

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 1
Gruppe 1 - Optik

1.8 Auflösungsvermögen des Mikroskops

1 Grundlagen

Während das Auflösungsvermögen eines Fernrohrs durch die Beugung am Objektiv begrenzt ist, spielt beim Mikroskop die Beugung am Objekt eine wesentliche Rolle. Liegt ein Strichgitter, das mit einem Spaltrohr parallel und kohärent beleuchtet wird, als Objekt unter dem Mikroskop, so werden die einzelnen Beugungsordnungen in der bildseitigen Brennebene des Objektivs (= „Beugungsbildebene“) sichtbar. Nach *Abbe* entsteht das mit dem Okular betrachtete Zwischenbild des Objektes durch Interferenz der verschiedenen, als Sekundärlichtquellen aufzufassenden Beugungsordnungen. Diese strahlen, da sie Bilder derselben Lichtquelle sind, kohärent, also mit festen Phasendifferenzen. Nach der *Abbeschen Theorie* sind zur Entstehung eines Bildes mindestens die nullte und die erste Beugungsordnung als Sekundärlichtquellen notwendig.

Zur Herleitung des Auflösungsvermögens nach Abbe wird ein monochromatisch beleuchtetes Gitter mit der Gitterkonstanten s benutzt. Nach der Theorie des Gitters gilt für den Winkel φ unter dem die Beugungsmaxima erster Ordnung erscheinen

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{n \cdot s}, \quad (1)$$

wobei λ die Vakuumwellenlänge des verwendeten Lichtes ist. n ist der Brechungsindex des Mediums zwischen Objekt und Objektiv. Damit diese Beugungsmaxima nicht ausgeblendet werden, muss der Öffnungswinkel des Objektivs α größer sein als φ . Hieraus folgt für den kleinsten, noch auflösbaren Strichabstand

$$s = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \alpha}. \quad (2)$$

Das Auflösungsvermögen des Mikroskopes U ist definiert als der Kehrwert von s . Mit Hilfe der *numerischen Apertur* $A = n \cdot \sin \alpha$ lässt sich U schreiben als

$$U = \frac{A}{\lambda}. \quad (3)$$

An modernen Mikroskopobjektiven ist die numerische Apertur stets angegeben.

In diesem Versuch soll diese Theorie anhand eines Modell- und eines Standardmikroskops geprüft werden.

2 Aufbau und Durchführung

2.1 Abbesche Abbildungstheorie

Bauen Sie das Modellmikroskop gemäß Abbildung 1 auf (im realen Aufbau ist die Lampe rechts und das Okular links). Stellen Sie den Kollimator so ein, dass das zu untersuchende Objekt mit parallelem Licht beleuchtet wird. Informieren Sie sich aus der Literatur über die Abstände in einem „typischen“ Mikroskop. Überprüfen Sie anschließend den Aufbau mit dem bereitgestellten Mikrofiche.

Aufgaben:

1. Befestigen Sie den Aufbau leicht an der optischen Bank, und ersetzen Sie ihr Testobjekt durch die Abbesche Diffraktionsplatte. Sie besteht aus zwei Strichgittern, wobei das eine Gitter eine doppelt so großen

