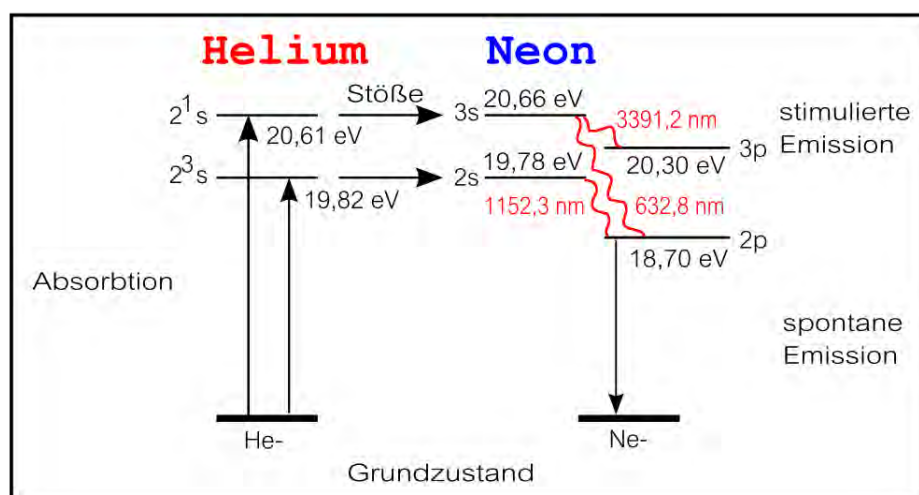


Abb. 1: Termschema der He-Ne-Laser-Emission

1 Brewster-Winkel

Wird Licht an einer Oberfläche reflektiert, so werden in dieser Dipole zum schwingen angeregt, welche dann das reflektierte Licht erzeugen. Dipole können jedoch nicht in Schwingungsrichtung abstrahlen. Steht die Ausbreitungsrichtung der reflektierten Welle genau senkrecht zu der der transmittierten, ist die Intensität des p-polarisierten Anteils des reflektierten Lichts gleich Null. Denn die Schwingungsrichtung der Dipole ist senkrecht zu Ausbreitungsrichtung im Material und somit parallel zu Ausbreitungsrichtung der reflektierten Welle. S-polarisiertes Licht wird nach den bekannten Gesetzen reflektiert.

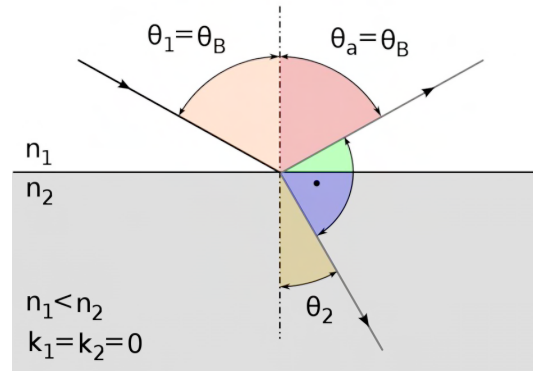


Abb. 2: Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brewster-Winkel> 03.07.2011

Es gilt also:

$$\theta_2 + \theta_B = 90^\circ$$

Mithilfe der Snellius-Brechungsgesetze

$$n_1 \sin \theta_2 = n_2 \sin \theta_B \quad (1)$$

folgt dann

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

1.1 Brewster-Fenster im Laser

Diesen Effekt macht man sich bei Lasern zunutze um einen möglichst gleichmäßig polarisierten Strahl zu erhalten. Brewster Fenster werden dazu so eingebaut, dass das Licht im Brewster-Winkel auf diese trifft und nur das s-polarisierte Licht reflektiert wird. P-polarisiertes Licht wird lediglich transmittiert. Der Anteil der s-polarisierten Lichts am Laserstrahl nimmt also ab.

1.2 Bestimmung von Brewsterwinkel und Brechungsindex

Unter Beobachtung der Intensitäten von reflektiertem und transmittiertem Licht kann eine Aussage über den Brewster-Winkel gemacht werden.

Für den Brechungsindex folgt dann aus (2) unter der Annahme von $L_{\text{Luft}} = 1$

$$n_2 = \tan \theta_B$$

2 Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Einzelspalt

Der Intensitätsverlauf des Beugungsbildes eines Einzelspalttes hat folgende Gestalt

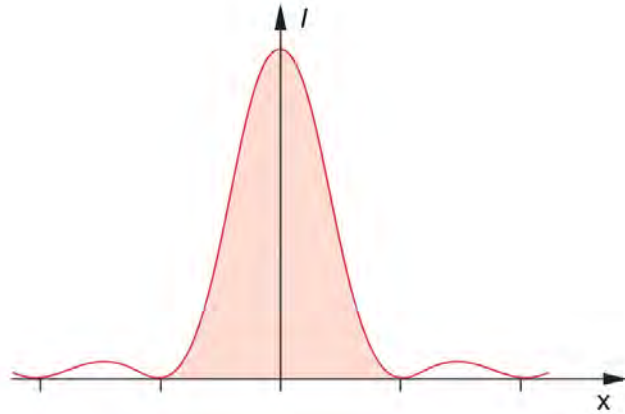


Abb. 3: Intensitätsverlauf im Beugungsbild des Einzelspaltes

In diesem Versuchsteil soll die Spaltbreite eines Einzelspaltes aus der Lage der Intensitätsmaxima bzw -minima bestimmt werden. Dafür betrachten wir zunächst den Gangunterschied Δs der beiden äußersten Strahlen in Abhängigkeit des Winkels α , den die optische Achse mit den beiden Strahlen bildet.

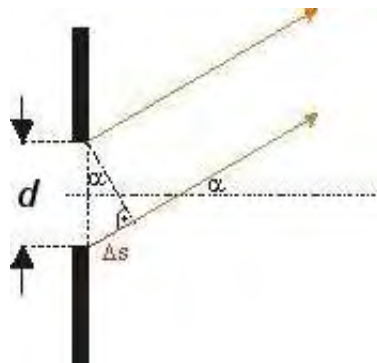


Abb. 4: Gangunterschied der äußersten Strahlen am Einzelspalt

Offenbar gilt

$$\Delta s = d \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Dabei muss der Gangunterschied für die Minima

$$\Delta s = n \cdot \lambda \quad n \in \mathbb{N} \quad (4)$$

betragen. Dann nämlich kann man den Strahl in $2n$ Teilstrahlen aufteilen und zu jedem Strahlenbündel in Teilstrahl k , $k = 1, 3, \dots, n - 1$ ein Strahlenbündel in Teilstrahl $k + 1$ finden, das einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ hat. Dadurch löschen sich alle Teilstrahlen paarweise aus.

Der Gangunterschied für die Maxima muss

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad n \in \mathbb{N} \quad (5)$$

betragen. Dann kann man den Strahl in $2n + 1$ Teilstrahlen aufteilen, von denen sich $2n$ paarweise auslöschen und der verbleibende das n -te Maximum erzeugt.

Das Beugungsmuster am Schirm im Abstand l ergibt sich wie folgt

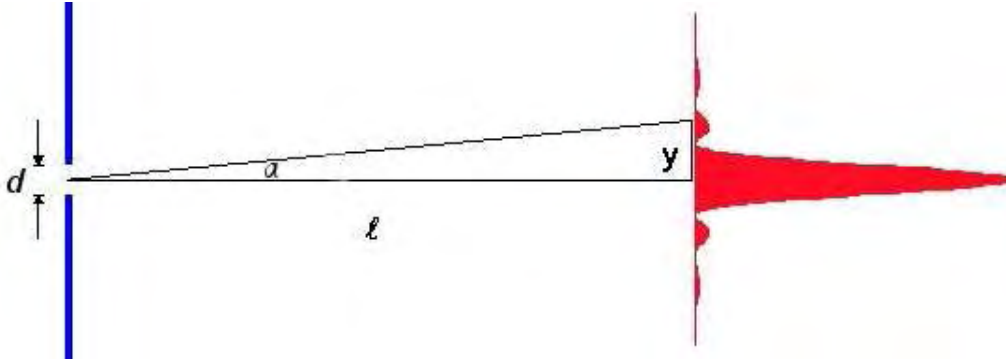


Abb. 5: Entstehung des Beugungsbildes

Für das n -te Maximum bzw. Minimum im Abstand y_n von der optischen Achse gilt

$$y_n = l \cdot \tan \alpha_n \quad (6)$$

Mit der Kleinwinkelnäherung

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \alpha \quad (7)$$

sowie (3) und (6) folgt

$$\frac{y_n}{l} = \frac{\Delta s_n}{d} \quad (8)$$

$$\Rightarrow d = \frac{\Delta s_n l}{y_n} \quad (9)$$

Also folgt mit (4) für das n -te Minimum

$$d = \frac{n \lambda l}{y_n} \quad (10)$$

bzw. mit (5) für das n -te Maximum

$$d = \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda l}{y_n} \quad (11)$$

Die Lage der Maxima bzw. Minima muss nun experimentell ermittelt werden.

3 Steg

Ein von J. Babinet aufgestelltes Theorem besagt, dass zwei zueinander komplementäre Blenden das gleiche Beugungsbild erzeugen. Komplementäre Blenden könnten beispielsweise eine Kreisscheibe und eine kreisförmiges Loch gleichen Durchmessers oder wie hier ein Einzelspalt und ein Steg gleicher Dicke sein. Wir erwarten also ein analoges Beugungsbild wie in 2.1. Erklären kann man sich dieses Phänomen mithilfe des Huygenschen Prinzips. Dies besagt, dass Wellen beim Treffen auf Oberflächen dort neue Elementarwellen erzeugen, die dann für das Beugungsmuster verantwortlich sind. Bei komplementären Blenden befinden sich diese Oberflächen (hier Kanten) an der gleichen Stelle und erzeugen daher auch ein identisches Beugungsbild.

4 Kreisscheibe, Kreisöffnung und Kante

In diesem Versuchsteil sollen die Beugungsbilder einer Kreisscheibe, einer Kreisöffnung und einer Kante beobachtet werden. Für die Kreisscheibe und die Kreisöffnung erwarten wir wegen 3 das gleiche rotationssymmetrische Beugungsbild.



