



UNIVERSITÄT REGENSBURG

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

Anleitung zum Anfängerpraktikum **B**

Versuch „*lb*“: Lichtbeugung an Spalt und Gitter

5. Auflage 2019

Dr. Stephan Giglberger

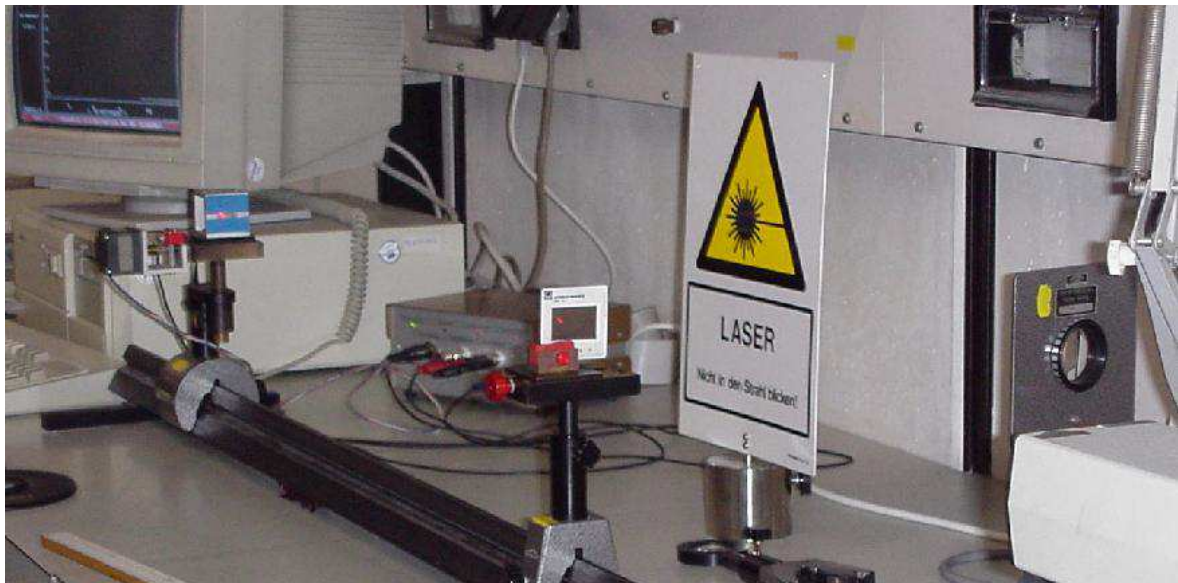
Prof. Dr. Joe Zweck

Marten Scheuck

Inhaltsverzeichnis

lb	Lichtbeugung an Spalt und Gitter	3
lb.1	Lernziele	3
lb.2	Vorbereitung	3
lb.2.1	Literatur	4
lb.3	Beugungstheorie für Einfach-, Doppel- und Mehrfachspalt	4
lb.3.1	Einfachspalt	4
lb.3.2	Doppelspalt	6
lb.3.3	<i>N</i> -fach Spalt und Gitter	6
lb.4	Fragen zum Versuch	7
lb.5	Durchführung	8
lb.5.1	Benötigte Geräte	9
lb.5.2	Versuchsaufbau	9
lb.5.3	Versuchsdurchführung und Auswertung	11

1b Lichtbeugung an Spalt und Gitter



1b.1 Lernziele

Dieser Versuch soll Sie mit der Theorie und Praxis der Beugung von monochromatischem Licht bekannt machen.

1b.2 Vorbereitung

Machen Sie sich mit den folgenden Themen ausführlich bekannt. Als Leitfaden dazu soll die Zusammenfassung der Theorie im Kapitel (*1b.3*) dienen.

