



Universität Regensburg

UNIVERSITÄT REGENSBURG

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

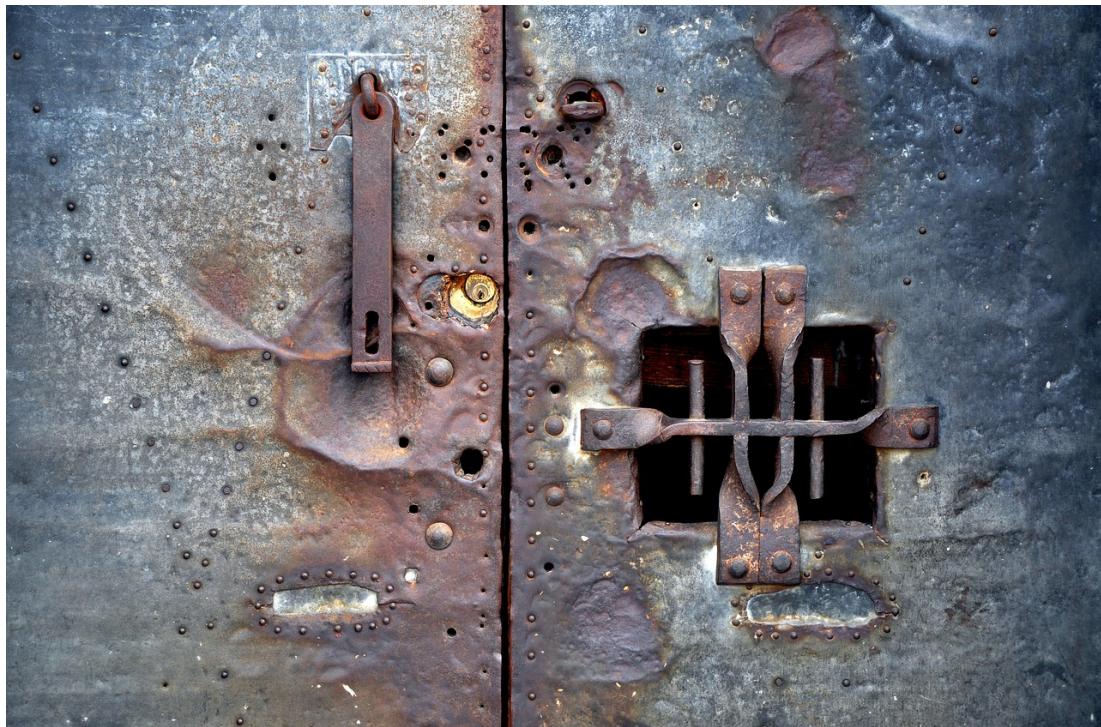
Physikalisches Praktikum für Lehramt Chemie an
Gymnasien

Versuch *ok* - Oszilloskop

Auflage 10/25

Kapitel 1

Lichtbeugung an Spalt und Gitter



1.1 Lernziele

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

1.2 Vorbereitung

Machen Sie sich mit den folgenden Themen ausführlich bekannt. Als Leitfaden dazu soll die Zusammenfassung der Theorie im Kapitel (1.3) dienen.

- Einfache Strahlenoptik
- Interferenz und Kohärenz
- Beugung von Licht
- (Fraunhofer- und Fresnel-Beugung)

1.2.1 Literatur

1. Online
 - (a) <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/interferenz-2207>
 - (b) <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/koharenz-physik-5172>
 - (c) <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/huygensches-prinzip-2021>
 - (d) <https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/grundwissen/vielfachspalt-und-gitter>
 - (e) <https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen>
2. 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
3. Alonso-Finn II (1967), S. 901-913 [84UDC 167 A 545-2]
4. Jaworski-Detlaf; „Physik griffbereit“ (1972) [84UC 172 J 42]
5. F. A. Jenkins and H. E. White, „Fundamentals of Optics“ [84 UH 5000 J52(4)]
6. E. Hecht und A. Zajac, „Optics“, Addison-Wesley 1974 [84UH 5000 H474 06]
7. P.A. Tipler, "Physik", Spektrum-Verlag
8. H. Hänsel, W. Neumann: "Physik", Bd. 2, Kap. 9-11 [84UC 193 H 135-2]

1.3 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).