Abb. 6: Beugungsbild einer kreisförmigen Öffnung bzw. einer Kreisscheibe

In der Mitte des Beugungsbilder erwarten wir einen hellen Fleck, den **Poissonsschen Fleck**. Dieser entspricht dem 0-ten Hauptmaximum und kommt daher, dass alle Elementarwellen auf dem Kreis die gleiche Entfernung zum Mittelpunkt zurücklegen und daher konstruktiv interferieren.

Für die Beugung an der Kante erwarten wir das folgende Bild:

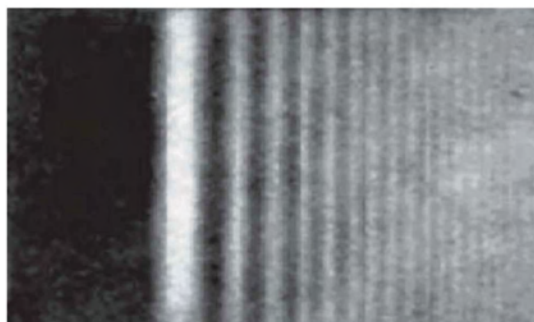


Abb. 7: Beugungsbild einer kreisförmigen Öffnung bzw. einer Kreisscheibe

4.1 Durchmesser eines Haares

Den Durchmesser des Haares kann man völlig analog zum Durchmesser des Steges in 3 bestimmen. Anschließend soll der Durchmesser noch mit einer Mikrometerschraube bestimmt werden.

5 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

5.1 Doppelspalt

Der Intensitätsverlauf des Beugungsbildes eines Doppelspaltes hat folgende Gestalt

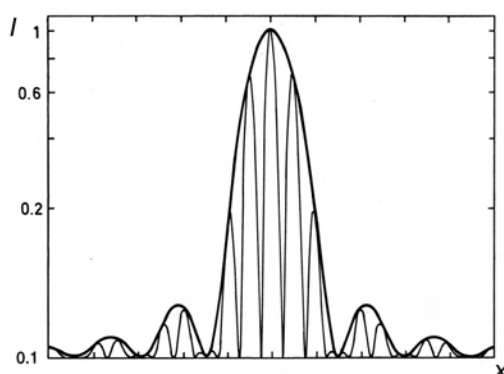


Abb. 8: Intensitätsverlauf im Beugungsbild des Doppelspaltes

In diesem Versuchsteil sollen die Spaltbreite und der Spaltabstand eines Doppelspaltes aus seinem Beugungsbild bestimmt werden. In Abb. 8 kann man erkennen, dass das Beugungsbild auf dem Schirm im Abstand l eine Überlagerung von zwei Beugungsfiguren darstellt. Die einhüllende Kurve beschreibt die Summe der Beugungsfiguren der beiden Einzelspalte. Aus ihr kann also die Spaltbreite d völlig analog zu 2.1 bestimmt werden.

$$d = \frac{n \lambda l}{y_n} \quad (12)$$

Für das n -te Minimum bzw.

$$d = \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda l}{y_n} \quad (13)$$

Für das n -te Maxima.

Die innere Kurve beschreibt das Beugungsbild, das aus der Interferenz der beiden Spalte entsteht. Aus ihr kann also der Spaltabstand b bestimmt werden. Dazu nimmt man an, die Spalte seien unendlich dünn, sodass sie jeder für sich keine Beugungsfiguren erzeugen. Für den Gangunterschied der beiden Strahlen gilt wie in 2.1

$$\Delta s = b \cdot \sin \alpha \quad (14)$$

Im Unterschied zum Einzelspalt sind diese beiden Stahlen aber die einzigen und es gibt kein Strahlenbündel dazwischen. Deshalb ändern sich die Bedingungen für Minima bzw. Maxima. Diese sind nun für Minima (destruktive Interferenz)

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad n \in \mathbb{N} \quad (15)$$

und für Maxima

$$\Delta s = n \cdot \lambda \quad n \in \mathbb{N} \quad (16)$$

Die Minima und die Maxima sind also einfach vertauscht. Es ergibt sich daher mit (14) und (6) für die Maxima

$$b = \frac{n \lambda l}{y_n} \quad (17)$$

und für die Minima

$$b = \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda l}{y_n} \quad (18)$$

5.2 zweiter Doppelspalt, Dreifachspalt

a) zweiter Doppelspalt Aus (13) liest man ab, dass für einen zweiten Doppelspalt mit kleinerer/größerer Spaltbreite d die Maxima der Einhüllenden Kurve weiter auseinander/zusammen rutschen.

Aus (17) liest man ab, dass für einen zweiten Doppelspalt mit kleinerem/größerem Spaltabstand b die Maxima der inneren Kurve weiter auseinander/zusammen rutschen.

b) Dreifachspalt Die Einhüllende wird sich kaum verändern, da das Beugungsbild jedes einzelnen Spaltes natürlich nicht von der Verteilung des Spalte abhängt. Man wird lediglich mehr Maxima bzw. Minima in der inneren Kurve beobachten, da nun drei Spalte interferieren.

5.3 Gitter

Ein Gitter mit Gitterkonstante g ist nichts anderes als eine Aneinanderreihung von n Spalten im Abstand $\frac{1}{g}$. Deshalb kann man völlig analog zu 5.1 herleiten

$$\frac{1}{g} = \frac{n \lambda l}{x_n} \quad (19)$$

wobei x_n hier der Abstand des n -ten Maximums von der optischen Achse ist.

Damit möglichst alle Gitteröffnungen interferieren, sollte das Gitter möglichst gut ausgeleuchtet sein.

5.4 Kreuz- und Wabengitter

In diesem qualitativen Demonstrationsversuch wird das Beugungsbild eines Kreuz- und eines Wabengitters beobachtet.

6 Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände

Die Abbesche Theorie der Abbildung besagt, dass für die korrekte Abbildung sämtliche Beugungsordnungen verantwortlich sind. Um dies zu demonstrieren durchleuchten wir ein feinmaschiges Gitter (100 Striche/cm) mit dem Laser und bilden es mithilfe einer 150mm-Linse auf einem entfernten Schirm ab. In der Brennebene der Linse positionieren wir eine Blende mit deren Hilfe wir Beugungsordnungen herausfiltern können. Ist die Blende fast geschlossen, kann sie nur von der 0. Beugungsordnung passiert werden und auf dem Schirm wird nurnoch ein Fleck anstelle des Bildes des Gitters sichtbar sein. Erst wenn höhere Ordnungen zugelassen werden, ist die Gitterstruktur auf dem Schirm erkennbar. Im Gegensatz zur 0.Ordnung, deren Lichtstrahlen das Gitter unbeirrt passieren, tragen die höheren die Informationen über die Geometrie des Gitters.

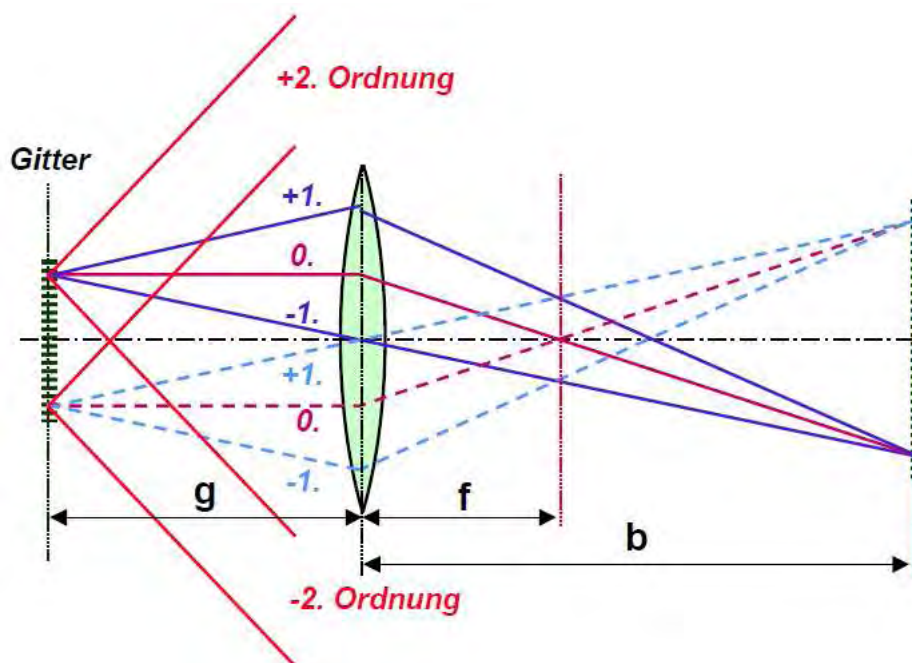


Abb. 9: Quelle: http://www.wmi.badw.de/teaching/Lecturenotes/Physik3/Gross_Physik.III.Kap.7.pdf
03.07.2011

7 Holograpie

Reguläre Fotos vermögen es zwar, Farben und Strukturen von Objekten originalgetreu abzubilden, die Information über deren Abstand zueinander - in Form von Phasendifferenzen der reflektierten Strahlen - geht jedoch verloren.

Mithilfe der Holographie ist es möglich diese räumliche Information zu erhalten. Zu diesem Zweck wird der Laserstrahl zunächst aufgeweitet um größere Objekte abbilden zu können, anschließend wird er durch einen Strahlteiler in 2 Teilstrahlen zerlegt von denen einer auf

das Objekt trifft, der andere direkt auf die Photoplatte. Die vom Objekt reflektierten Strahlen gelangen auch auf die Photoplatte, sind jedoch wie bereits angesprochen zum Referenzstrahl Phasenverschoben. In der Ebene der Photoplatte treffen diese wieder das unreflektierte kohärente Licht und erzeugen Interferenzmuster. Dieses hat jedoch keinerlei Ähnlichkeit mit dem Objekt selbst. Um das Hologramm betrachten zu können wird die entwickelte Photoplatte mit Licht der gleichen Wellenlänge bestrahlt. Das Hologramm lässt sich dann aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten, wobei je nach Blickwinkel verschiedene Teile des Objektes sichtbar sind. Da sich auf der Photoplatte ein Interferenzbild befindet, ist das gesamte Hologramm noch sichtbar, wenn Teile der Platte abgedeckt sind.