- Einfache Strahlenoptik [3]
- Interferenz und Kohärenz [1a]
- Beugung von Licht [1b und 1c] oder [2]
- Fraunhofer- und Fresnel-Beugung [2]

lb.2.1 Literatur

1. Bergmann-Schaefer; Bd. III, 6. Aufl. [84UC 143 B499-3(6)]
 - a) Kap. III, 1. S. 295-304
 - b) Kap. III, 8. S. 350-359
 - c) Kap. III, 10. S. 369-276
 - d) Kap. III, 12. S. 399-407
2. Alonso-Finn II (1967), S. 901-913 [84UDC 167 A 545-2]
3. Jaworski-Detlaf; „Physik griffbereit“ (1972) [84UC 172 J 42]
4. F. A. Jenkins and H. E. White, „Fundamentals of Optics“ [84 UH 5000 J52(4)]
5. E. Hecht und A. Zajac, „Optics“, Addison-Wesley 1974 [84UH 5000 H474 06]
6. P.A. Tipler, "Physik", Spektrum-Verlag [nicht im Lesesaal vorh.]
7. H. Hänsel, W. Neumann: "Physik", Bd. 2, Kap. 9-11 [84UC 193 H 135-2]

lb.3 Beugungstheorie für Einfach-, Doppel- und Mehrfachspalt

Die gängigen Lehrbücher geben eine gute Einführung, daher werden hier nur die wichtigsten Beziehungen angegeben. Prinzipiell unterscheidet man zwischen Einzelspalt, Doppelspalt und Mehrfachspalt (Gitter).

lb.3.1 Einfachspalt

Eine ebene Lichtwelle wird an Hindernissen um Winkel ϕ_k ab gebeugt (Abb. lb.1). Minima bei

$$\sin(\phi_k, \min) = \frac{\lambda}{b} \cdot k$$

$$\text{Maxima bei } \sin(\phi_k, \max) = \frac{\lambda}{b} \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right) \text{ und } \phi_{0, \max} = 0$$

mit $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ der Beugungsordnung.

