



Versuchsanleitung

Beugung

Nummer:	18
Kompiliert am:	26. Juni 2025
Letzte Änderung:	26.06.2025
Beschreibung:	Justieren eines optischen Aufbaus. Bestimmung der Wellenlänge eines Lasers durch Ausmessen des Beugungsmusters eines Gitters. Ausmessen der Fraunhofer'schen und Fresnel'schen Beugungsmuster eines Spaltes bzw. einer Blende. Bestimmung des Wellenlängenbereiches des sichtbaren Spektrums.
Webseite:	https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphs-la-phys/

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	2
2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung	2
2.1 Theorie	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag	3
3 Versuchsdurchführung	3
3.1 Fraunhofer'sche Beugung am Gitter	4
3.2 Fraunhofer'sche Beugung am Spalt	4
3.3 Beugung mit thermischer Lichtquelle	4
3.4 Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende	5
3.5 Häufige Fehler	6
4 Versuchszubehör	6
5 Hinweise zur Ausarbeitung	6
5.1 Versuchsspezifisch	6
5.2 Allgemein	7
Literatur	8

1 Einführung

James Clark Maxwell (1831-1879) gelang es, Licht als elektromagnetische Welle zu deuten. Ein Phänomen, das auf die Wellennatur des Lichts zurückgeht, ist die Beugung: Demnach kann ein Teil des Lichts in den geometrischen Schattenraum hinter einem Hindernis mit Abmessungen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge gelangen und dort Interferenzmuster hervorrufen. Mithilfe des Huygens'schen Prinzips kann die Beugung beschrieben werden und führt zum Fresnel-Kirchhoff'schen Beugungsintegral. Dieses ist kompliziert und verlangt nach Näherungen. Die erste ist die Fresnel'sche Näherung (Abb. 1 links), die kleine Neigungen der Strahlen gegen die optische Achse voraussetzt, aber endlichen Abstand des Schirms vom beugenden Objekt (*Nahfeld-Näherung*). Die zweite ist die Fraunhofer'sche Näherung (Abb. 1 rechts), die für eine homogene bzw. phasengleiche Beleuchtung über das gesamte Objekt und parallele Strahlen hinter dem Objekt gilt (*Fernfeld-Näherung*). Will man hier die Intensitätsverteilung in einem endlichen Abstand betrachten, so ist dies mit einer Sammellinse hinter dem beugenden Objekt möglich. Die Beugungsstrukturen lassen sich dann in der Brennebene der Linse beobachten.