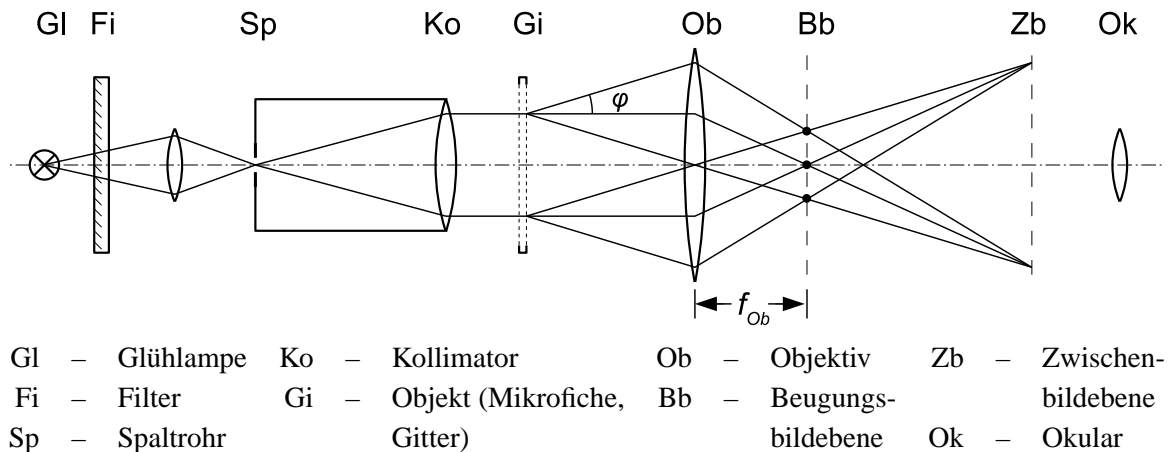


Abbildung 1: Aufbau des Modellmikroskops

Strichabstand hat wie das andere. Stellen Sie die Hilfslinse zwischen Okular und Objektiv und positionieren Sie sie so, dass im Okular das Beugungsbild der Diffraktionsplatte erscheint.

- Stellen Sie den Manipulationsspalt in die Beugungsbildebene. Zeichnen Sie zunächst ein Bild der Platte und des theoretischen Beugungsbildes in Ihr Protokoll. Testen Sie die Abbesche Theorie indem Sie durch den Spalt zunächst nur die nullte Beugungsordnung passieren lassen, dann die 1te des groben Gitters, dann die 2te des groben und 1te des feinen u.s.w. Protokollieren Sie ihre Beobachtungen jeweils durch Anfertigen eines Bildertripel (theoretisch erwartetes Beugungsbild und Spalt; beobachtetes Beugungsbild und Spalt; beobachtetes Zwischenbild).

2.2 Phasenkontrastverfahren von Zernicke

Die bisher benutzten Gitter waren *Amplitudengitter*, d.h. Gitter, bei denen die Amplitude des Lichtes beim Durchgang ortsabhängig abgeschwächt wird. Daneben gibt es auch sog. *Phasengitter* (Abb. 2 und 3). Bei ihnen erfährt das Licht keine Schwächung, sondern durch unterschiedliche optische Weglängen innerhalb des Objektes verschieden große Phasenverschiebungen, z.B. verursacht durch unterschiedliche Materialstärken.

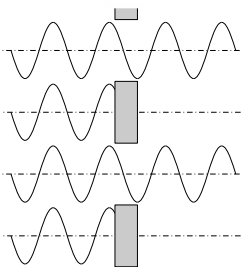


Abbildung 2: Amplitudengitter

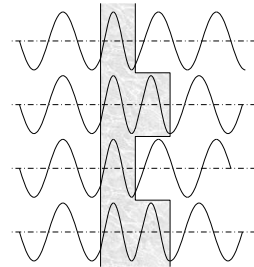


Abbildung 3: Phasengitter

Wichtig ist, dass auch an Phasenstrukturen Beugung auftritt, falls kohärent beleuchtet wird. Die Beugungsbilder von geometrisch gleichen Phasen- und Amplitudenstrukturen sind sehr ähnlich. Als spezielles Phasenobjekt wird hier mit dem Modellmikroskop ein Phasengitter untersucht. Das ist ein Objekt, bei dem die Stege nicht

wie beim Amplitudengitter absorbieren, sondern das Licht ungeschwächt, aber mit einer Phasenverschiebung durchlassen. Für die Lage der Beugungsmaxima gilt wieder die Gitterformel.

Betrachtet man nun die Zwischenbildebene, so erkennt man im Gegensatz zum Amplitudengitter nur eine gleichmäßig helle Fläche, wobei höchstens die feinen Begrenzungen der Gitterfurchen zu erkennen sind.