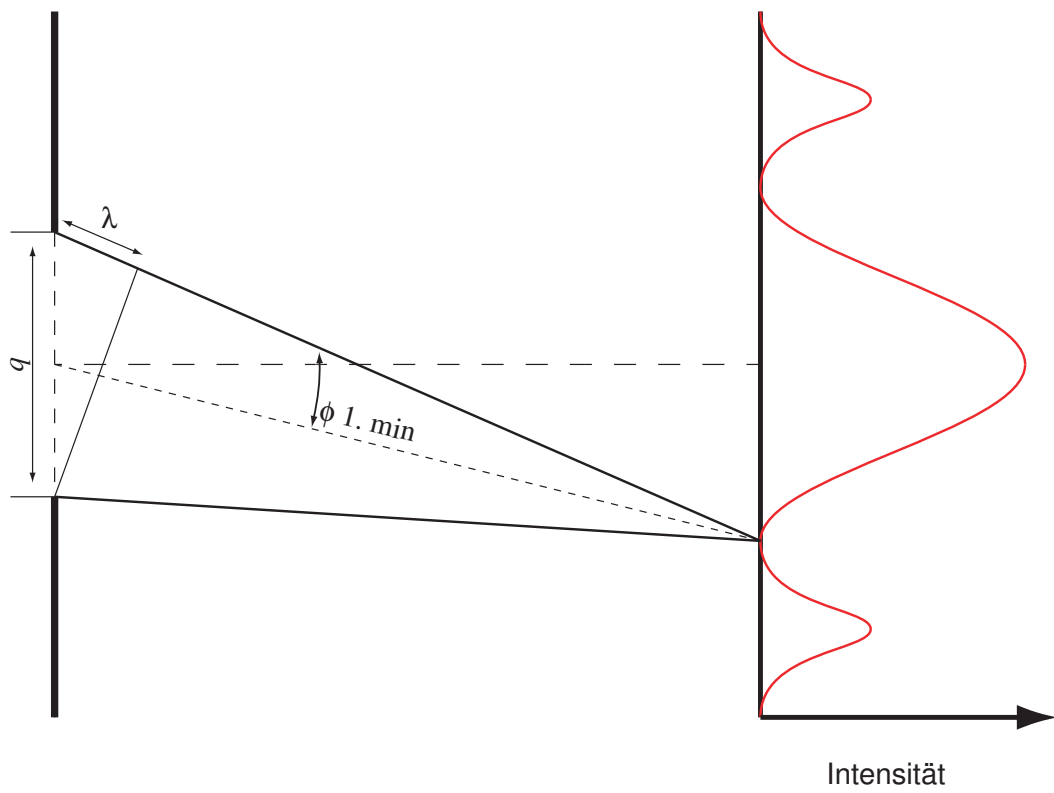


Abbildung lb.1: Beugung am Einzelspalt

lb.3.2 Doppelspalt

Beim Doppelspalt treten wie bei (lb.3.1) an jedem einzelnen Spalt jeweils Interferenzen auf (Interferenzen der Klasse I). Sie gehören also zur Spaltbreite b und erzeugen grosse Beugungswinkel.

Zusätzlich gibt es Interferenzen, die durch die Kombination der beiden Spalte erzeugt werden (Mi-

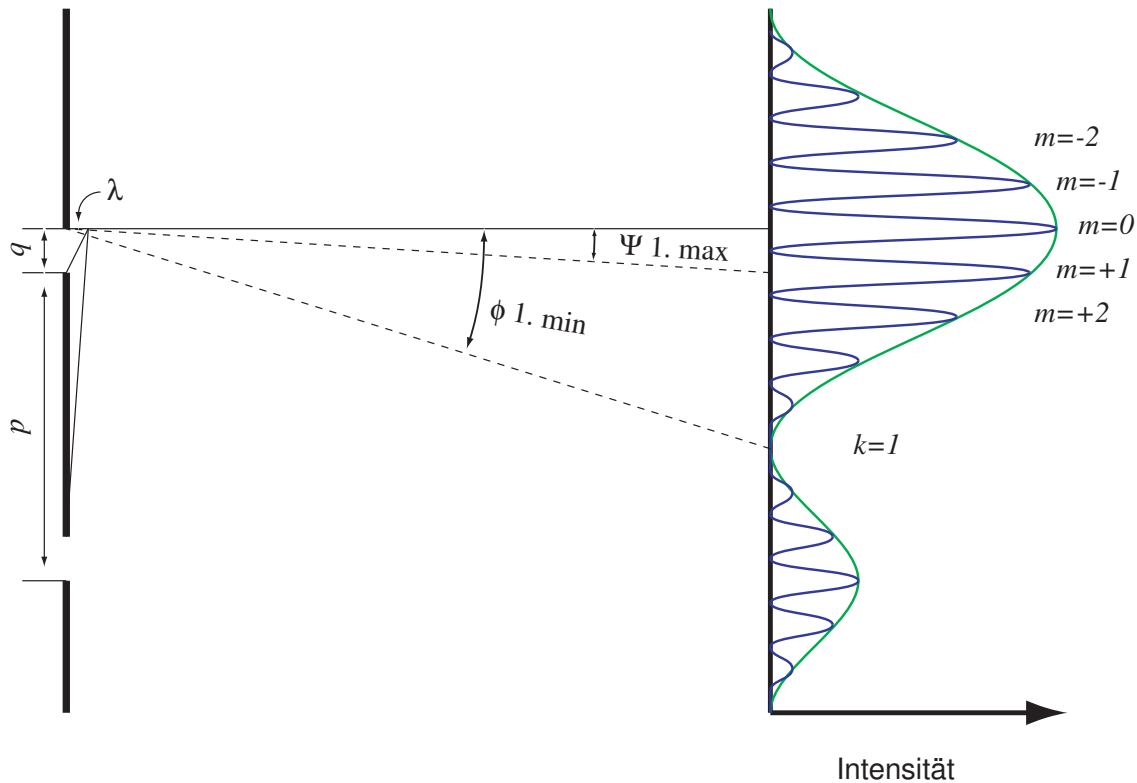


Abbildung lb.2: Beugung am Doppelspalt

nima II. Klasse). Sie gehören also zum Spaltabstand d und erzeugen kleine Winkel. Ihre Lagen sind:

$$\text{Minima II. Klasse: } \sin(\Psi_{m,\min}) = \frac{\lambda}{d} \left(m + \frac{1}{2} \right)$$