1.3.1 Einfachspalt

Eine ebene Lichtwelle wird an Hindernissen um Winkel ϕ_k ab gebeugt (Abb. 1.1). Minima

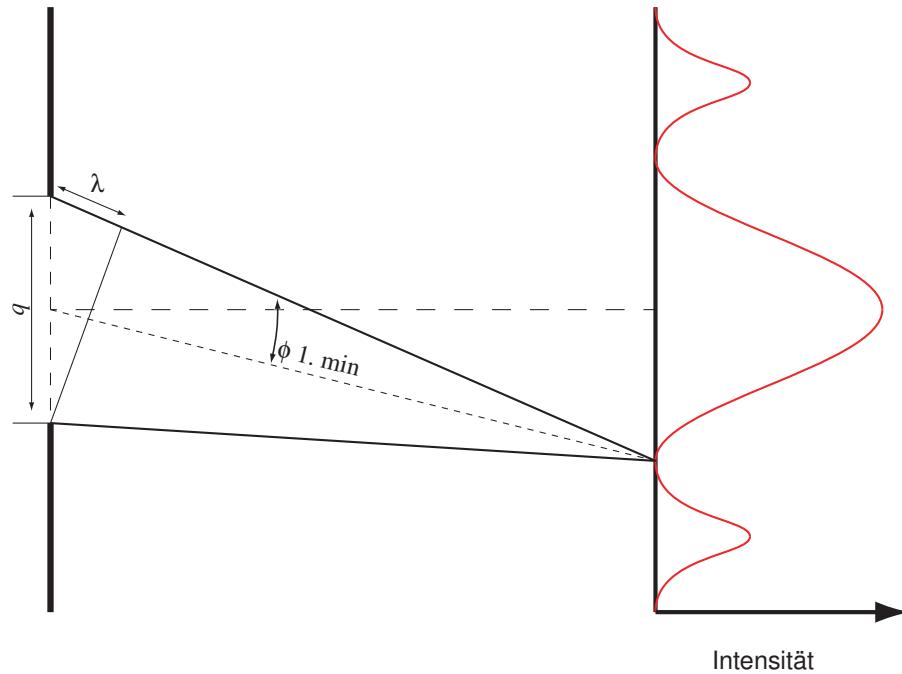


Abbildung 1.1: Beugung am Einzelspalt

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

Maxima bei $\sin(\phi_k, \max) = \frac{\lambda}{b} \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right)$ und $\phi_{0,\max} = 0$
mit $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ der Beugungsordnung.

1.3.2 Doppelspalt

Beim Doppelspalt treten wie bei (1.3.1) 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

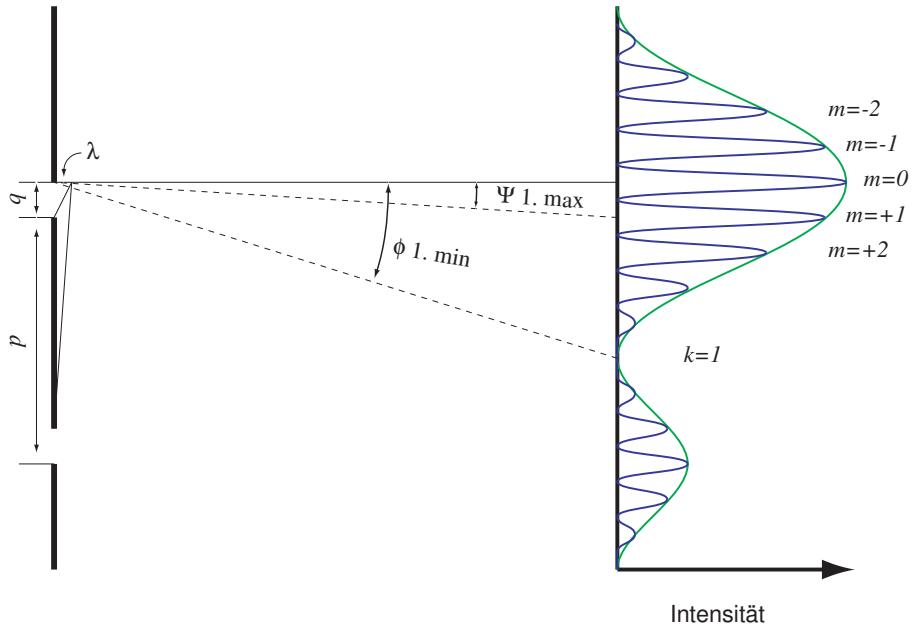


Abbildung 1.2: Beugung am Doppelspalt

werden (Minima 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 $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

1.3.3 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 schmäler (siehe Abb. 1.3). Die Lagen der Minima 1. Klasse bleiben auch unverändert. Zwischen zwei Hauptmaxima liegen $N-2$ schwächere Nebenmaxima.