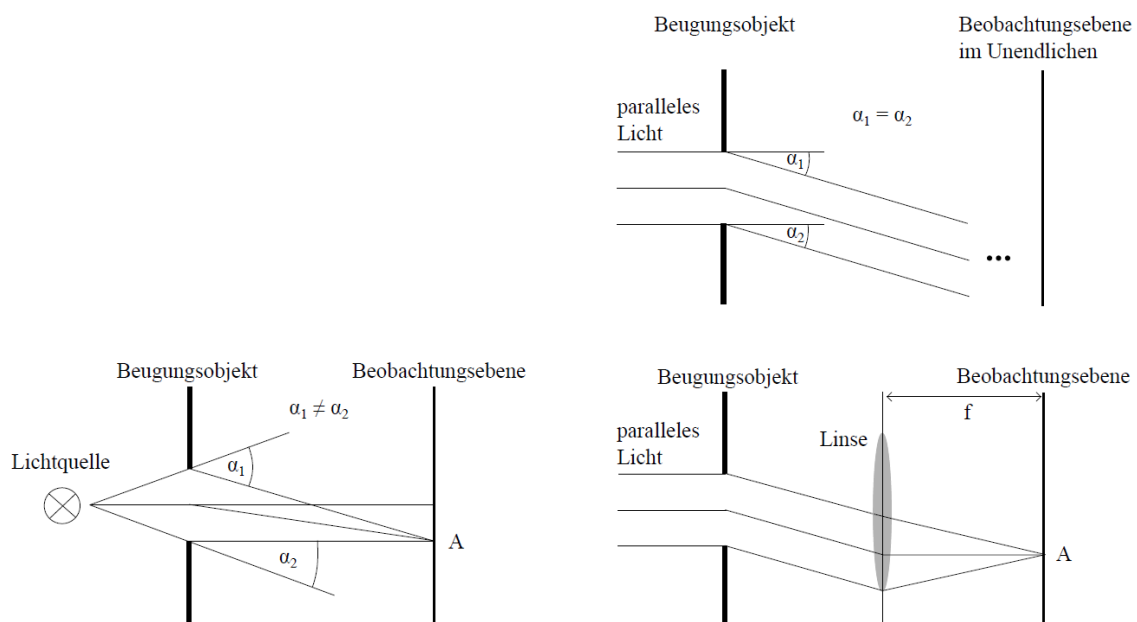


Abbildung 1: *Links*: Fresnel'sche Beugung. *Rechts*: Fraunhofer'sche Beugung. Die Beobachtungsebene lässt sich mit Hilfe einer Linse aus dem Unendlichen auf einen endlichen Abstand verlegen.

2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

2.1 Theorie

- Maxwell-Gleichungen (differentielle und integrale Form) und deren Interpretation [Dem13]
- Herleitung der Wellengleichung aus den Maxwell-Gleichungen (skizzieren)
- Lösung der Wellengleichung: Kugelwelle, ebene Welle (skizzieren)

- Kohärenzbedingungen (zeitl. und räuml.), Interferenz von Wellen
- Einführung in die Beugungstheorie [Dem13]
- Erklärung der Beugung mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips und des Fresnel-Kirchhoff'sches Beugungsintegrals [Dem13]
- Näherungslösungen: Fresnel- und Fraunhofer-Näherung (Taylor-Entwicklung skizzieren und Zusammenhang zwischen Fraunhofer-Beugung und Fourier-Trafo darstellen)
- Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende [Dem13]
- Fraunhofer'sche Beugung am Einzelspalt [Dem13]
- Fraunhofer'sche Beugung am Strichgitter, Vergleich ideales vs. reales Gitter [Dem13]
- Fourier-Transformation, Faltungssatz
- Babinet'sches Theorem [Dem13]
- Was sind die wichtigsten Auswertformeln?
- Weitere Literatur: [BS04, BS08, LLT97, Wal06, ZZ09]

2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Beugung von Materiewellen: De-Broglie-Wellenlänge
 - Allgemein festkörperphysikalische Analytik, z.B. für Elektronen: TEM (transmission electron microscopy), LEED (low-energy electron diffraction), RHEED (Reflection high-energy electron diffraction)
 - NEXAFS (Near-edge x-ray-absorption fine structure)
- Röntgen-Beugung (XRD)
- Schallwellen (Akustik im Konzertsaal)
- Atmosphärenphysik (Zero-order-glow, Glorie/ Heiligenschein/ Brockengespenst, Höfe/Aureolen/Kränze, siehe auch www.lightsearcher.de)

3 Versuchsdurchführung

ACHTUNG: Der verwendete Laser mit $P < 1 \text{ mW}$ ist für das Auge zwar nicht unmittelbar gefährlich (Laserschutzverordnung, Klasse 2). Ein Abschwächer (Graufilter) oder Schutzbrillen sind nicht nötig. Eine unnötige Exposition des Auges sollte man dennoch vermeiden. **Gehen Sie also mit den Augen nie unter die Ebene des Laserstrahls!**

Untenstehende Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau mit seinen Komponenten.

Hinweis: Richten Sie zuerst die optische Achse der optischen Bank mithilfe einer Lochblende aus. Beim Verschieben dieser Blende entlang der Achse soll der Strahl immer zentriert sein. Achten Sie zudem darauf, dass die optische Achse senkrecht zur Wand als Projektionsfläche ausgerichtet ist um spätere Messfehler zu minimieren.



Abbildung 2: Blick auf den Versuchsaufbau mit einigen Komponenten: Laser LA, Blende BL, Linse L1, Mattscheibe MS, optischer Bank OB und einstellbarer Spalt SA. Hinter der Linse liegt die Zeilenkamera.

