



## Aufgabenstellung

1. Das Beleuchtungssystem (He-Ne-Laser mit  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ), Sammellinse 1 mit  $f = 5 \text{ mm}$ , Sammellinse 2 mit  $f = 50 \text{ mm}$ ) wird durch Verschieben der Sammellinse 2 so eingestellt, dass ein aufgeweitetes Parallelstrahlenbündel (Durchmesser  $10 \dots 15 \text{ mm}$ ) über die gesamte Länge der optischen Bank auf einer Höhe zur Verfügung steht. Die Sammellinse 1 darf aus sicherheitstechnischen Gründen nicht verändert werden!
2. Im Folgenden erstellen Sie das Mikroskop:
  - a) Realisieren Sie zunächst die erste Abbildungsstufe. Positionieren Sie das Objekt (Testobjekt „Baum“) auf die Position  $z_{\text{obj}} = 400 \text{ mm}$  und den Schirm auf  $z_{\text{s},1} = 700 \text{ mm}$ . Verschieben Sie das Objektiv ( $f_{\text{obj}} = 50 \text{ mm}$ ), sodass ein fokussiertes Bild auf dem Schirm entsteht. Als Fokussierhilfe sollte ein Diffuser in den Strahlengang eingebracht werden.
  - b) Realisieren Sie nun die zweistufige Abbildung. Bringen Sie dazu den Schirm auf die Position  $z_{\text{s},2} = 1900 \text{ mm}$  und fokussieren das Abbild der Objektebene mithilfe der Projektivlinse ( $f_{\text{proj}} = 100 \text{ mm}$ ). Bestimmen Sie die Kästchenbreite der Teststruktur in der Bildebene.
  - c) Verschieben Sie die Projektivlinse, sodass Sie das Beugungsbild erhalten. Bestimmen Sie den Abstand zwischen Nullstrahl und dem Interferenzmaximum erster Ordnung in diagonalen Richtung. Dieser entspricht der reziproken Länge der Diagonalen eines Kästchens.
3. Kalibrieren Sie nun die Bildebene sowohl für die Abbildung des Objekts als auch für das Beugungsbild. Verschieben Sie zunächst die Projektivlinse auf die ursprüngliche Position (2b). Ersetzen Sie dann das Objekt durch den vorliegenden Kalibrierungsmaßstab ( $0,1 \text{ mm}$  Teilung,  $1\%$  systematische Unsicherheit) und verschieben diesen, bis der Maßstab im Fokus ist. Für die Kalibrierung des Beugungsbildes nutzen Sie das Beugungsbild des Maßstabs (s. Aufg. 2c). Der Abstand von nullter zu erster Ordnung entspricht dem Reziproken der kleinsten Skalenteilung (d.h.  $10/\text{mm}$ ). Bestimmen Sie nun die Kästchenbreite in der Objektebene anhand beider Messungen und ermitteln Sie hierfür jeweils die statistischen und systematischen Messunsicherheiten.
4. Bestimmen Sie aus den Positionen von Objekt, Linsen und Schirm die jeweiligen Abbildungsmaßstäbe für die Abbildung und Beugung. Ermitteln Sie damit jeweils die Kästchenbreite und vergleichen diese mit den direkt kalibrierten Werten. Eine Behandlung der Messunsicherheiten entfällt.
5. Bestimmen Sie den Aperturwinkel  $\alpha$  des Objektivs aus dem Durchmesser der Objektivlinse und der Gegenstandsweite. Vergleichen Sie diesen Winkel mit dem Winkel der höchsten Beugungsordnung  $\varphi_k$ .
6. Stellen Sie das Projektiv wieder an die Position, bei der der Gegenstand scharf auf dem Schirm abgebildet wird (s. Aufg. 2b). Bringen Sie die Schlitzblende des Fourier-Periskops in die bildseitige Brennebene der Objektivlinse (Abb. 2). Nun haben Sie die Möglichkeit die Schlitzblende zu verschieben, zu drehen und die Öffnung zu verstellen. Wie verändert sich das Bild des Schachbrettmusters, wenn die Blendenöffnung verringert wird? Wie verändert sich

das Bild, wenn Sie die Blende seitlich verschieben und der Nullstrahl nicht mehr zur Abbildung beiträgt? Skizzieren Sie für drei verschiedene Situationen die Lage der Blende in der hinteren Brennebene und die Auswirkungen auf das Bild. Erklären Sie Ihre Beobachtungen!

## Hinweise zur Aufgabenstellung

**Achtung! Nicht direkt in den Laserstrahl schauen. Beim Experimentieren keine reflektierenden Gegenstände (z.B. Schmuck) an den Händen tragen!**

**Bitte befestigen Sie am Schirm ein Blatt Papier, um Markierungen vorzunehmen und Abstände im Nachhinein mit dem Lineal zu messen. Notieren Sie sich Positionen aller Komponenten auf der optischen Bank und halten Sie anhand geeigneter Skizzen fest, was Sie beobachten und was Sie genau messen.**