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

2.1 2. Messung

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

3.1 1. Messung (Doppelpunkt)

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

3.2 4. Messung

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

2.1 3. Messung

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

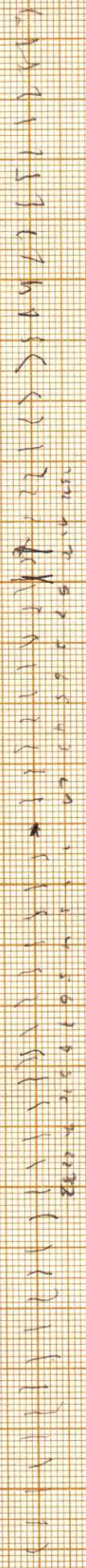
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

3.1 5. Messung (Doppelpunkt)

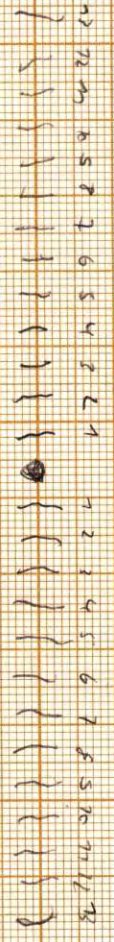
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

3.1 2. Messung

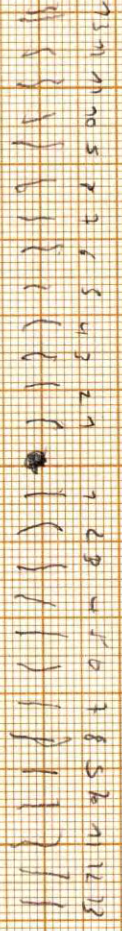
2.1. Messung



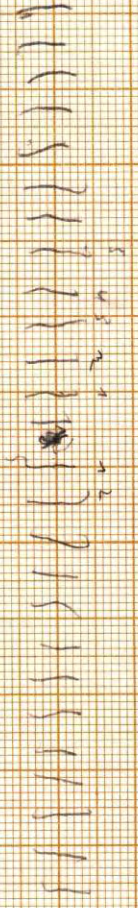
2.2. Messung



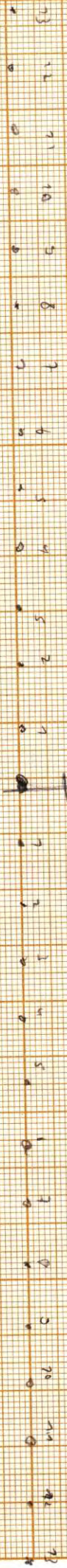
2.3. Messung



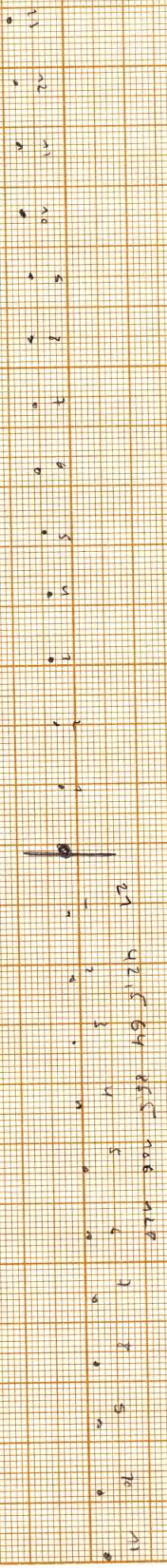
2.4. Messung



3.3. 3. Messung



3.3. 2. Messung



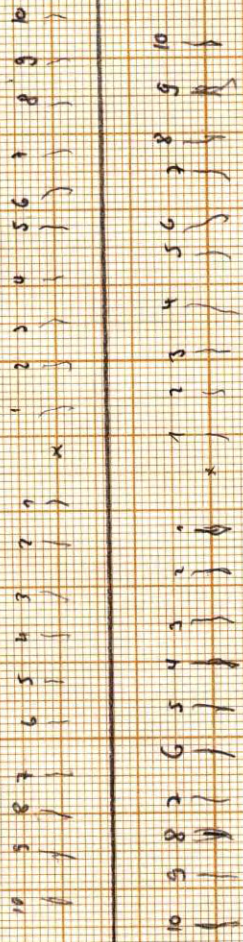
| Time | 1. Messung | 2. Messung | 3. Messung |
|------|------------|------------|------------|
| 13 | X | | |
| 12 | X | | |
| 11 | X | | |
| 10 | X | | |
| 9 | X | | |
| 8 | X | | |
| 7 | X | | |
| 6 | X | | |
| 5 | X | | |
| 4 | X | | |
| 3 | X | | |
| 2 | X | | |
| 1 | X | | |
| 0 | X | | |
| -1 | X | | |
| -2 | X | | |
| -3 | X | | |
| -4 | X | | |
| -5 | X | | |
| -6 | X | | |
| -7 | X | | |
| -8 | X | | |
| -9 | X | | |
| -10 | X | | |
| -11 | X | | |
| -12 | X | | |
| -13 | X | | |
| -14 | X | | |
| -15 | X | | |
| -16 | X | | |
| -17 | X | | |
| -18 | X | | |
| -19 | X | | |
| -20 | X | | |
| -21 | X | | |
| -22 | X | | |
| -23 | X | | |
| -24 | X | | |
| -25 | X | | |
| -26 | X | | |
| -27 | X | | |
| -28 | X | | |
| -29 | X | | |
| -30 | X | | |
| -31 | X | | |
| -32 | X | | |
| -33 | X | | |
| -34 | X | | |
| -35 | X | | |
| -36 | X | | |
| -37 | X | | |
| -38 | X | | |
| -39 | X | | |
| -40 | X | | |
| -41 | X | | |
| -42 | X | | |
| -43 | X | | |
| -44 | X | | |
| -45 | X | | |
| -46 | X | | |
| -47 | X | | |
| -48 | X | | |
| -49 | X | | |
| -50 | X | | |
| -51 | X | | |
| -52 | X | | |
| -53 | X | | |
| -54 | X | | |
| -55 | X | | |
| -56 | X | | |
| -57 | X | | |
| -58 | X | | |
| -59 | X | | |
| -60 | X | | |
| -61 | X | | |
| -62 | X | | |
| -63 | X | | |
| -64 | X | | |
| -65 | X | | |
| -66 | X | | |
| -67 | X | | |
| -68 | X | | |
| -69 | X | | |
| -70 | X | | |
| -71 | X | | |
| -72 | X | | |
| -73 | X | | |
| -74 | X | | |
| -75 | X | | |
| -76 | X | | |
| -77 | X | | |
| -78 | X | | |
| -79 | X | | |
| -80 | X | | |
| -81 | X | | |
| -82 | X | | |
| -83 | X | | |
| -84 | X | | |
| -85 | X | | |
| -86 | X | | |
| -87 | X | | |
| -88 | X | | |
| -89 | X | | |
| -90 | X | | |
| -91 | X | | |
| -92 | X | | |
| -93 | X | | |
| -94 | X | | |
| -95 | X | | |
| -96 | X | | |
| -97 | X | | |
| -98 | X | | |
| -99 | X | | |
| -100 | X | | |

A33
1. Messung

1 21,5 6 11
2 41,5 7 11
3 63,5 8 13
4 9
5 10

3.1 1. Messung

- 1 12,5 mm
- 2 24
- 3 36,5
- 4 42,5
- 5 60
- 6 70,5
- 7 82
- 8 94
- 9 105
- 10 117,5



3.7 5. Messung

- 1 13 mm
- 2 23,5
- 3 35,5
- 4 46
- 5 60
- 6 70
- 7 83
- 8 92
- 9 103,5
- 10 117

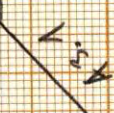
3.



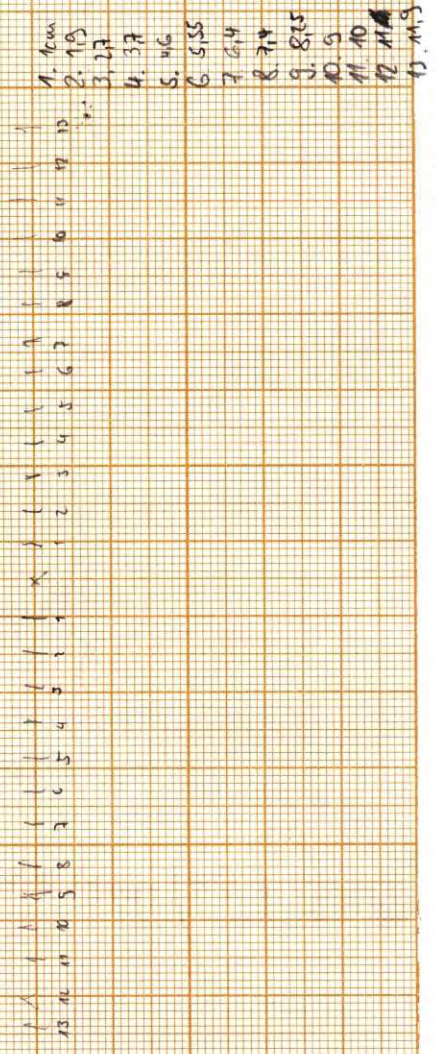
4.