Die Intensität des gebeugten Lichtes in Richtung ϕ ist

$$I(\phi) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin(\phi)\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin(\phi)} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin(\phi)\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\phi)\right)} \right)^2 \quad (1.1)$$

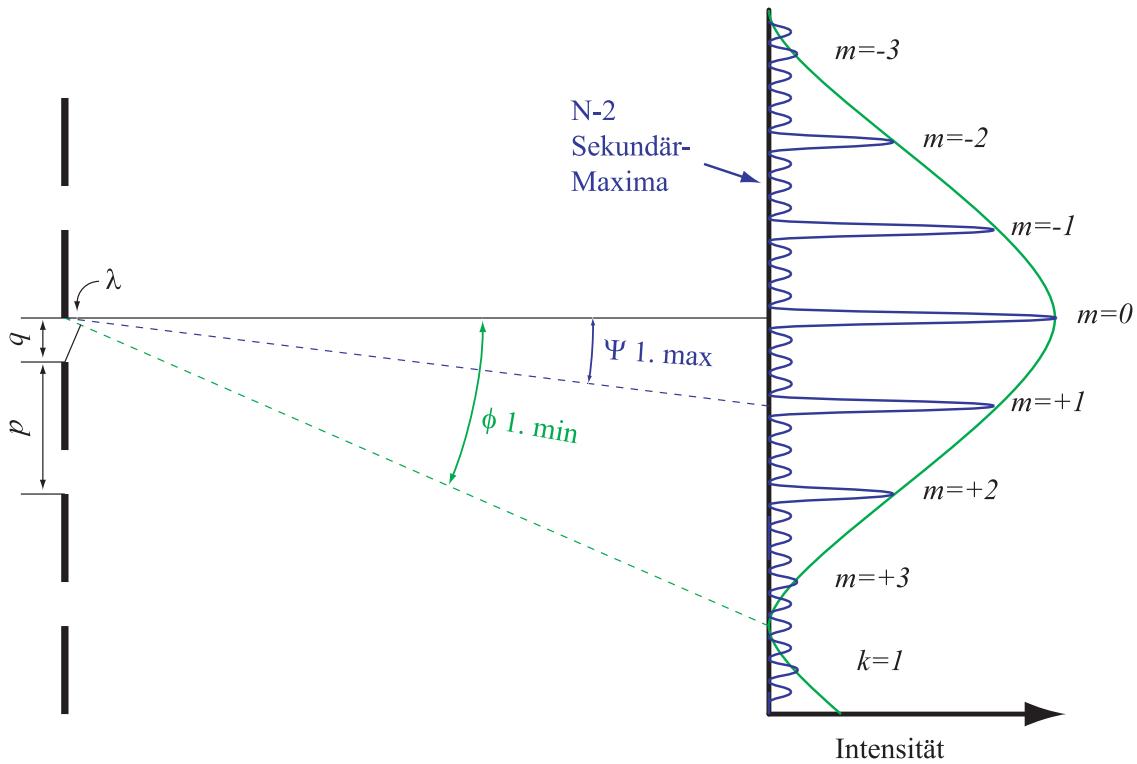


Abbildung 1.3: Gitter - N -fach Spalt

1.4 Fragen zum Versuch

1. Nehmen Sie an, die Beugung findet nicht in Luft (Brechungsindex $n \approx 1$), sondern in Wasser statt ($n > 1$). Entsprechend ändert sich die Wellenlänge gemäß

$$\lambda_{Wasser} = \frac{\lambda_{Vakuum}}{n_{Wasser}}$$

Wie ändert sich das Beugungsbild?

2. Es werde zuerst das Beugungsbild eines Doppelspalts fotografisch aufgenommen; auf einem gleichartigen Film werden dann nacheinander die Beugungsfiguren bei der 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 einzeln von je einem Laser beleuchtet. Was ist zu erwarten, wenn
 - (a) beide Laser unterschiedliche Wellenlängen haben?
 - (b) beide Laser identisch sind?

4. Nehmen Sie an, ein Laserstrahl wird durch Spiegel aufgespalten und die beiden Strahlen beleuchten 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?