3.1 Fraunhofer'sche Beugung am Gitter

Bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 3(a) auf. Messen Sie die Beugungsmaxima bis zur 7. Ordnung für drei verschiedene Gitter-Wand-Abstände. Bestimmen Sie daraus die Wellenlänge des Lasers.

3.2 Fraunhofer'sche Beugung am Spalt

Bestimmen Sie die Spaltbreite mit folgenden Methoden:

1. Messen Sie für drei verschiedene Spalt-Wand-Abstände (Aufbau nach Abbildung 3(b)) die Abstände der Beugungsminima zueinander bis zur 5. Ordnung.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 3(c) auf. Nehmen Sie das Intensitätsprofil mithilfe der beigefügten Software für die CCD-Kamera auf. Messen Sie für drei verschiedene Spalt-Kamera-Abstände. Für die Auswertung soll ein Fit für das Intensitätsprofil erstellt werden. Den Abstand Spalt-Kamera dokumentieren. Darauf achten, dass der Spalt möglichst vertikal genau orientiert ist.
3. Zum Vergleich mit den zwei bisherigen Methoden soll die Spaltbreite über eine vergrößernde optische Abbildung ermittelt werden. Bauen Sie dafür den Versuch nach Abbildung 3(d) auf. Messen Sie die Bildgröße, die Bildweite sowie die Gegenstandsweite.

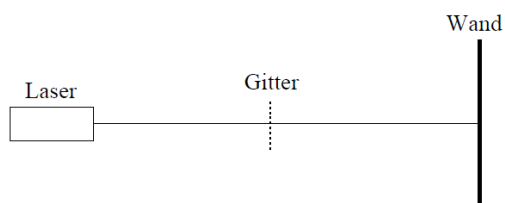
3.3 Beugung mit thermischer Lichtquelle

Zur Bestimmung des sichtbaren Spektrums bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 3(e) auf. Messen Sie die Abstände zwischen den Grenzen Ihres sichtbaren Bereichs (nur 1. Beugungsmaxima) bei festem Gitter-Wand-Abstand. Berechnen Sie daraus analog zu Aufgabe 3.1 die entsprechenden Wellenlängen λ_i .

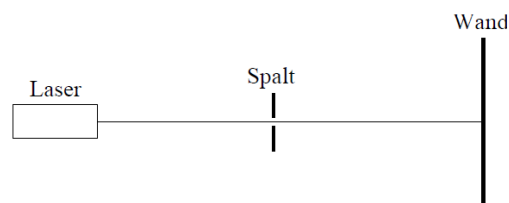
3.4 Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende

Bestimmen Sie den Blendendurchmesser durch Ausmessen der Fresnel'schen Zonen (Versuchsaufbau nach Abbildung 3(f)). Verwenden Sie hierfür die Linse mit Brennweite $f = 25 \text{ mm}$ um hinter dem Fokus eine Kugelwelle zu generieren. Benutzen Sie eine Lochblende und variieren Sie den Abstand Brennpunkt-Blende bzw. Blende-Wand. Beachten Sie, dass die optische Achse genau justiert sein muss! Die Ordnung der Beugung kann durch Abzählen der Beugungsminima beim Verschieben der Blende entlang der optischen Achse oder im Beugungsbild selbst bestimmt werden!

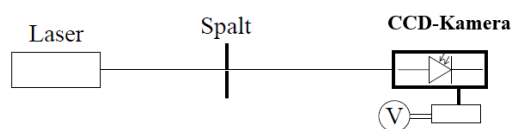
Optional: Zur Kontrolle können Sie die Funktion $\frac{r^2}{2\lambda} \frac{1}{L} \frac{1}{x(1-x)}$ plotten und auf ganze Zahlen prüfen (Radius der Blende r , Wellenlänge λ , Abstand Fokus-Schirm L und $x = a/L$ mit Abstand Fokus-Blende a ; [Mes10] pp. 548/549).



