



Bei diesem Versuch geht es zunächst darum, die Funktionsweise und die Handhabung sowie auflösungsbergrenzende Effekte eines Lichtmikroskops kennenzulernen und zu verstehen. In einem zweiten Versuchsteil wird dann als weiteres optisches Instrument ein Gitterspektrometer vorgestellt. Dabei geht es neben der Funktionsweise und der Handhabung um das spektrale Auflösungsvermögen im Gegensatz zum geometrischen Auflösungsvermögen beim Mikroskop.

Anhand der Angaben im Aufgabenblatt sollten die Aufgaben sorgfältig geplant und im voraus dazu Rechnungen angestellt werden. Auch die gestellten Fragen sollten schon bei der Vorbereitung diskutiert werden.

**Sicherheitshinweis:** Das Vorschaltgerät für die Spektrallampe darf nur mit einem Trenntrafo betrieben werden!

### **Aufgaben:**

**1.1 Ermitteln Sie experimentell das Auflösungsvermögen des Auges:** Finden Sie die Entfernung, aus der Sie ein Schwarzweiß-Balkenmuster als solches erkennen können. Bestimmen Sie aus den geometrischen Daten den für Ihre Augen erforderlichen Mindest-Sehwinkel und die entsprechende Mindestseparation in 25 cm Entfernung (*deutliche Sehweite*  $s$ ) für aufzulösende Details.

**1.2 Schätzen Sie das Auflösungsvermögen des Auges theoretisch ab:** Betrachten Sie die Iris als Beugungsblende (z.B. 3mm  $\varnothing$  bei Helligkeit) und rechnen Sie für die Lichtwellenlänge, für die das Auge am empfindlichsten ist (etwa 550 nm), den Winkel zwischen Hauptmaximum und erstem Minimum aus. Vergleichen Sie die Ergebnisse und äußern Sie sich zu den Eigenschaften, die Sie der Netzhaut unterstellt haben.

**2. Bestimmen Sie experimentell die Vergrößerung  $V$  einer Lupe,** indem Sie eine Skala (oder zwei Skalen) sowohl ohne die Lupe aus etwa der deutlichen Sehweite als auch mit entspanntem Auge gleichzeitig durch die Lupe beobachten. Ermitteln Sie im einfachen Handexperiment die ungefähre Brennweite der Lupe und daraus nochmals die Vergrößerung ( $V = 250 \text{ mm} / f$ ).

**3. Bestimmen Sie die Gesamtvergrößerung eines Mikroskops für die drei vorhandenen Objektive (4:1, 10:1, 40:1) mit dem 10 $\times$ -Okular,** indem Sie mit einem Auge durch das Mikroskop eine feine geeichte Skala (200 Skt / 10 mm oder 200 Skt / 2 mm) und mit dem anderen Auge direkt eine Millimeterskala (Lineal oder Millimeterpapier o.ä.) in 25 cm Entfernung beobachten. Vergleichen Sie die Ergebnisse jeweils mit dem Produkt  $V_{\text{Obj}} \times V_{\text{Ok}}$  der angegebenen Werte.

**4. Bestimmen Sie die tatsächlichen Vergrößerungen  $V_{\text{Obj}}$  der drei Objektive** jeweils mit Hilfe beider geeichter Skalen (200 Skt / 10 mm und 200 Skt / 2 mm) als Objekte und der geeichten Meßskala im Okular (Okularmikrometer 100 Skt / 10 mm). Die Scharfeinstellung der Meßskala erfolgt mit der Augenlinse des Okulars, dann die Scharfeinstellung des Objektes mit der Höheneinstellung des Objektisches.

**5. Messen Sie die Spaltbreiten und Spaltabstände der 'Blende mit Mehrfachspalten' nach** (nur Reihe mit schmälere Spalten). Messen Sie den Durchmesser eines möglichst dünnen Haares.

**6. Bestimmen Sie näherungsweise die numerischen Aperturen  $A$  der Objektive 10:1 und 40:1** ( $A = n \cdot \sin \beta$ ;  $\beta$  ist der halbe Öffnungswinkel;  $n$  ist der Brechungsindex des Stoffes zwischen Präparat und Objektiv; die Objektive sind nur als Trockenobjektive geeignet), indem Sie bei entferntem Okular geeignet in den Tubus leuchten und den Lichtkegel untersuchen, der aus dem Objektiv austritt. (Objektisch in tiefster Position; Millimeterpapier einmal direkt auf dem Objektisch, dann auf einer Zwischenlage von z.B. 3mm. *Bemerkung:* Es gibt bessere Apertometer!) Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Angaben auf den Objektiven.

*Fragen:* Welche kleinsten Details können mit den Objektiven bestenfalls aufgelöst werden? ( $y_{\min} = \lambda / 2A$ )  
Was versteht man unter der 'förderlichen Vergrößerung'? Wird mit einer der vorhandenen Objektiv-Okular-Kombinationen die förderliche Vergrößerung überschritten?

Machen Sie sich Gedanken über die unterschiedliche (aber ergebnisgleiche) Betrachtungsweise der Auflösungsbegrenzung durch Beugung

a) bei selbstleuchtenden Objekten nach Helmholtz (Beugung an der Objektivfassung, wobei das Zentrum der Beugungsfigur zu einem Objektpunkt mindestens bis zum ersten Minimum der Beugungsfigur eines Nachbarpunktes verschoben sein muß, damit die Punkte unterscheidbar sind) und

b) bei durchleuchteten Objekten nach Abbe (Beugung an den Objektstrukturen, wobei mindestens das Licht der ersten Beugungsordnung das Objektiv passieren muß, damit im Bild Struktur erkennbar wird).