- Zu 1. Überlegen Sie sich eine genaue Vorgehensweise, die zum Ziel hat einen Strahl zu erhalten, der sowohl in sich als auch bezüglich der optischen Bank parallel verläuft. Bevor Sie Linsen in den Strahlengang einbauen, sollten diese bezüglich ihrer Höhe ausgerichtet werden.
- Zu 2. Beachten Sie, dass die Kriterien für den Fokus in der ersten und zweiten Abbildungsstufe unterschiedlich sind. Während im ersten Fall Beugungssäume aufgrund der geringen Vergrößerung nicht sichtbar sind, sind diese für den zweiten Fall ein sehr nützliches Hilfsmittel.
- Zu 3. Überlegen Sie sich, wie Sie am günstigsten das Ortsraumbild und das Beugungsbild kalibrieren. Beachten Sie, dass sich Abstände im Beugungsbild reziprok zu Abständen im Ortsraum verhalten.
- Zu 4. Zum Abbildungsmaßstab für das Beugungsbild sollten die folgenden Überlegungen angestellt werden: Für die am Gitter gebeugten Strahlen, die konstruktiv interferieren, gilt für den Beugungswinkel erster Ordnung ( $k = 1$ ):

$$\tan \varphi_1 = \frac{s_{obj}}{f_{obj}} \quad \text{und} \quad \sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{d}$$

wobei  $s_{obj}$  den Abstand des Reflexes erster Ordnung vom Nullstrahl in der Brennebene der Objektivlinse bezeichnet. Für kleine Beugungswinkel  $\varphi_1$  ergibt sich folglich der Gitterabstand im Objekt zu

$$d = \lambda \cdot \frac{f_{obj}}{s_{obj}} \quad \text{mit} \quad s_{obj} = \frac{s_{proj}}{\beta'_{proj}}$$

Verwenden Sie den nominellen Wert für  $f_{obj}$ .

- Zu 5. Für das Beugungsmaximum  $k$ -ter Ordnung gilt:

$$\sin \varphi_k = k \cdot \frac{\lambda}{d}$$

- Zu 6. Die Aperturblende liegt dann exakt in der „Beugungsebene“ des Objektivs, wenn die Blende scharf abgebildet wird. Zentrieren Sie die Blende exakt zum Nullstrahl, so dass beim Zuziehen der Blende die Beugungsreflexe symmetrisch zum Nullstrahl ausgeblendet werden.

**Beim Experimentieren muss z.T. vollständig abgedunkelt werden!**

Testobjekt "Baum":

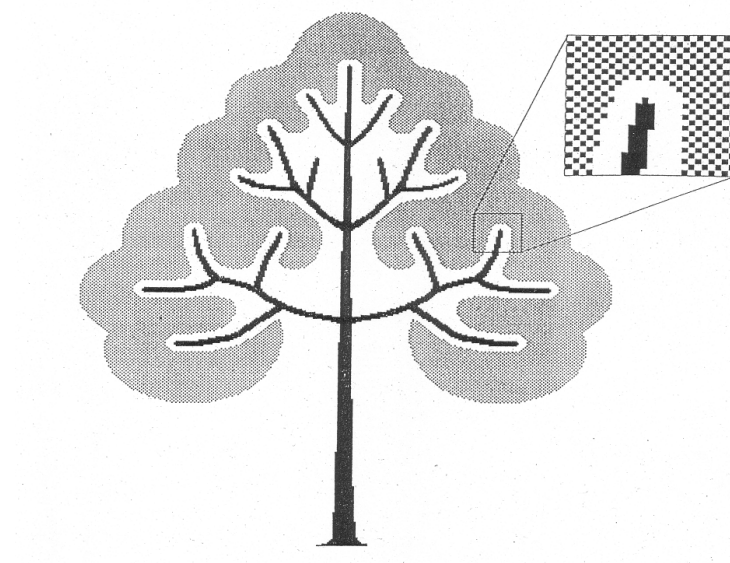


Abb. 1: Test-Objekt mit periodischen und nicht-periodischen Strukturen

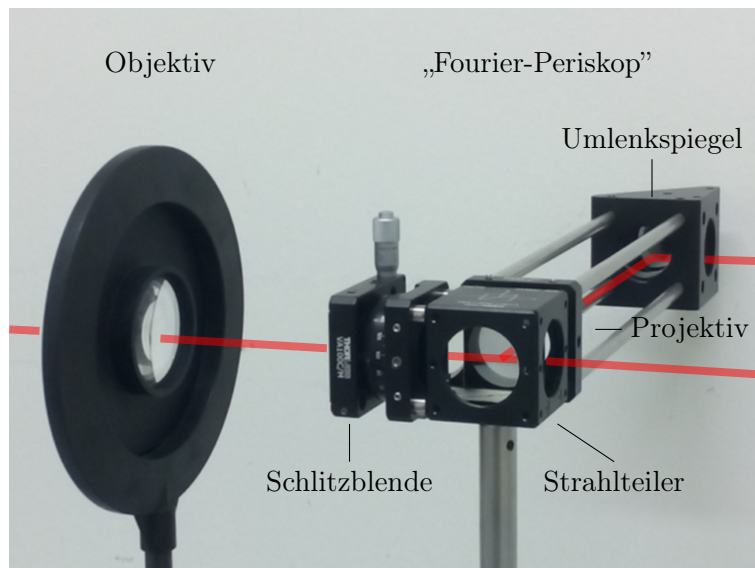


Abb. 2: Fourier-Periskop bestehend aus Strahlteiler, Schlitzblende, Projektivlinse und Spiegel ermöglicht die parallele Betrachtung von Bildebene und hinterer Brennebene. Dazu wird die verstellbare Schlitzblende in die hintere Brennebene der Objektivlinse positioniert.