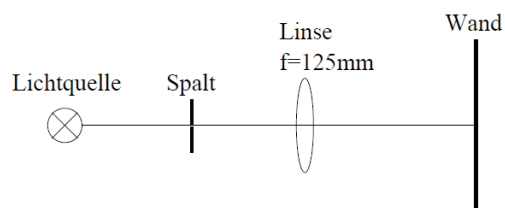
(a) Fraunhofer'sche Beugung am Gitter.



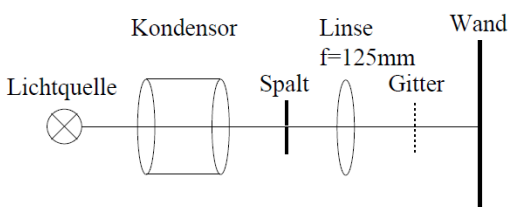
(b) Fraunhofer'sche Beugung am Spalt: Messung der Beugungsminima.



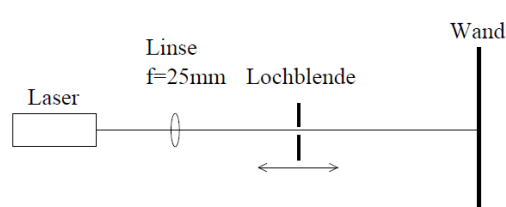
(c) Fraunhofer'sche Beugung am Spalt: Messung des Intensitätsprofils.



(d) Optische Abbildung des Spalts.



(e) Bestimmung des sichtbaren Spektrums.



(f) Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende.

Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die schematischen Aufbauten für die verschiedenen Versuchsteile.

3.5 Häufige Fehler

- schlechte Justage der optischen Achse
- in Versuch 3.4 Blende zu klein und/oder Abstand Fokus-Schirm zu groß.

4 Versuchszubehör

- 1 Optische Bänke mit Reitern
- 1 grüner Laser $\lambda = 532 \text{ nm}$ (Nd:YAG frequenzverdoppelt)
- 1 CCD-Zeilenkamera mit $3648 \times 8 \text{ } \mu\text{m} \approx 29.18 \text{ mm}$ aktiver Länge
- 1 Reuter-Lampe mit Transformator
- 3 Strichgitter $g = 8 \text{ mm}^{-1}$, 50 mm^{-1} , 80 mm^{-1}
- 1 Präzisionsspalt mit Irisblende, 1 Lochblende
- 1 Sammelkomponente mit unterschiedlich breiten Spalten und zugehörigen Stegen
- 1 Kondensor
- 1 Linse $f = 125 \text{ mm}$, 1 Linse $f = 25 \text{ mm}$
- 1 Stahlbandmaß 150 cm, 1 Stahlbandmaß 50 cm

5 Hinweise zur Ausarbeitung

5.1 Versuchsspezifisch

- Benutzen Sie zur Auswertung von 3.2-1, 3.2-2 und 3.4 die ermittelte Wellenlänge des Lasers aus Aufgabe 3.1. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Herstellerangabe.
- Auswerteformel aus Theorieteil ableiten
- Messwerte mit Fehlerangaben in tabellarischer Form (Außer: Versuchsteil 3.2-2)
- Versuch 3.1 für 3 versch. Gitter-Wand-Abstände:
 - JEWEILS graphisch $\sin(\alpha)$ gegen Ordnung n auftragen
 - Steigung aus linearer Regression (Ursprungsgerade!) $\rightarrow 3 \text{ mal } \lambda \rightarrow \text{Mittelung}$
- Versuch 3.2:
 - Visuell:* 3 versch. Spalt-Wand-Abstände (Minima verwenden)
 - Auswertung wie beim Gitter, aber mit Kleinwinkelnäherung $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha \approx \frac{a}{L}$
 - Photometrisch:* Intensitätsprofil mit Photodiode (Messwerte um zentrales Maximum streichen! Am besten Verschiebung des Zentrums als Fitparameter berücksichtigen.)
 - Diagramm Spannung gegen Abstand vom 0. Maximum ohne Messwerte um zentrales Maximum

- Regression eines sinc^2 (s. Kolloquium) und Bestimmung der Spaltbreite

Optische Abbildung: Vergrößerung des Spalts mit Linse gegen die Wand

- Aus Bildgröße, Gegenstands- und Bildweite die Spaltbreite bestimmen

Zusammenfassung und Vergleich der drei Messmethoden. Welche ist die beste und warum?