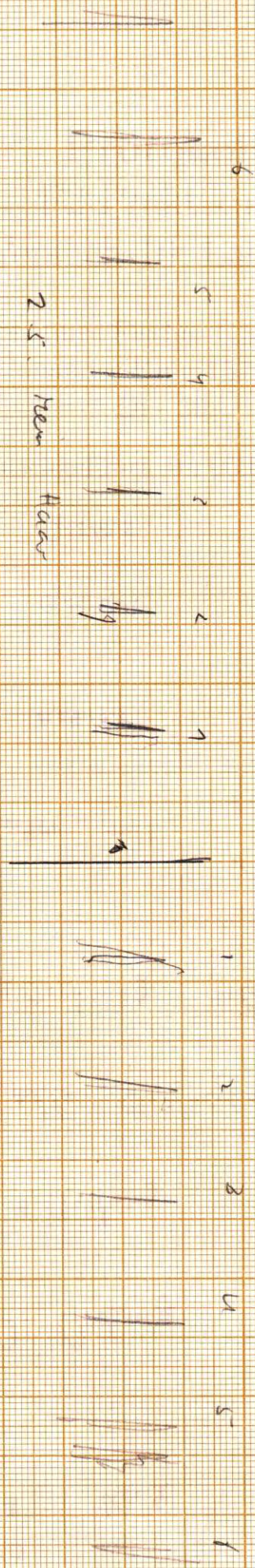
- 1. 1,5 mm 15,71,5
- 2. 5 16,79
- 3. 10 17,83
- 4. 15 18,88
- 5. 20 19,94
- 6. 26 20,99,5
- 7. 30,5
- 8. 36
- 9. 42
- 10. 46,5
- 11. 51
- 12. 56,5
- 13. 62
- 14. 66,5



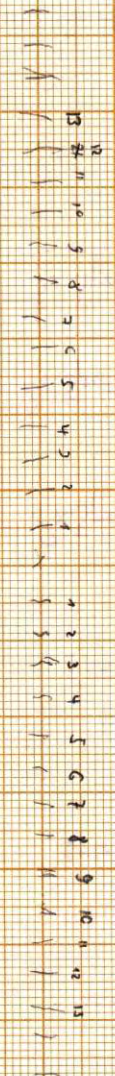
- 1 2 mm
- 2 6 mm
- 3 10
- 4 16
- 5 20
- 6 26
- 7 31
- 8 36
- 9 41
- 10 47
- 11 52
- 12 57
- 13 62,5
- 14 67,5
- 15 73,5
- 16 78
- 17 82,5
- 18 87



1. 100
 2. 19
 3. 27
 4. 37
 5. 46
 6. 55
 7. 64
 8. 74
 9. 85
 10. 9
 11. 10
 12. 11
 13. 12



1. 100
 2. 19
 3. 27
 4. 37
 5. 46
 6. 55
 7. 64
 8. 74
 9. 85
 10. 9
 11. 10
 12. 11
 13. 12



1. 100
 2. 19
 3. 27
 4. 37
 5. 46
 6. 55
 7. 64
 8. 74
 9. 85
 10. 9
 11. 10
 12. 11
 13. 12

| | |
|--------|----------|
| 4. 100 | 8 27 20 |
| 2. 19 | 9 83 |
| 3. 27 | 10 93 |
| 4. 37 | 11 100,5 |
| 5. 46 | 12 110,5 |
| 6. 55 | 13 118,5 |
| 7. 64 | |
| 8. 74 | |
| 9. 85 | |
| 10. 9 | |
| 11. 10 | |
| 12. 11 | |
| 13. 12 | |

A2.1 4. Messung
 100 + 5T
 126
 127 +

Protokoll
P2 Praktikum
Versuch 10: Laser A

Johannes Fischer (1558192)

Johannes King(1572476)

Di - 30

Durchgeföhrt am 05.07.2011

1 Brewster-Winkel

Der Brewster-Winkel wurde anhand von 2 Methoden bestimmt.

Methode 1: Beobachtung des Intensitätsmaximums:

Zwischen Fotodiode und Laser wurde ein drehbar gelagertes durchsichtiges Plättchen positioniert und die Intensität ($\sim U$) des durchgelassenen Laserlichts über die Winkelstellung beobachtet. Fällt das Licht im Brewster-Winkel auf das Plättchen, wird der p-polarisierte Anteil nicht reflektiert und die gesamte Intensität wird transmittiert. Es herrscht dann also ein Maximum der Intensität. Durch 2 Messreihen wurde dieses lokalisiert. Zunächst grob mit einer Messung in 10° -Schritten und anschließend feiner in 2° -Schritten.

| Winkel in $^\circ$ | U in V |
|--------------------|----------|
| 0 | 0,2508 |
| 10 | 0,2180 |
| 20 | 0,2815 |
| 30 | 0,2828 |
| 40 | 0,2835 |
| 50 | 0,2832 |
| 60 | 0,2825 |
| 70 | 0,2750 |
| 80 | 0,2401 |
| 90 | 0,2767 |

Tab. 1: Grobe Messung des Brewster-Winkels

Das Ergebnis der Messreihe ließ uns vermuten, dass der Winkel im Bereich von 30° bis 50° liegt. Eine erneute Messreihe mit feinerer Winkeleinteilung führte zu folgenden Messwerten:

| Winkel in $^\circ$ | U in V |
|--------------------|----------|
| 30 | 0,2801 |
| 32 | 0,2805 |
| 34 | 0,2810 |
| 36 | 0,2809 |
| 38 | 0,2810 |
| 40 | 0,2812 |
| 42 | 0,2815 |
| 44 | 0,2817 |
| 46 | 0,2815 |
| 48 | 0,2812 |
| 50 | 0,2810 |

Tab. 2: Feine Messung des Brewster-Winkels

Aus diesen Messwerten folgern wir, dass der Brewster-Winkel etwa 44° beträgt. Mithilfe

der Formel aus der Vorbereitung ergibt sich der Wert für n_2 zu:

$$n_2 = \tan 44^\circ = 0,97. \quad (1)$$

Dieser Wert scheint arg fehlerbehaftet, da gewöhnliche Materialien einen Brechungsindex > 1 besitzen. Ein Fehler mag darin liegen, dass die Spannungswerte im Bereich von 0,0001V stark geschwankt haben und ein Mittelwert abgeschätzt werden musste.

Anmerkung:

Nach der ersten Messreihe wurde die Position der Fotodiode verschoben. Dies erklärt, warum die Messwerte der feinen Messung bei 30° und 50° nicht an die vorherige Messung anschließen.

Methode 2: Beobachtung des Minimums

Bei dieser vergleichsweise genauen Messung wurde das Plättchen so positioniert, dass der Laserstrahl gerade mit minimaler (verschwindender) Intensität reflektiert wird. Der reflektierte Strahl verschwand jedoch nicht vollständig, was mit einer möglichen Schrägstellung des Plättchens oder mit nicht ganz einheitlicher Polarisation des Strahls erklärt werden kann.

Das Minimum trat bei einer Winkelstellung von 122° auf. Dieser Wert ist noch um 180° zu korrigieren und ergibt dann für den Brewster-Winkel einen Wert von 58° . Demnach hat das Plättchen einen Brechungsindex von

$$n_2 = \tan 58^\circ = 1,60. \quad (2)$$

Im Vergleich zum oben ermittelten Wert erscheint dieser viel sinnvoller und liegt auch nahe am wahren Wert.

2 Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Einzelspalt

Im Beugungsbild des Spaltes, dessen Breite mit 0,3 mm angegeben war, wurden die Positionen der ersten 13 Minima zu beiden Seiten des nullten Hauptmaximums auf Millimeterpapier markiert. Dann wurde der Abstand der beiden n -ten Minima bestimmt und durch zwei geteilt, um den Abstand y_n des n -ten Minimums von der optischen Achse zu erhalten. Es wurden fünf Messungen durchgeführt und der Mittelwert \bar{y}_n sowie die Standardabweichung σ_{y_n} (mittels Calc) für jede Ordnung bestimmt.

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| \bar{y}_n | 4.80 | 9.40 | 13.6 | 18.45 | 22.90 | 27.80 | 32.15 | 36.95 | 41.50 | 45.65 | 50.30 | 54.70 | 59.55 |
| σ_{y_n} | 0.21 | 0.22 | 0.42 | 0.27 | 0.14 | 0.33 | 0.14 | 0.27 | 0.25 | 0.55 | 0.27 | 0.54 | 0.27 |

Tab. 3: Messwerte (\bar{y}_n und σ_{y_n} in mm)

Um nun die Spaltbreite zu bestimmen, wird Formel (9) aus der Vorbereitung verwendet

$$d = \frac{n \lambda l}{y_n}$$

In Abb. 1 ist der folgende Zusammenhang dargestellt

$$y_n = \frac{\lambda l}{d} \cdot n \quad (3)$$

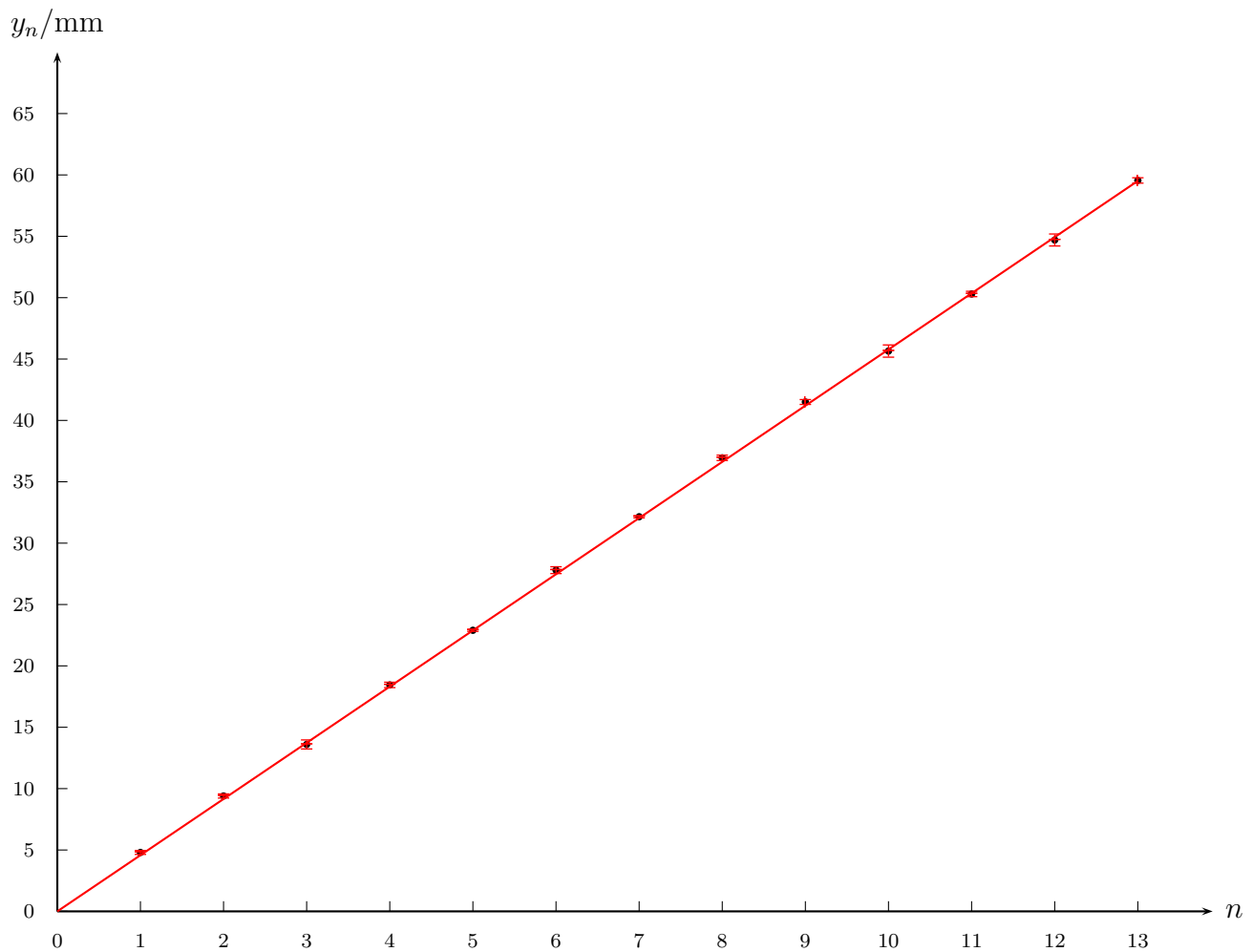


Abb. 1

Die y-Fehlerbalken entsprechen den oben ermittelten Standardabweichungen σ_{y_n} . Die Ausgleichsgerade wurde mittel Origin nach folgenden Parametern erstellt (gewichtete Regression)