$$\text{Maxima II. Klasse: } \sin(\Psi_{m,\max}) = \frac{\lambda}{d} \cdot m$$

mit $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

lb.3.3 N-fach Spalt und Gitter

Eine Anordnung mit sehr vielen (N) Spalten in genau gleichen Abständen nennt man *optisches Beugungsgitter*. Die Hauptmaxima (Maxima II. Klasse) bleiben an den gleichen Stellen wie beim Doppelspalt, werden aber stärker und schmaler (siehe Abb. lb.3). Die Lagen der Minima 1. Klasse bleiben auch unverändert. Zwischen zwei Hauptmaxima liegen $N-2$ schwächere Nebenmaxima.

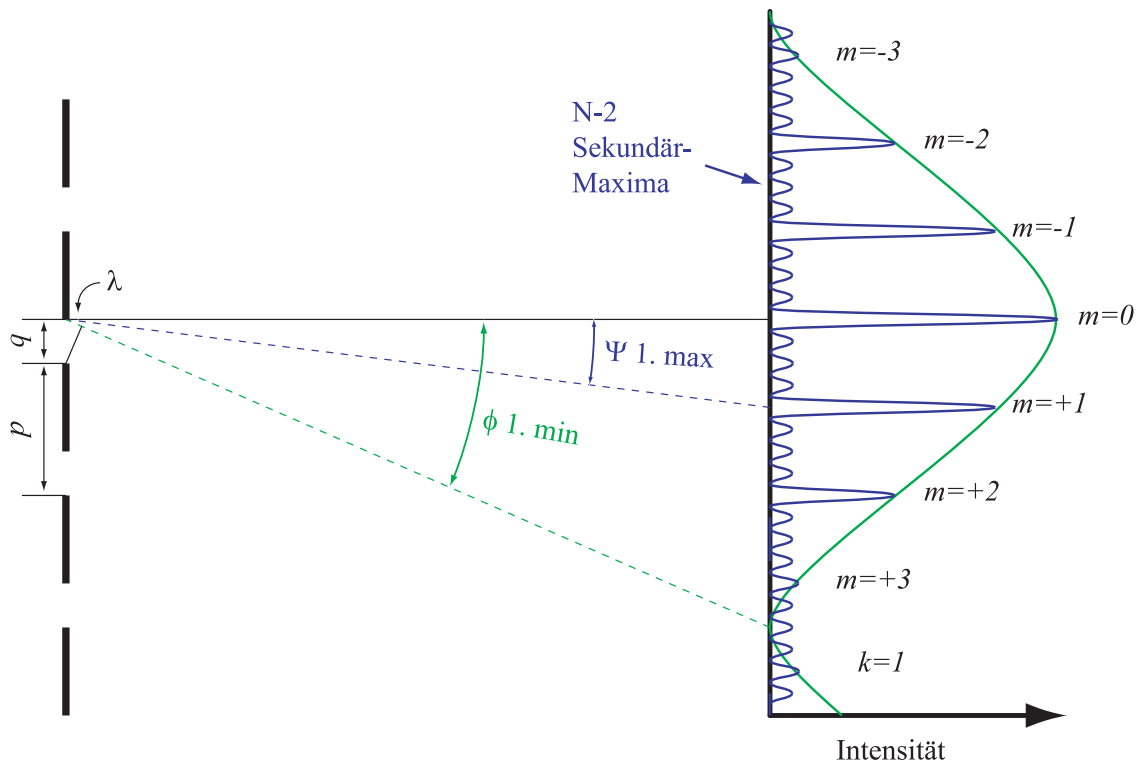


Abbildung Ib.3: Gitter - N-fach Spalt

Die Intensität des gebeugten Lichtes in Richtung ϕ ist

$$I(\phi) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin(\phi)\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin(\phi)} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin(\phi)\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\phi)\right)} \right)^2 \quad (Ib.1)$$