- Versuch 3.3:
 - Für Beugung des 1. Maximums (erstes Spektrum links und rechts vom Zentrum): Abstand zw. blauen und roten Grenzen auf beiden Seiten und durch 2 teilen → zugehörige Wellenlängen bestimmen
 - Wellenlängen (sichtbares Spektrum) mit Literaturwerten vergleichen (Originalquellen angeben, z.B. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*)
- Versuch 3.4:
 - $(\frac{1}{a} + \frac{1}{b})$ gegen Ordnung abtragen und lineare Regression (mit Achsenabschnitt! Steigung negativ → Betrag nehmen)
 - Aus Steigung Lochblendendurchmesser bestimmen

5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

Literatur

- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [BS08] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 1: *Mechanik - Akustik - Wärme*. 12. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2008
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [LLT97] LIPSON, Stephen G. ; LIPSON, Henry S. ; TANNHAUSER, David S.: *Optik*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1997
- [Mes10] MESCHÉDE, Dieter: *Gerthsen Physik*. 24. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2010
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006
- [ZZ09] ZINTH, Wolfgang ; ZINTH, Ursula: *Optik: Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*. 2. Auflage. München : Oldenbourg Verlag, 2009

Anhang - Bedienungsanleitung der Zeilenkamera

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0
Fax +49 (0) 551 604-107
E-mail info@phywe.de

Betriebsanleitung


 Das Gerät entspricht
den zutreffenden
EG-Rahmenrichtlinien



Abb. 1: CCD-Zeilenkamera 35612-99

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 SICHERHEITSHINWEISE
- 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN
- 3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE
- 4 SOFTWARE
- 5 BETRIEBSHINWEISE
- 6 TECHNISCHE DATEN
- 7 LIEFERUMFANG
- 8 GARANTIEHINWEIS
- 9 ENTSORGUNG
- 10 ERKLÄRUNG DER SYMBOLE

1 SICHERHEITSHINWEISE



Achtung!

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Achten Sie darauf, dass keine Flüssigkeiten in die Kamera gelangen.
- Das Gerät ist nur zum Betrieb in trockenen Räumen, die kein Explosionsrisiko aufweisen, vorgesehen.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn Beschädigungen am Gerät oder Kabel sichtbar sind.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehenen Zweck.

2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Mit diesem Gerät kann die vom CCD-Sensor empfangene Lichtintensität als Funktion der Position (in Pixel oder mm) oder der Zeit untersucht werden. Es ermöglicht die Untersuchung von Beugungs- oder Interferenzmustern.

3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

Der Sensor ist ein CCD-Sensor mit hoher Auflösung. Seine Größe beträgt 3648 Pixel.

Diese Größe ermöglicht eine feine räumliche Auflösung der Interferenzen oder Beugungsmuster.

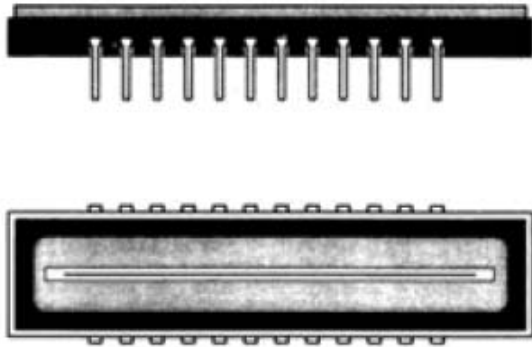


Abb. 2: Beispiel für einen Zeilensensor

Die Schrittweite des Sensors beträgt $8\mu\text{m}$. Wird die gesamte Länge des Sensors genutzt, kann eine hohe qualitative Auflösung erreicht werden.

Der Sensor ist ohne Linse zur Fokussierung ausgestattet, um eine Beobachtung des gesamten Musters ohne Verzerrung zu erhalten.