$$y = A \cdot x$$

$$\text{mit } A = 4,578 \text{ mm} \quad (4)$$

$$\sigma_A = 0,007 \text{ mm} \quad (5)$$

Mit Hilfe von (3) ergibt sich

$$A = \frac{\lambda l}{d} \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow d = \frac{\lambda l}{A} \quad (7)$$

Mit $l = 2,25 \text{ m}$, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ und (6) erhält man

$$d = 0,3116 \text{ mm}. \quad (8)$$

Fehlerrechnung

Folgende Größen waren in obiger Rechnung mit statistischen Fehlern behaftet

- Die **Wellenlänge** λ des Lasers ist nicht diskret sondern gaußverteilt und weist somit eine gewisse Breite auf. Vereinfachend wird angenommen

$$\lambda = 632,8 \pm 0,1 \text{ nm}.$$

- Der **Abstand** l zwischen Spalt und Schirm wurde ebenfalls mit einem Fehler bestimmt. Die Skaleneinheit der Schiene auf der die optischen Geräte montiert waren betrug 1 cm . Der Fehler wurde mit dieser Einheit abgeschätzt

$$l = 2,25 \pm 0,01 \text{ m}.$$

- Die **Geradensteigung** A ist mit dem von Origin ausgegebenen Fehler σ_A behaftet (siehe (7))

Da die obigen Fehler nicht korreliert sind, werden sie mit Hilfe der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung verrechnet.

$$\Rightarrow \sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial A} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial}{\partial \lambda} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial}{\partial l} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (9)$$

$$= \sqrt{\left(-\frac{\lambda l}{A^2}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\lambda}{A}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (10)$$

$$= \sqrt{0,1 \cdot 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 + 2,4 \cdot 10^5 \cdot 10^{-14} \text{ mm}^2 + 1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2 \text{ mm}^2} \quad (11)$$

$$= 0,0026 \text{ mm} \quad (12)$$

Ergebnis

$$d = (0,3116 \pm 0,0026) \text{ mm}$$

Dieser Wert liegt sehr Nahe an der Angabe von $0,3 \text{ mm}$, die sich auf der Halterung des Spaltes befand. Außerdem konnte durch die fünfmalige Messung und die gewichtete Regression ein relativer Fehler von gerade einmal $0,83\%$ erreicht werden. Unser Ergebnis ist also sehr präzise.

2.2 Steg

Ein von J. Babinet aufgestelltes Theorem besagt, dass zwei zueinander komplementäre Blenden das gleiche Beugungsbild erzeugen. Das lässt sich gut mit der Huygens'schen Prinzip der Elementarwellen erklären. Diese entstehen immer dann, wenn Licht auf eine Kante trifft. Daher ist es egal, ob das Licht auf die Kanten des Spaltes trifft oder auf die äußeren Kanten des Steges.

Das Theorem konnte durch Erzeugung eines Beugungsbildes hinter dem Steg und Außen messen desselben eindrucksvoll demonstriert werden. Die Minima hatten genau die gleiche Position wie die Minima in 2.1.

2.3 Kreisschreibe, Kreisöffnung und Kante

Es wurden die Beugungsbilder von Kreisscheibe, Kreisöffnung und Kante beobachtet.

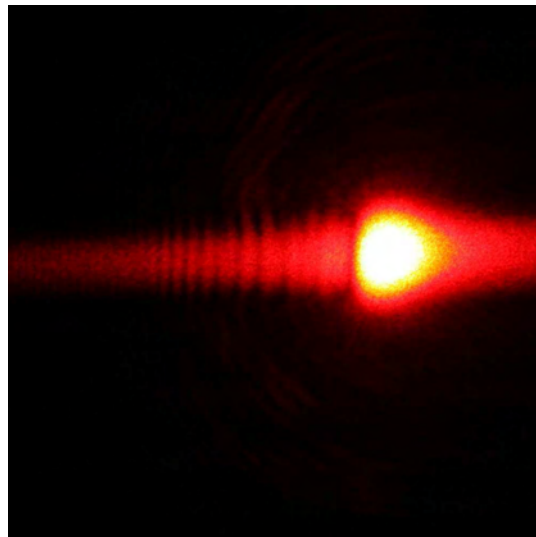


Abb. 2: Beugungsbild der Kante

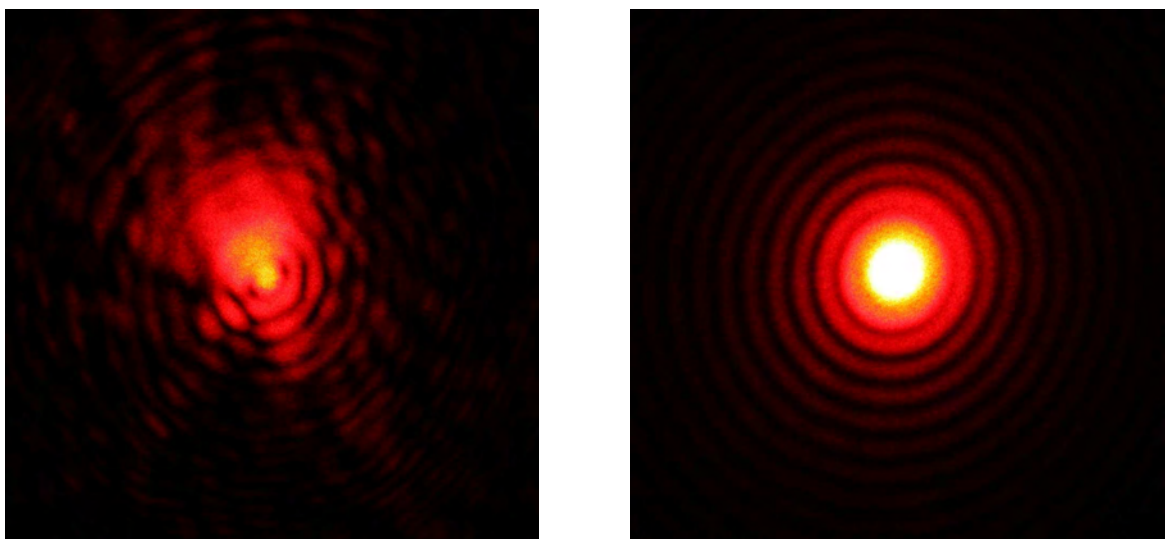


Abb. 3: Beugungsbilder von Kreisscheibe (links) und -öffnung (rechts)

Wie erwartet sind die Beugungsbilder von Kreisscheibe und -öffnung im Rahmen unserer experimentellen Möglichkeiten identisch. Auch der Poissonsche Fleck in der Mitte des Beugungsbildes kann beobachtet werden. Er kommt dadurch zustande, dass alle Punkte auf dem Rand der Scheibe bzw. der Öffnung den gleichen Abstand zur optischen Achse haben und daher auf dem Schirm konstruktiv interferieren.

2.4 Durchmesser eines Haares

Das Haar wurde in einen Rahmen gespannt und in der Laserstrahl gebracht. Dann wurde analog vorgegangen wie in 2.1, mit dem Unterschied, dass nur eine Messung durchgeführt wurde.

| | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|-------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| y_n | 19.8 | 40.0 | 59.5 | 79.5 | 98.0 | 124.0 |

Tab. 4: Messwerte (\bar{y}_n und σ_{y_n} in mm)

Wie oben wurde eine lineare Regression durchgeführt, die folgende Steigung ergab

$$A = 20,4 \text{ mm.} \quad (13)$$

Mit $l = 2013 \text{ mm}$ und λ wie gehabt ergibt sich

$$d = 62,4 \mu\text{m.}$$

Die Messung mit der Mikrometerschraube ergab

$$d_{\text{Schraube}} = 50 \mu\text{m.}$$

Vermutlich haben wir die Schraube etwas zu schwungvoll zuge dreht und das Haar versehentlich zusammengedrückt.

3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Doppelspalt

Es wurde der Doppelspalt mit den Angaben $d = 0,25 \text{ mm}$, $b = 0,5 \text{ mm}$ verwendet. Um die Minima der Einhüllenden leichter bestimmen zu können, wurde der Doppelspalt so in dem Laserstrahl positioniert, dass nur einer der beiden Spalte beleuchtet war. Die Berechnung der Spaltbreite erfolgt dann wieder völlig analog zu 2.1. Die Minima waren bis zur zehnten Ordnung gut erkennbar.