Ib.4 Fragen zum Versuch

1. Nehmen Sie an, die Beugung findet nicht in Luft ($n \approx 1$), sondern in Wasser statt ($n > 1$). Wie ändert sich das Beugungsbild?
2. Es werde zuerst das Beugungsbild eines Doppelspalts fotografisch aufgenommen; auf einem gleichartigen Film werden dann nacheinander die Beugungsfiguren beider Einzelspalte auf demselben Film aufgenommen. Insgesamt werden beide Filme gleich lange belichtet. Vergleichen Sie die Beugungsbilder miteinander. Erklären Sie Gleichheit oder Ungleichheit.
3. Nehmen Sie an, bei einem Doppelspalt werden die beiden Spalte jeweils von verschiedenen Lasern beleuchtet. Wie würde sich das Beugungsbild gegenüber dem üblichen Experiment ändern?
4. Nehmen Sie an, ein Laserstrahl wird durch Spiegel aufgespalten und die beiden Strahlen be-

- leuchten je einen Spalt. Besteht ein Unterschied zu dem vorher geschilderten Fall? Wenn ja, erklären Sie, weshalb.
5. Wie ändert sich das Beugungsbild eines Spalts, wenn dieser statt mit einem Laser mit Licht einer Hg-Dampflampe beleuchtet wird?
6. Was unterscheidet Fraunhofer- und Fresnel-Beugung?
7. Leiten Sie für den Einfachspalt die Formel $I(\phi) = I_0 \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}} \right)^2$ mit $\theta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot b \cdot \sin \phi$ und $I_0 = I(\phi = 0)$ für die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit vom Beugungswinkel ϕ ab. Berechnen Sie das Intensitätsverhältnis $I(\phi_{k,max})/I(\phi = 0)$ für die erste ($k = 1$) und die zweite ($k = 2$) Beugungsordnung.
8. Verifizieren Sie für den Doppelspalt den Ausdruck $I(\phi) = 4 \cdot I_0 \cdot \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}} \right)^2 \cdot \cos^2 \frac{\delta}{2}$ mit $\theta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot b \cdot \sin \phi$ und $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin \phi$ und I_0 aus Frage 7 (siehe z.B. [6], Seite 1127 ff). Begründen Sie anschaulich das Auftreten des Faktors 4 und berechnen Sie die Intensität des ersten Nebenmaximums $m = 1$ relativ zum nullten in Abhängigkeit von Spaltbreite b und Spaltabstand d . Für welches Verhältnis d/b fällt das fünfte Nebenmaximum mit dem ersten Haupt-Minimum zusammen?

1b.5 Durchführung

Der gesamte Versuch ist in Fraunhoferscher Beugung (Fernfeld) durchzuführen, da die theoretischen Verhältnisse einfacher liegen als bei Fresnelscher Beugung (Nahfeld).

ACHTUNG!

**Bei diesem Versuch werden Sie einem Laser benutzen.
Bitte beachten Sie, dass der sehr intensive Laserstrahl die
Netzhaut verletzen kann.
Blicken Sie niemals in den Strahl und seien Sie besonders mit
reflektiertem Licht sehr vorsichtig. Andere Personen im Raum
dürfen nicht gefährdet werden.**

lb.5.1 Benötigte Geräte

- optische Bank 2 m, diverses Stativmaterial
- He-Ne Laser ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$)
- Fotoelement
- Gleichspannungsnetzgerät
- Verschiebereiter mit angekoppeltem Schrittmotor
- X-Y-Schreiber (DIN A4)
- Computer
- Oberflächenspiegel, Glasplatte
- weißer Schirm
- Linse $f = +10 \text{ mm}$, 5 mm \varnothing
- Linse $f = +80 \text{ mm}$, 40 mm \varnothing
- Linse $f = +80 \text{ mm}$ oder $+100 \text{ mm}$, 40 mm \varnothing
- 2 Linsen $f = +100$ bzw. 200 mm , 40 mm \varnothing
- optische Strichgitter mit 100 bzw. 10 Linien/mm
- Spaltschablone mit Einfach- und Doppelspalt
- Verstellbarer Spalt, Irisblende, diverse Blenden

lb.5.2 Versuchsaufbau

Die Beugungsbilder von Spalt und Gitter werden mit zwei verschiedenen Messapparaturen aufgenommen, die unterschiedlichen Automatisierungsgrad haben. Jede Apparatur kann für die Aufnahme aller Beugungsdiagramme benutzt werden. In Abb. lb.4 ist der Versuchsaufbau für die Messungen