Neben der räumlichen Auflösung verfügt der Sensor über eine ausgezeichnete Tiefengenauigkeit: 16 Bit, d. h. 6536 Messstufen. Die Beobachtung der Hauptmaxima der Beugung und der Nebenmaxima (im Falle von Beugungs- oder Interferenzmuster) wird in nur einer Erfassung gemessen. Diese Präzision der Bittiefe ermöglicht die Messung von Schwankungen der Lichtintensität während eines Experimentes. Die Bildwiederholfrequenz dieser Kamera beträgt etwa 1 Hz, d. h. ein Bild pro Sekunde.

4 SOFTWARE

Die Kamera enthält bereits die benötigte Software, es ist kein Herunterladen oder Installieren erforderlich!

Verbinden Sie die Kamera über das USB-Kabel mit Ihrem Computer und starten Sie die Software.

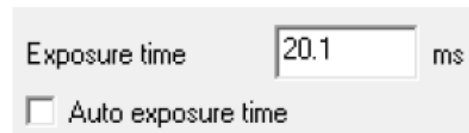
Wenn die Software sich nicht automatisch öffnet, kann sie mit einem Doppelklick im Explorer gestartet werden.

4.1 Die Software besteht aus zwei Hauptfunktionen:

4.1.1 Erfassung nach Position

Im ersten Modus erfasst der Benutzer die Amplitude des vom CCD-Sensor empfangenen Signals, in Abhängigkeit von der Position.

Die Belichtungszeit kann vom Benutzer oder automatisch von der Software festgelegt werden.



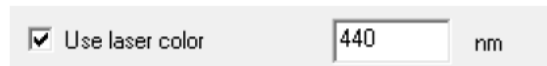
Achtung: Wenn die Belichtungszeit nicht proportional zur Blinkfrequenz des Lichts ist, erscheint das Signal instabil. Dies ist der Fall bei strombetriebenen Lichtquellen oder bei einer Lichtquelle, durch ein TTL-Signal.

Um dieses Problem zu beheben, wählen Sie eine Integrationszeit, die proportional zu der Verzögerung zwischen zwei Blinksignalen der Lichtquelle ist.

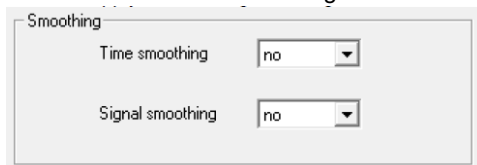
Um die Erfassung anzuhalten, klicken Sie auf "Run/Pause".



Um die Kurve anschaulich zu visualisieren, kann eine Farbe entsprechend der Wellenlänge eingefügt werden.



Um ein Rauschen des Signals zu reduzieren, kann eine Glättung des vorgenommen werden. Dabei unterscheidet man in die zeitliche und die räumliche Glättung.

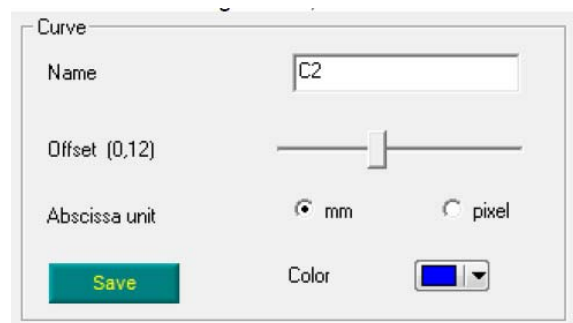


Zeitliche Glättung

Bei der zeitlichen Glättung wird der Durchschnitt mehrerer vom Gerät erfasster Kurven berechnet, um das elektronische Rauschen zu verringern. Die Glättung nimmt mit der Indexzahl zu.

Räumliche Glättung

Bei der räumlichen Glättung wird der Intensitätswert benachbarter Pixel berücksichtigt. Dieser Filter reduziert die Intensitätsspitze von einem Pixel zum anderen: Die Werte definieren die Anzahl der Pixel, die für die Berechnung der Glättung benötigt werden. Je höher die Filterung ist, desto stärker ist die Glättung. Sobald die Parameter der Glättung eingestellt sind, kann der Benutzer die Kurve speichern.



Wählen Sie dazu den Namen für die Kurve.