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| \bar{y}_n | 6.15 | 11.75 | 17.90 | 23.25 | 29.75 | 35.00 | 41.19 | 46.80 | 52.25 | 58.40 |
| σ_{y_n} | 0.42 | 0.25 | 0.34 | 0.35 | 0.43 | 0.18 | 0.24 | 0.45 | 0.40 | 0.29 |

Tab. 5: Messwerte (\bar{y}_n und σ_{y_n} in mm)

Die Auftragung

$$y_n = \frac{\lambda l}{d} \cdot n \quad (14)$$

liefert folgenden Graphen

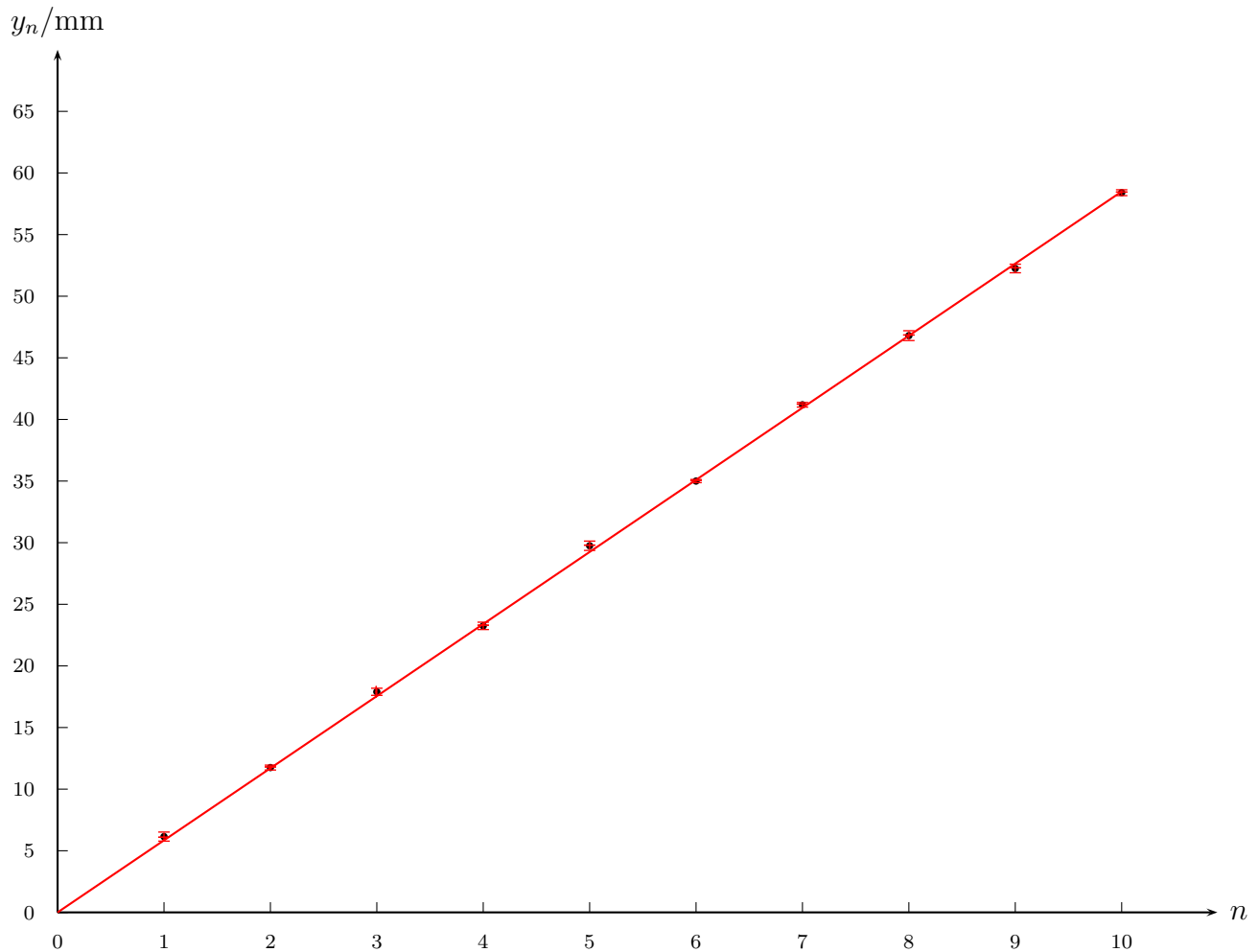


Abb. 4

$$y = A \cdot x$$

mit $A = 5,850 \text{ mm}$ (15)

$\sigma_A = 0,016 \text{ mm}$ (16)

Mit $l = 2,15 \text{ m}$, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ und (15) erhält man

$$d = 0,2326 \text{ mm}. \quad (17)$$

Fehlerrechnung

Es flossen die gleichen Fehler in die Messung ein wie in 2.1.

$$\Rightarrow \sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial A} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial}{\partial \lambda} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial}{\partial l} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (18)$$

$$= \sqrt{0,2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2 + 1,4 \cdot 10^5 \cdot 10^{-14} \text{ mm}^2 + 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2 \text{ mm}^2} \quad (19)$$

$$= 0,0076 \text{ mm} \quad (20)$$

Ergebnis

$$d = (0,2326 \pm 0,0076) \text{ mm}$$

Mit einem relativen Fehler von 3,27% ist dieser Wert etwas ungenauer als die Spaltbreite des Einzelspaltes in 2.1.

Um nun den Spaltabstand zu bestimmen, wurden beide Spalte beleuchtet und die Minima des Beugungsbildes beider Spalten markiert. Diese waren bis zur 20. Ordnung erkennbar. Der Abstand l zum Schirm blieb unverändert.

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| \bar{y}_n | 0.95 | 2.85 | 5.15 | 7.85 | 10.05 | 13.00 | 15.40 | 18.15 | 20.75 | 23.25 |
| σ_{y_n} | 0.11 | 0.29 | 0.22 | 0.22 | 0.11 | 0.00 | 0.14 | 0.34 | 0.18 | 0.18 |
| n | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| \bar{y}_n | 26.05 | 28.50 | 31.05 | 33.55 | 36.25 | 38.95 | 41.30 | 43.85 | 46.45 | 49.20 |
| σ_{y_n} | 0.37 | 0.18 | 0.21 | 0.21 | 0.47 | 0.37 | 0.33 | 0.34 | 0.37 | 0.54 |

Tab. 6: Messwerte (\bar{y}_n und σ_{y_n} in mm)

Da wir nun zwei getrennte Spalten betrachtet wurden, kam Gleichung (17) aus der Vorbereitung zur Anwendung:

$$b = \frac{(n + \frac{1}{2}) \lambda l}{y_n}$$

Um nun b zu bestimmen, wurde folgende Auftragung gewählt:

$$y_n = \frac{\lambda l}{b} \cdot (n + \frac{1}{2}) \quad (21)$$

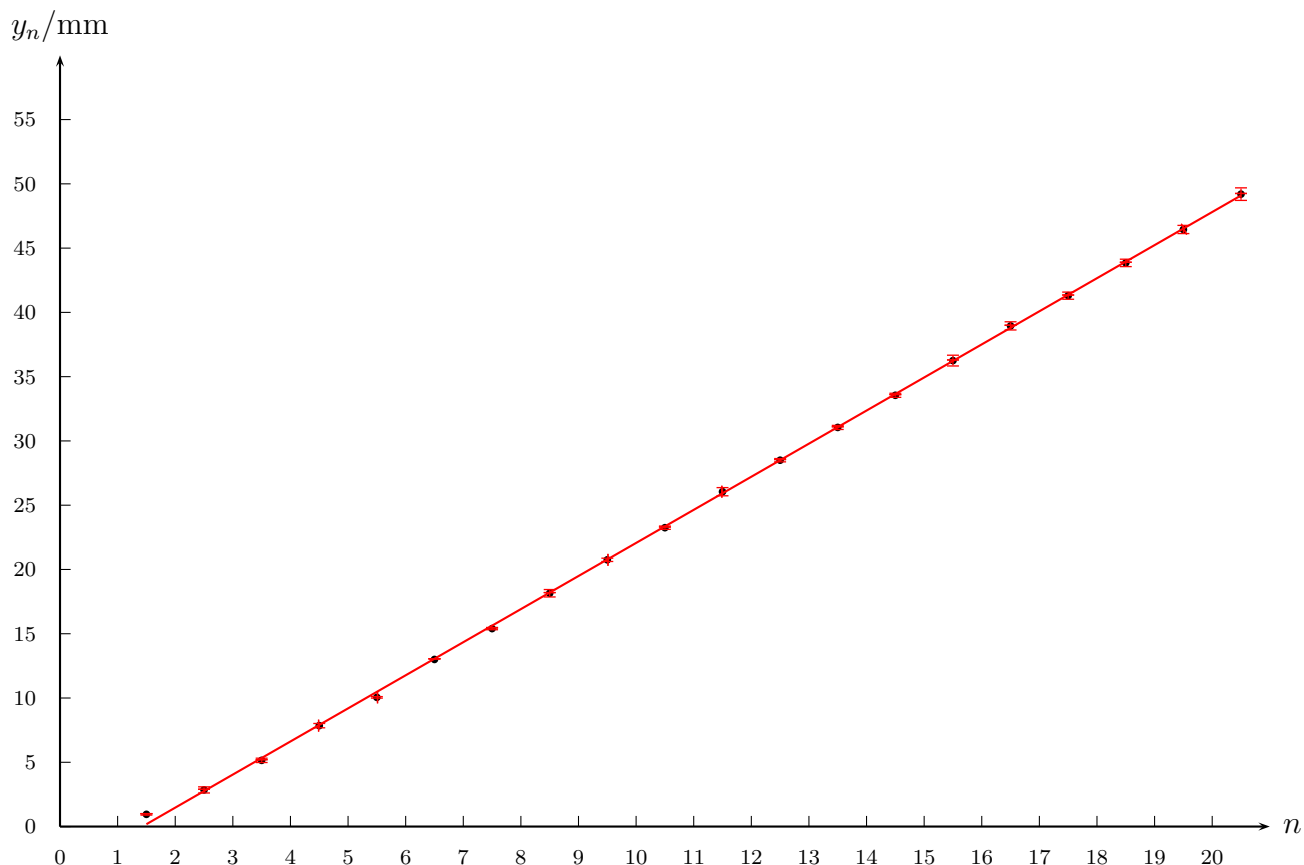


Abb. 5

$$y = A \cdot x + B$$

$$\text{mit } A = 2,574 \text{ mm} \quad (22)$$

$$\sigma_A = 0,0068 \text{ mm} \quad (23)$$

$$B = -3,678 \text{ mm} \quad (24)$$

$$\sigma_B = 0,0956 \text{ mm} \quad (25)$$

Natürlich könnte man b auch aus

$$B = \frac{1}{2} \frac{\lambda l}{b} \quad (26)$$

bestimmen. Der Einfachheit halber wird aber analog Verfahren wie in 2.1.