**7. Betrachten Sie eine Auswahl von Präparaten aus der Unterrichtsserie 'Das Leben im Wassertropfen' mit dem Mikroskop** und beobachten und beschreiben Sie dabei die Wirkung der Helligkeit der Lampe, der Blende im Kondensator (Aperturblende), der Höheneinstellung des Kondensators (Ort, in den der Kondensator das Licht von der Streuscheibe der Beleuchtungseinrichtung fokussiert; die Normalstellung des Kondensators ist 'möglichst hoch') und evtl. in den Filterhalter des Kondensators eingelegter Filter.

**8. Justieren Sie ein Gitterspektrometer** (Na-Spektrallampe; feststehendes Spaltrohr mit eingangsseitig dem breiten- und höhenjustierbaren und longitudinal verschieblichen Spalt und ausgangsseitig einer Kollimatorlinse; zentral der Prismen- bzw. Gittertisch mit dem Gitter im Gitterhalter; schwenkbar um das Zentrum das Fernrohr mit eingangsseitig der Objektivlinse und ausgangsseitig dem Okular mit Fadenkreuz; Teilkreis zur Ablesung der Fernrohrstellung mit Nonius und Ableselupe).

a) Stellen Sie durch Verschieben des Okulars im Okulartubus das Fadenkreuz scharf ein.

b) Stellen Sie das Fernrohr auf Unendlich ein. Beobachten Sie dazu einen möglichst weit entfernten Gegenstand und stellen Sie ihn durch Verschieben des Okulartubus scharf ein.

c) Bringen Sie die Achse des Fernrohres in die Achse des Spaltrohres so, daß das Spaltbild mit dem Fadenkreuz zusammenfällt.

d) Bilden Sie den Spalt durch Verschieben des Spalteinsatzes im Spaltrohr scharf ab und richten Sie ihn gleichzeitig senkrecht aus.

e) Stellen Sie den Gitterhalter mit dem Gitter ( $N \cong 1500$  Striche, 15 mm Breite, 10 mm Höhe, Spaltbreite/Gitterkonst. = 0,4) auf den arretierten Gittertisch (Gitterhalter-Kreisblende und damit die Gitteroberfläche zur Fernrohrseite) und richten Sie die Gitterebene senkrecht zur Spaltrohrachse aus. Dazu werden Reflexbilder des Spaltes (woher?) mit dem Hauptbild zur Deckung gebracht. Gitter im Gitterhalter belassen und Oberflächen nicht berühren, nicht putzen!

f) Justieren Sie den dreh- und arretierbaren Teilkreis auf  $0^\circ$ .

**9. Bestimmen Sie die Gitterkonstante des Gitters möglichst genau.** Dabei wird die mittlere Wellenlänge der gelben Na-Doppellinie als bekannt angenommen:  $\lambda_{\text{mittel}} = 589,3$  nm. Verwenden Sie Meßergebnisse möglichst vieler Ordnungen  $m$  und der Winkel nach beiden Seiten.

*Fragen:* Werden aufgrund der Spaltfunktion Ordnungen unsichtbar? Kann das angegebene Verhältnis von Spaltbreite zu Gitterperiode stimmen? Wie groß ist das Auflösungsvermögen ( $\lambda/\Delta\lambda = m \cdot N$ ) des ausgeleuchteten Gitters?

**10. Bestimmen Sie möglichst genau den Wellenlängenabstand der gelben Na-Linien** (Grobwert:  $\frac{1}{2}$  nm). In welcher Ordnung erreichen Sie das genaueste Ergebnis? Worin besteht dabei der günstigste Kompromiss?

**Zubehör:**

diverse Schwarz-Weiß-Balken- und Schachbrettmuster

Haftmagnete zur Befestigung der Muster an der Wand

Asymmetrische Bikonvexlinse ohne Fassung als Lupe (34mm Ø)

2 Lineale

Lichtmikroskop mit drei Objektiven (4:1 / 0,15; 10:1 / 0,3; 40:1 / 0,65) im Objektivrevolver und 10×-Okular mit Okularmikrometer (100Skt auf 10mm) sowie eingebauter Lichtquelle und Kondensator (verstellbar, mit Irisblende und mit Filterhalter; auf dem Objektisch ein Objekttisch ein Objektführer für beide Richtungen mit mm-Skalen mit Nonius

Objektmikrometer (200Skt/2mm)

Objektskala (200Skt/10mm)

Mikropräparatesatz

Leere Objektträger und Deckgläser

Taschenlampe

Millimeterpapier

3mm-Platte

Spektr-/Goniometer mit Spaltrohr und Fernrohr sowie Teilkreis mit Nonius und Ableselupe

Na-Spektrallampe mit Lichtschutzzyylinder und Vorschaltdrossel

Trenntrafo, der zwischen 220V~ -Netz und Vorschaltdrossel verwendet werden muß

Gitter (etwa 1500 Striche längs 15mm, Strichhöhe 10mm, angegebenes Verhältnis Spaltbreite/Gitterperiode  $\cong 0,4$ ) im Gitterhalter

**Literatur:**

Optik-Kapitel fast aller gängigen Physik-Lehrbücher

Gerlach, D.: Das Lichtmikroskop, TB, Thieme-Verlag (Enthält Grundlagen und viel Praxis sowie viele spezielle mikroskopische Methoden)

---

Version: Februar 10