1.5 Durchführung

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.**

1.5.1 Benötigte Geräte

- optische Bank 2 m, diverses Stativmaterial
- Halbleiterlaser ($\lambda = 635 \text{ nm}$)
- Fotoelement
- Gleichspannungsnetzgerät
- optische Strichgitter mit 100 bzw. 10 Linien/mm
- Computer

1.5.2 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. 1.4 ist der Versuchsaufbau für die Messungen 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. 1.5) ist die schematische Anordnung der Signalaufnahme und -steuerung für

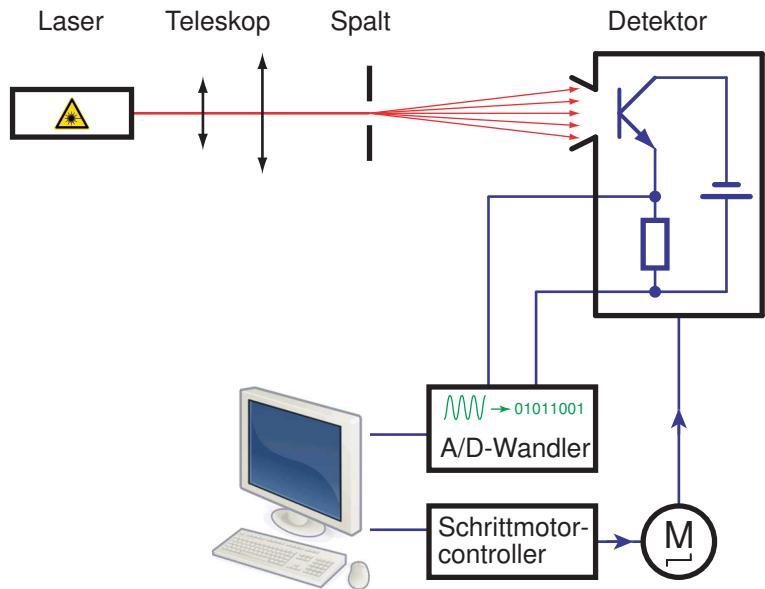


Abbildung 1.4: Versuchsaufbau zur Aufzeichnung des Beugungsbildes

die Beugung an einem Gitter gezeigt. Der Rechner steuert über Digitalausgänge (PITI-

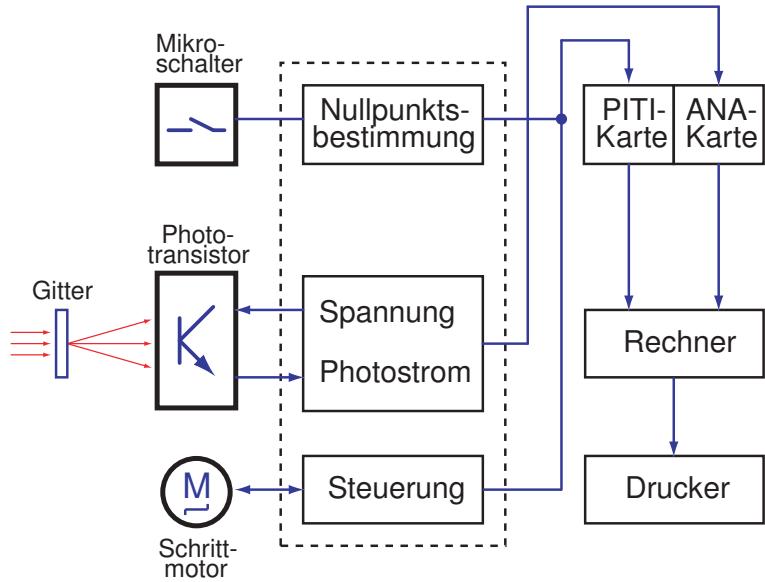


Abbildung 1.5: Schematische Darstellung der Messwertaufnahme

Karte) einen Schrittmotor, 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

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 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.

1.5.3 Versuchsdurchführung und Auswertung

1. Beugungsbild des Einfachspalts

- (a) Nehmen Sie die Intensitätskurve der Beugungsfigur eines Einfachspalts auf.
- (b) Berechnen Sie aus Ihren Messdaten die Spaltbreite. Finden Sie eine andere optische Messmethode zur Bestimmung der Spaltbreite und vergleichen Sie beide Ergebnisse miteinander.

2. Beugungsbild des Doppelspalts

- (a) Wiederholen Sie die obige Messung für einen Doppelspalt. Was fällt am Beugungsbild, was an der Intensitätskurve des Beugungsbildes auf?

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).