$$\Rightarrow b = 0,5286 \text{ mm} \quad (27)$$

Fehlerrechnung

Es flossen wieder die gleichen Fehler in die Messung ein wie in 2.1.

$$\Rightarrow \sigma_b = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial A} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial}{\partial \lambda} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial}{\partial l} \cdot \frac{\lambda l}{A}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (28)$$

$$= \sqrt{0,5 \cdot 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 + 1,4 \cdot 10^5 \cdot 10^{-14} \text{ mm}^2 + 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2 \text{ mm}^2} \quad (29)$$

$$= 0,0049 \text{ mm} \quad (30)$$

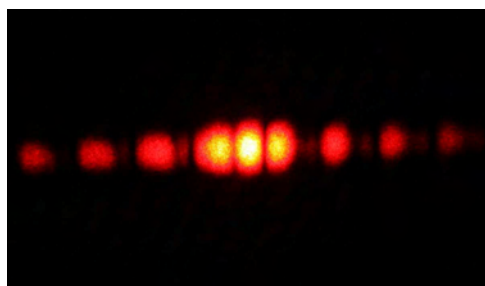
Ergebnis

$$b = (0,5286 \pm 0,0049) \text{ mm}$$

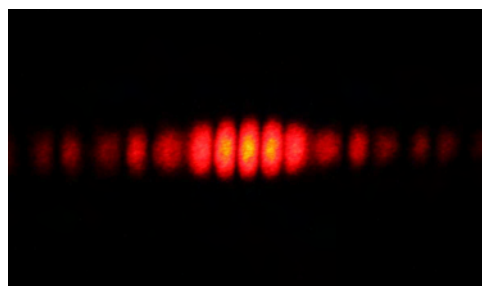
Mit einem relativen Fehler von 0,92% liegt dieser Wert im gleichen Genauigkeitsbereich wie die Spaltbreite des Einzelspaltes in 2.1.

3.2 zweiter Doppelspalt, Dreifachspalt

a) **zweiter Doppelspalt** Wie erwartet hatten die Maxima im Beugungsbild des zweiten Doppelspaltes ($d = 0,25 \text{ mm}$, $b = 0,75 \text{ mm}$) einen größeren Abstand, während die Einhüllende unverändert geblieben ist.



$d = 0,25 \text{ mm}$, $b = 0,5 \text{ mm}$



$d = 0,25 \text{ mm}$, $b = 0,75 \text{ mm}$

Abb. 6: Beugungsbild des Doppelspaltes für zwei verschiedene Spaltabstände

b) **Dreifachspalt** Die Einhüllende hat sich den Erwartungen gemäß kaum verändert. Es wurden auch mehr Maxima bzw. Minima in der inneren Kurve beobachtet.

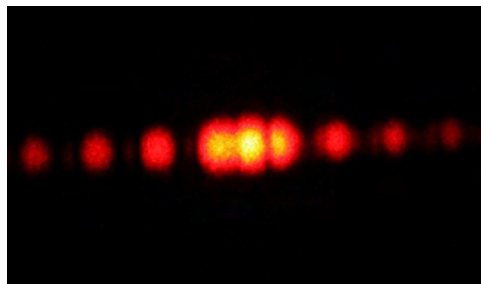


Abb. 7: Beugungsbild des Dreifachspaltes

3.3 Gitter

Die Messungen verliefen ähnlich zu den vorherigen. \bar{x}_n ist der aus den 5 Messwerten gemittelte Abstand des n -ten Maximums (!) zur optischen Achse. σ_{x_n} ist wieder die Standardabweichung.

| Ordnung n | \bar{x}_n / mm | σ_{x_n} / mm |
|-------------|------------------|---------------------|
| 1. | 10,25 | 0,21 |
| 2. | 21,40 | 0,14 |
| 3. | 31,95 | 0,21 |
| 4. | 42,50 | 0,31 |
| 5. | 53,35 | 0,22 |
| 6. | 64,15 | 0,14 |
| 7. | 74,95 | 0,11 |
| 8. | 85,80 | 0,27 |
| 9. | 96,35 | 0,29 |
| 10. | 106,95 | 0,11 |
| 11. | 117,75 | 0,18 |
| 12. | 128,63 | 0,32 |
| 13. | 139,06 | 0,13 |

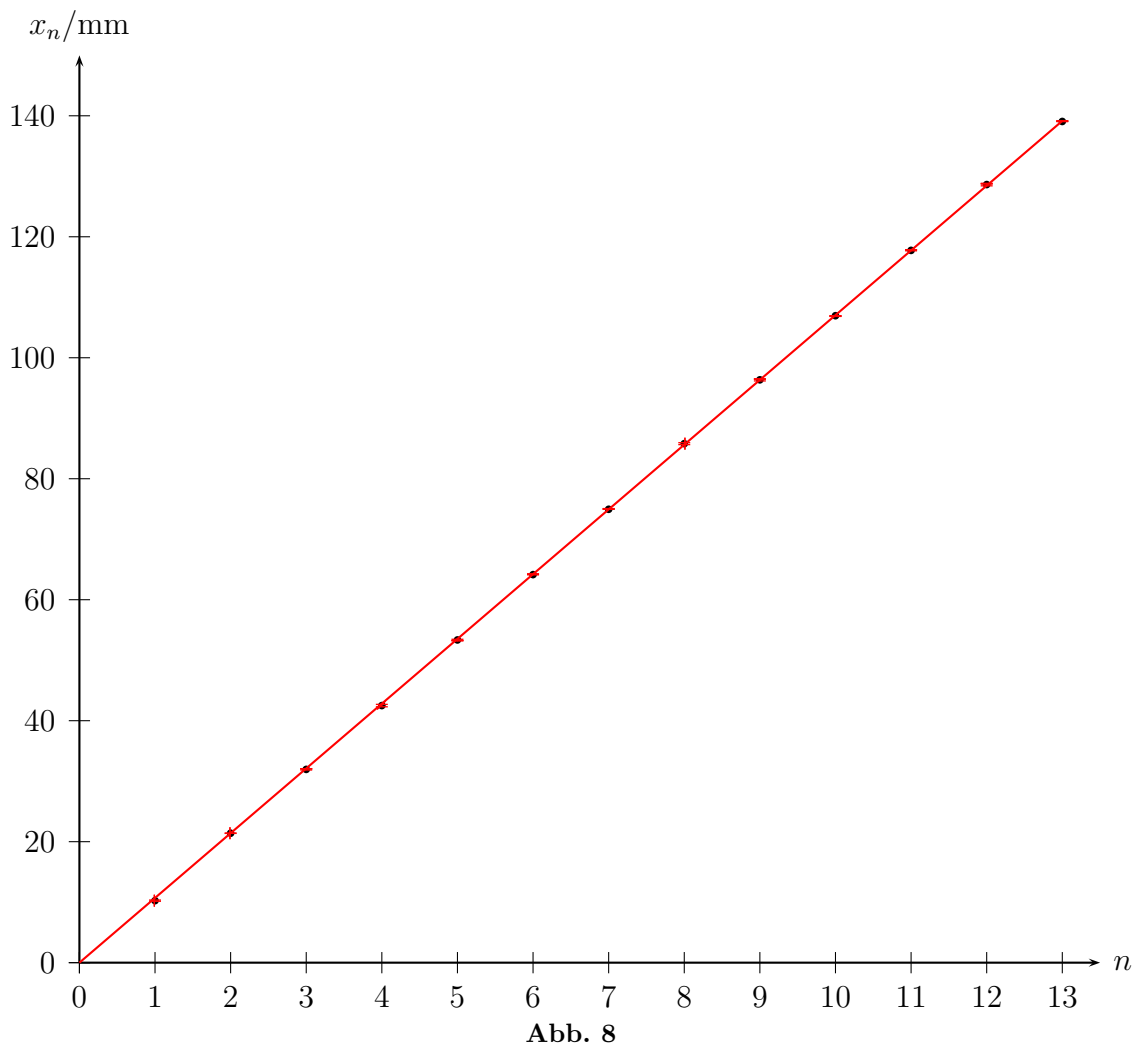
Tab. 7: gemittelte Messwerte

Mit Formel (18) aus der Vorbereitung

$$\frac{1}{g} = \frac{n\lambda l}{x_n}$$

ist in der nachstehenden Abbildung folgende Auftragung realisiert.

$$x_n = \lambda l g \cdot n \tag{31}$$



Die Ausgleichsgerade wurde mit mithilfe von Origin als gewichtete Regression ermittelt. Dabei entsprechen die y-Fehlerbalken der Standardabweichung σ_{x_n} der Messwerte.

$$y = A \cdot x \quad (32)$$

$$\text{mit } A = 10,704 \text{ mm} \quad (33)$$

$$\sigma_A = 0,007 \text{ mm} \quad (34)$$

Aus (31) folgt dann für g :

$$g = \frac{A}{\lambda l} \quad (35)$$

Mit $l = 2,15 \text{ m}$ und $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ erhalten wir dann für die Gitterkonstante

$$g = 7,868 \frac{1}{\text{mm}}. \quad (36)$$

Wie oben bereits diskutiert sind A , λ und l fehlerbehaftet. Mit der gleichen Argumentation wenden wir die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung an:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial A \lambda l}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial \lambda \lambda l}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial l \lambda l}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (37)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda l}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(-\frac{A}{\lambda^2 l}\right)^2 \cdot \sigma_\lambda^2 + \left(-\frac{A}{\lambda l^2}\right)^2 \cdot \sigma_l^2} \quad (38)$$

$$= \sqrt{0,540 \text{ mm}^{-4} \cdot 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 + 1,546 \cdot 10^8 \text{ mm}^{-4} \cdot 10^{-18} \text{ mm}^2 + 1,339 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-4} \cdot 100 \text{ mm}^2} \quad (39)$$

$$= 0,037 \frac{1}{\text{mm}} \quad (40)$$

Ergebnis

$$g = (7,868 \pm 0,037) \frac{1}{\text{mm}} \quad (41)$$

Der angegebene Wert des Gitters liegt bei 100 Strichen pro Zentimeter, also $g = 10 \frac{1}{\text{mm}}$. Unser Wert weicht von diesem um etwa 21,3% ab. Da der ermittelte Fehler den eigentlichen Wert nicht enthält ist davon auszugehen, dass das Gitter nicht die angegebene Gitterkonstante hat.