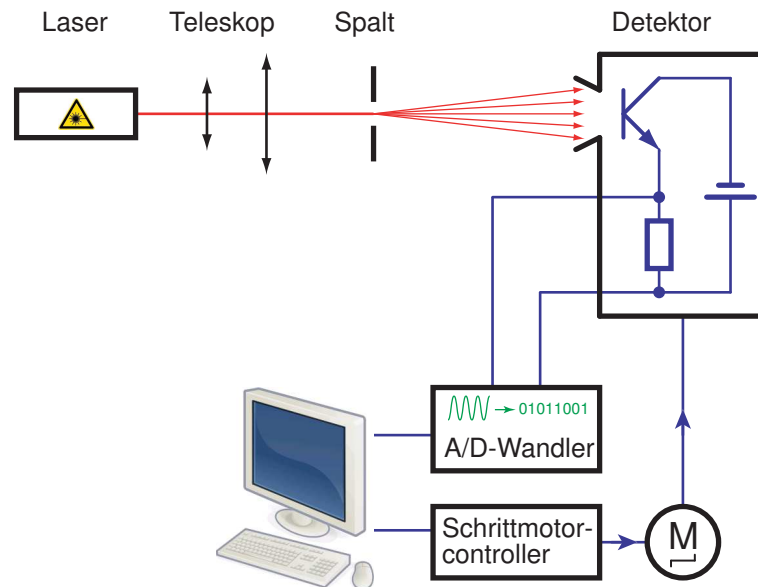


Abbildung lb.4: Versuchsaufbau zur Aufzeichnung des Beugungsbildes

am Spalt gezeigt. Die Vermessung der Beugungsfigur geschieht mit einem Fototransistor auf einem Linearverschieber, der mit einem Schrittmotor angetrieben wird. Das Fototransistorsignal wird auf einen Analog- Digitalwandler (ADC) in den Rechner geleitet, mit dem auch die Schrittmotorsteuerung und Datenverarbeitung (Darstellung der Signalhöhe über Detektorposition) geschieht. Fertige

Diagramme können an einem Drucker ausgegeben werden.

In (Abb. 1b.5) ist die schematische Anordnung der Signalaufnahme und -steuerung für die Beugung an einem Gitter gezeigt. Der Rechner steuert über Digitalausgänge (PITI-Karte) einen Schrittmotor,

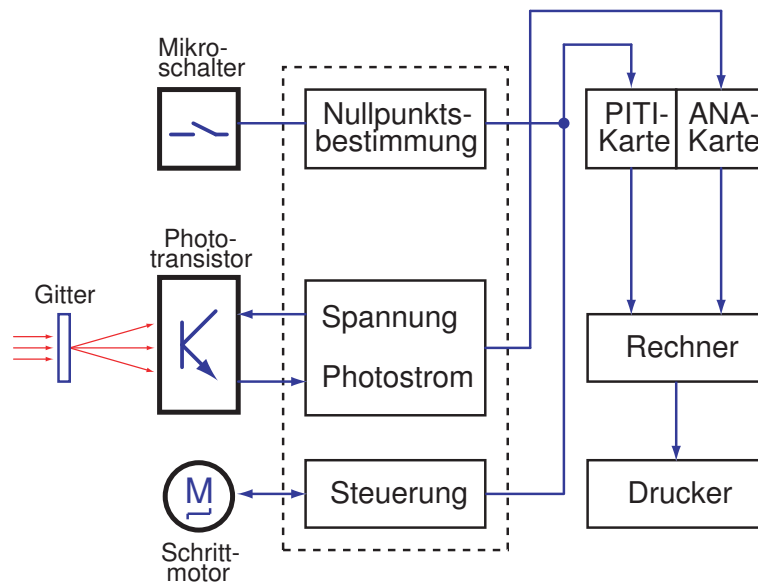


Abbildung 1b.5: Schematische Darstellung der Messwertaufnahme

der einen Lichtdetektor durch Drehen einer Spindel quer zur Strahlrichtung verschieben kann. Der Gesamtweg ist in 1175 Schritte oder Kanäle aufgeteilt, ein einzelner Kanal entspricht daher $25 \mu\text{m}$.