Nullpunktseinstellung: Je weiter der Cursor nach rechts bewegt wird, desto größer ist der Versatz. Diese Einstellung löscht die DC-Komponente des Signals.

Da wir die Pixelgröße des Sensors kennen und das Gerät nicht über einen Autofokusmodus verfügt, kann die Software Pixel in Millimeter umrechnen.

Die Größe in Millimetern ermöglicht die Bestimmung der Spaltbreite bei der Untersuchung des Beugungsmusters.

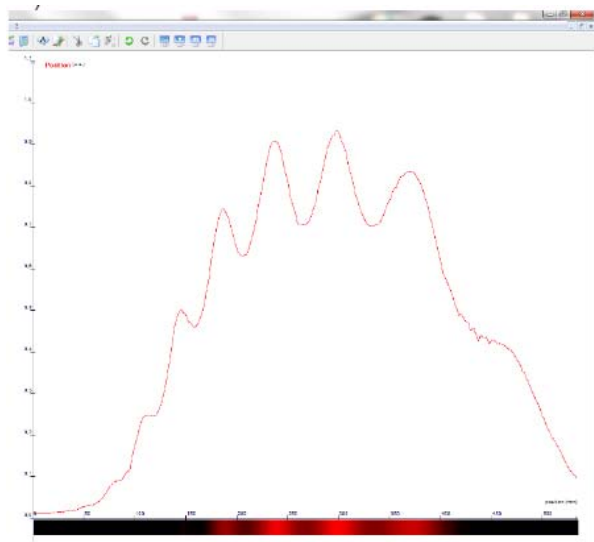
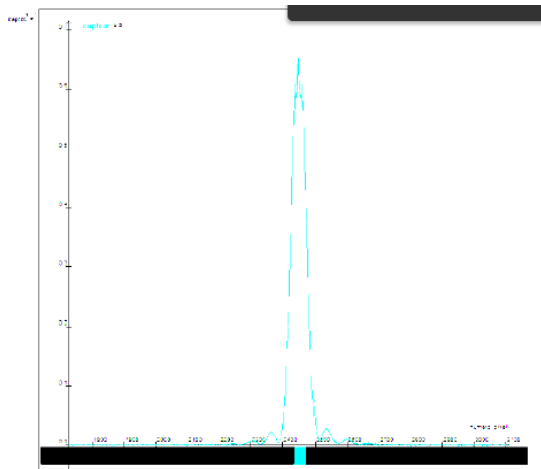
Klicken Sie auf "Speichern", um die Kurve im Diagramm zu speichern. Achtung! Sie müssen das gesamte Dokument speichern, um Ihre Aufzeichnungen aufzubewahren.

Ein Beispiel für Beugung ist unten dargestellt.

Unter dem Diagramm zeigt ein farbiger Bereich eine weitere Darstellung des Beugungsmusters.

Die Lichtintensität je nach Position auf dem CCD-Sensor wird in der gewählten Farbe angegeben.

Diese Farbe kann beispielsweise die Farbe der Laserwellenlänge sein.



Vor der Erfassung der Intensität in Abhängigkeit der Zeit für eine bestimmte Position/Pixel:

Es ist notwendig, die Pixel auf dem Sensor zu wählen, d. h. die Position, die von Interesse ist.

Luminance = $f(t)$

Select a position on abscissa to measure luminance = $f(t)$

14,7

So wählen Sie das Pixel des Sensors aus, an dem Sie arbeiten möchten:

- Geben Sie die Position in mm oder in Pixel an (je nach dem oben aktivierten Modus)
- Andernfalls, wenn die Position nicht bekannt ist, klicken Sie in dieses Feld, um einen Cursor im grafischen Bereich zu erhalten. Mit diesem Cursor können Sie die Position direkt auf der grafischen Fläche auswählen.

Wenn Sie eine Abschwächung wünschen, müssen Sie einen Punkt mit einer hohen Intensität wählen. Gehen Sie auf die Registerkarte "Luminanz = $f(t)$ " und beobachten Sie die zeitliche Entwicklung.

Zeiterfassung

Um eine Erfassung nach der Zeit durchzuführen, klicken Sie auf die Registerkarte "Linearsensor" und wählen Sie die zu untersuchende Position.