3.4 Kreuz- und Wabengitter

Wir erwarten, dass bei Kreuz- und Wabengitter die Überlagerungen der Interferenzmuster von zwei Gittern beobachtet werden können. Im qualitativen Versuch wurde dies bestätigt.

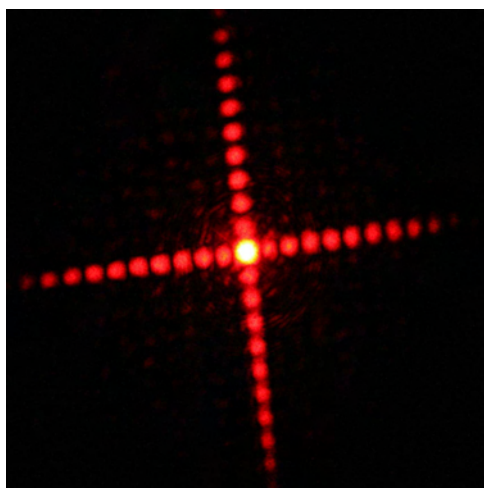


Abb. 9: Beugungsbild des Kreuzgitters

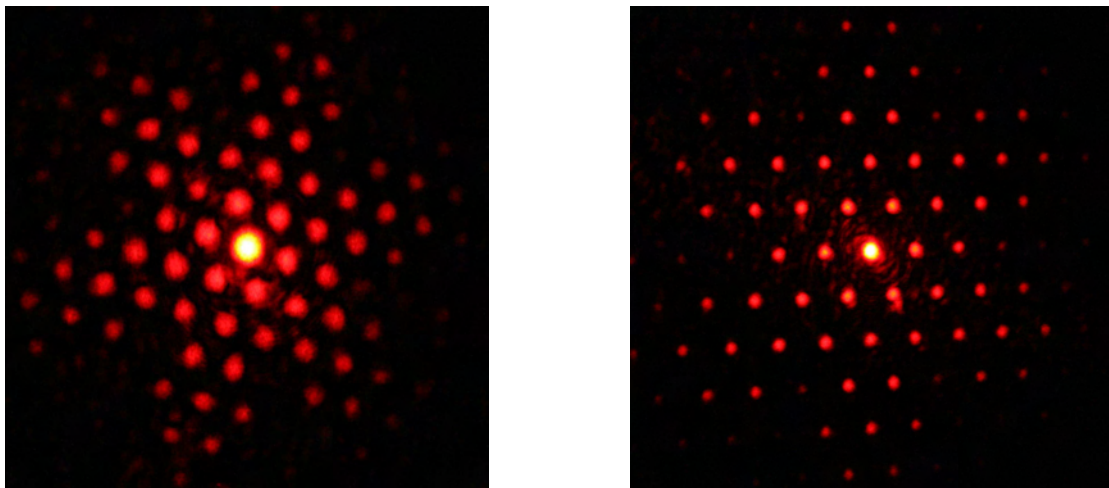


Abb. 10: Beugungsbilder zweier verschiedener Wabengitter

4 Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände

4.1 Kreuzgitter

Das Kreuzgitter wurde in der Brennebene vor der Linse positioniert und die Beugungsblende in der dahinter. Mithilfe der Beugungsblende wurden dann einzelne Beugungsordnungen abgeblendet oder durchgelassen. Im folgenden sind einige Beugungsmuster zu sehen, bei denen unterschiedliche Ordnungen das Bild erzeugen.

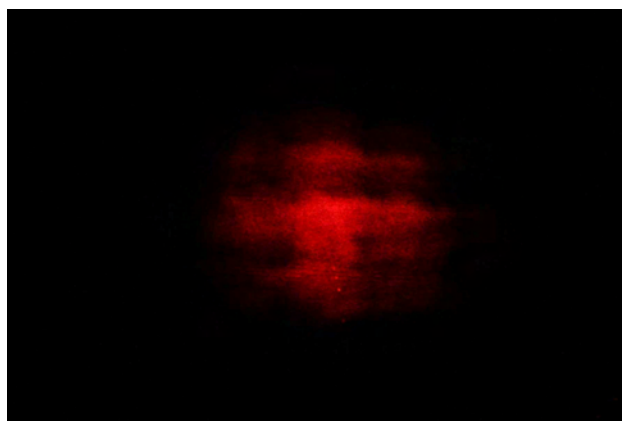


Abb. 11: Ordnungen: Nur 0. Ordnung

Die 0. Ordnung besteht aus dem Licht, dass ohne Ablenkung durch das Gitter getreten ist. Daher ist auch nur ein heller Fleck zu beobachten, ohne dass Informationen des Gitters übertragen wurden.

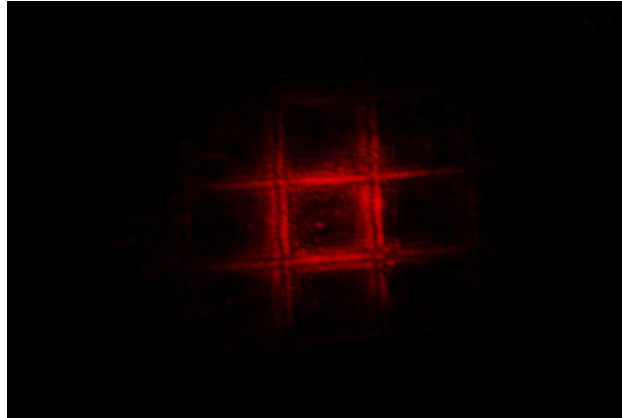


Abb. 12: Ordnungen: Nur 1. Ordnung

Die erste Ordnung enthält bereits Informationen über das Gitter, welches auch als Abbild zu erkennen ist. Jedoch ist es noch etwas unscharf, da die höheren Ordnungen weitere Bildinformationen mittragen. Da die 0. Ordnung ausgeblendet ist, fehlt auch ein Großteil der Intensität im Vergleich zu **Abb. 11**.

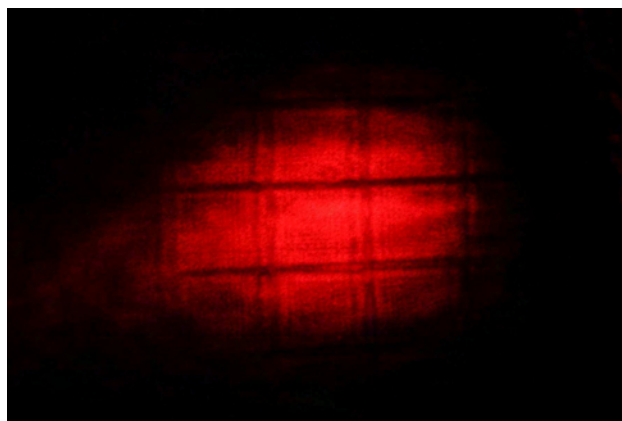


Abb. 13: Ordnungen: Alle Ordnungen

Werden alle Ordnungen durchgelassen, ergibt sich ein einigermaßen scharfes Bild des Gitters.

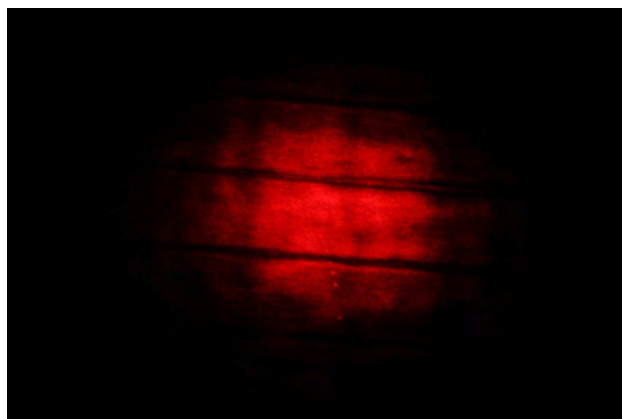


Abb. 14: Ordnungen: 1. Ordnung 1-dimensional

Bei diesem Bild wurden alle Ordnungen nur in einer Dimension durchgelassen. Dazu wurde ein Spalt positioniert, der alles bis auf die 0. Ordnung senkrecht zu diesem abblendet. Dies löscht die Information über die senkrechten Gitterstäbe und nur ein horizontales Spaltmuster ist zu erkennen.

4.2 Spaltgitter

Anschließend wurde das Kreuzgitter durch ein Spaltgitter ausgetauscht. Die Ordnungen wurden mit einer Ordnungsblende selektiert.

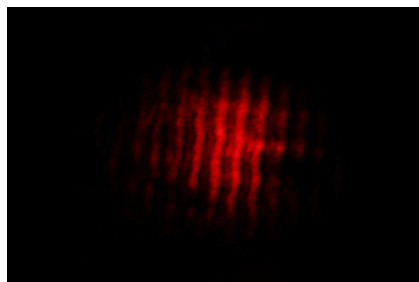


Abb. 15: Ordnungen: 1. Ordnung

Wir sehen ein Strichmuster mit regelmäßigen Abständen.

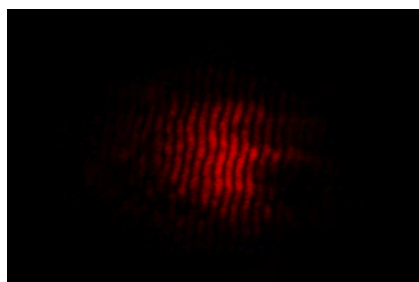


Abb. 16: Ordnungen: 2. Ordnung

Bei der 2. Ordnung sind die Abstände der Minima größer. Daher sehen wir ein Strichmuster mit genau der doppelten Anzahl an Strichen wie bei der 1. Ordnung.

5 Holographie

Der Laser wurde mithilfe einer Linse ($f = 30\text{mm}$) aufgeweitet und auf das Interferenzbild gerichtet. Von der dem Laser abgewandten Seite des Interferenzbildes konnte man dann das Hologramm beobachten. Durch bewegen des Kopfes war es möglich zuvor verdeckte Gegenstände im Bild zu betrachten. Wurden einzelne Teile des Interferenzmusters vom Laserlicht abgeschirmt war es dennoch möglich das gesamte Bild zu betrachten. Dies bestätigte eindrucksvoll die Voraussage, dass die Information des kompletten Bildes in jedem Bildpunkt gespeichert ist.



Abb. 17: Beobachtetes Hologramm