Nach jedem Schritt wird ein Spannungswert, der proportional zur einfallenden Lichtintensität ist, vom ADC (ANA-Karte) gemessen. Beim Durchfahren baut sich die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes auf dem Bildschirm auf und kann gedruckt werden. Dies ist ebenso für die numerischen Werte möglich.

Nach dem Einschalten des Rechners wird automatisch das Programm „versuch“ geladen. Es ist selbsterklärend. Die notwendigen Eingaben werden in der Fußzeile oder sonst deutlich sichtbar erklärt.

Nach dem Start können Sie wählen, ob Sie als Beugungsobjekt einen Einfachspalt, einen Doppelspalt oder ein Gitter verwenden. Beim erstmaligen Start sucht der Schrittmotor seinen Bezugspunkt. Dies geschieht durch das Anstoßen an einen Mikroschalter. Bitte drehen Sie danach nicht mehr manuell an der Spindel!

Folgende Menü-Punkte sollen Sie benutzen:

- Punkt 1 Justieren des Detektors (Ort): Fahren sie den Detektor in die Mitte des 15 mm breiten Beobachtungsfensters und richten Sie die Anordnung so ein, dass die Beugungsfigur symmetrisch zum Eingangsspalt ist.
- Punkt 2 Ständige Aufnahme (Verstärkung einstellen): Der Detektor fährt periodisch hin und her. Sie können nun mittels der „+“-Tasten die Verstärkung des ADC so wählen, dass das Bild formatfüllend wird.
- Punkt 3 Aufnehmen der Messkurve: Sie haben nun die passenden Parameter gefunden und können die Messkurve endgültig aufnehmen. Sie werden vorher noch nach einem zum Auswerten notwendigen Abstand zwischen Gitter und Detektor gefragt. Nachdem Sie die Messkurve registriert haben, ermöglicht Ihnen eine trickreiche Routine ein „Blättern“ in den Messwerten. Damit finden Sie den zu einer Kanalnummer gehörigen Spannungswert. Dazu können Sie aber auch den Punkt 7 benutzen.
- Punkt 7 Hardcopy des Graphen und der numerischen Werte: der Graph und die numerischen Werte werden ausgedruckt. Nun können Sie Minima, Maxima und zugehörige Intensitäten suchen.

1b.5.3 Versuchsdurchführung und Auswertung

1. Beugungsbild des Einfachspalts

- Nehmen Sie die Intensitätskurve der Beugungsfigur eines Einfachspalts auf.
- Berechnen Sie aus Ihren Messdaten die Spaltbreite. Finden Sie eine andere optische Messmethode zur Bestimmung der Spaltbreite und vergleichen Sie beide Ergebnisse miteinander.
- Werten Sie auch die Intensitätsverhältnisse aus und vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Beugungstheorie.

2. Beugungsbild des Doppelspalts

- Wiederholen Sie die obige Messung für einen Doppelspalt. Was fällt am Beugungsbild, was an der Intensitätskurve des Beugungsbildes auf?
- Erklären Sie die Intensitätskurven mit der Beugungstheorie.
- ^(w) Kontrollieren Sie das Verhältnis der Intensitäten von 0. und 1. Maximum 2. Klasse. Vergleichen Sie mit der Theorie. Überlegen Sie alle Fehlermöglichkeiten, um Abweichungen von Experiment und Theorie zu erklären.

3. Beugungsbild eines optischen Gitters

- a) Nehmen Sie die Intensitätskurve der Beugungsfigur eines optischen Gitters auf.
- b) Vergleichen Sie die Kurve für den N-fachen Spalt mit der Kurve des Doppelspalts.
- c) ^(w) Berechnen Sie aus den Messdaten den mittleren Spaltabstand (Gitterkonstante).
- d) ^(w) Versuchen Sie, den Einfluss des Einzelspalts auf das Beugungsbild zu sehen.