Die Registerkarte "Zeiterfassung" enthält verschiedene Parameter:

- Lücke zwischen zwei Erfassungen ist die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Messungen. Der Bereich für den Abstand ist [1 - 30 000s].
- Da die maximale Punktzahl 30000 beträgt, wird die maximale Laufzeit automatisch berechnet. Bei einer Erfassung alle 2s beträgt die maximale Punktzahl beispielsweise 60000.
- Die Verzögerung vor der Erfassung ermöglicht es, die letzten Anpassungen der Messung einzustellen.
- Wählen Sie den Namen für die Kurve und ihre Farbe.
- Aktivieren Sie den Modus der kontinuierlichen Erfassung.

Wenn dieser Modus aktiv ist, wird die Erfassung nicht unterbrochen, auch wenn die maximale Anzahl der Punkte erreicht ist:

- Durch Ziehen der ersten Erfassungen

Die ersten Daten der Erfassung werden gelöscht. Diese Daten sind nicht wiederherstellbar.

- Durch das Ziehen früherer Erfassungen (jede zweite Kurve)

Die Zeit zwischen 2 Erfassungen wird in jeder "Schleife" verdoppelt. Jedes zweite Sample wird gelöscht.

Um die Häufigkeit der Erfassung zwischen zwei Punkten zu erfahren (Delta T). In der Tabelle können Sie durch die Differenz durch zwei aufeinanderfolgende Zeiten Delta T berechnen.

3.2.3 Werkzeuge

Messen

Um den Abstand zwischen 2 Punkten zu messen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die grafische Fläche, um das Werkzeug „Zeiger“ zu wählen. Halten Sie die linke Maustaste gedrückt, und messen Sie den Abstand zwischen zwei Punkten.

Zoomen

Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den gewünschten Punkt/Fläche, um eine bessere Genauigkeit zu erhalten.

Modellieren

Wählen Sie in der Symbolleiste "Ansicht" und dann "Modellierung".

Zwei Arten der Modellierung sind verfügbar: automatische und grafische Modellierung.

Automatische Modellierung

Mit dieser Funktion können Sie die nächstgelegene Gleichung der Kurve finden. Sie können somit die charakteristischen Werte Ihres Experiments, wie z.B. das Spaltmaß zu ermitteln.

Falls es in Anbetracht der Parameter der zu modellierenden Kurve schwierig ist, der Kurve durch die automatische Modellierung nahe genug zu kommen, müssen in diesem Fall einige Werte im Bedienfeld eingestellt werden:

I0 = maximale Intensität der Kurve

X0= Abszisse der Intensität I0

Graphische Modellierung

Sie ermöglicht das gleiche Ergebnis wie die automatische Modellierung, erfordert aber die Interaktion des Benutzers.

Es müssen zwei Punkte so nah wie möglich an die Kurve gesetzt werden.

5 BETRIEBSHINWEISE



Das vorliegende Gerät erfüllt die technischen Anforderungen, die in den aktuellen Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft zusammengefasst sind. Die Produkteigenschaften berechtigen zur CE-Kennzeichnung.

6 TECHNISCHE DATEN

Typisch für 25°C

Betriebstemperaturbereich 5...40°C

Relative Luftfeuchtigkeit < 80%

Sensor:	3648 Pixel
Auflösung:	1 Pixel / 0,8 µm
Gehäuse:	Metall
Stioldurchmesser:	10 mm
Stiellänge:	100 mm
Maße:	83 x 128 x 63 mm
Gewicht:	600 g

7 LIEFERUMFANG

- CCD-Kamera
- Netzteil 12 V, 1,5 A
- Mess- und Analysesoftware

8 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

9 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll). Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die untenstehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Abteilung Kundendienst
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-274
Fax +49 (0) 551 604-246

10 ERKLÄRUNG DER SYMBOLE



Wichtige Informationen zum Gerät.
Betriebsanleitung beachten.



Achtung!

Möglicherweise schädliche Situation
(Sachschaden)
Allgemeine Gefahrenstelle
Betriebsanleitung beachten