Um dieses Verhalten des Phasengitters zu verstehen, muss man die gebeugte elektrische Feldstärke der 1., 2., ... Ordnung mit der elektrischen Feldstärke der nullten Ordnung vergleichen (siehe auch *Bergmann-Schäfer*). Man stellt fest, dass die elektrische Feldstärke der 1., 2., ... Ordnung gegenüber der elektrischen Feldstärke der nullten Ordnung um 90° phasenverschoben sind. Diese Phasenverschiebung verhindert, dass man das Zwischenbild des Gitters erkennen kann, da das menschliche Auge Phasenunterschiede nicht sieht. Beim Amplitudengitter tritt diese Phasenverschiebung um 90° zwischen der nullten und den höheren Ordnungen nicht auf.

Wie im ersten Versuchsteil gezeigt wurde, kann das Zwischenbild durch Manipulation in der Beugungsbildebene verändert werden. Aufgrund dieser Tatsache wurde von *F. Zernicke* (1932) das sogenannte *Phasenkontrastverfahren* entwickelt, welches auf folgendem Gedankengang beruht:

Werden im Beugungsbild eines Phasenobjektes die Phasenbeziehungen der Beugungsordnungen so geändert, dass sie mit denen eines Amplitudengitters identisch sind, so muss das Phasengitter im reellen Zwischenbild als Amplitudengitter sichtbar werden. Dazu genügt es die Phase der nullten Beugungsordnung um 90° zu verschieben. Durch eine leichte Abschwächung dieser Ordnung wird außerdem eine Kontrasterhöhung dieses „Amplitudenbildes“ erreicht. Diese Phasenverschiebung um 90° wird durch einen sogenannten *Phasenstreifen* erzeugt.

Aufgaben:

1. Ersetzen Sie das Diffraktionsgitter durch das Phasengitter und öffnen Sie den Manipulationsspalt komplett. Überzeugen Sie sich mit dem Okular, dass auch ein Phasengitter in der Beugungsbildebene Beugungsmaxima erzeugt. Protokollieren Sie Ihre Beobachtungen durch eine Skizze.
2. Stellen Sie an den Ort des Manipulationsspaltens einen Objektträger mit aufgesetztem Phasenstreifen. Justieren Sie den Phasenstreifen so, dass die nullte Beugungsordnung durch ihn hindurchtritt. Erläutern Sie den beobachteten Effekt im Protokoll und führen Sie ihn einem Betreuer vor.

2.3 Abbesche Abbildungstheorie am Standardmikroskop

Im dritten Teil des Versuches sollen die Beobachtungen am Modellmikroskop an einem Standardmikroskop wiederholt werden. Bei dem verwendeten Mikroskop kann das Beugungsbild durch Einbringen von Blenden verändert werden.

Aufgaben:

1. Platzieren Sie das Standardmikroskop auf der optischen Bank hinter den Kollimator. Nimmt man das Okular aus dem Tubus, so erkennt man, wenn ein Objekt auf dem Objektisch liegt, dessen Beugungsbild. Drehen Sie gegebenenfalls den Beleuchtungsspiegel.
2. Entnehmen Sie dem grauen Plastiktui den Objektträger und legen Sie ihn so auf den Objektisch, dass die Abbe-Platte zu sehen ist (sie befindet sich bei 2 Uhr). Entnehmen Sie dem höheren Holzkasten verschiedene Dreierspalte (kleine, runde Scheiben) und bringen Sie sie in die Beugungsbildebene. Bringen Sie den Dreierspalt in verschiedene Positionen bezüglich der Struktur der Abbe-Platte, z.B. (0° und 90°). Erklären Sie die Beobachtung mit Hilfe einer Zeichnung vom Beugungsbild der Platte und dem darüber liegenden Dreierspalt sowie dem beobachteten Zwischenbild.

3. Stellen Sie nun das Kreuzgitter ein (es befindet sich bei 6 Uhr) und bringen Sie einen Einfachspalt in die Beugungsebene. Beobachten Sie das Zwischenbild für verschiedene Stellungen des Spaltes (0° , 45° und 90°) und fertigen Sie jeweils eine Skizze von Beugungsbild und Zwischenbild an. Erklären Sie die Beobachtung!

Literatur:

Bergmann-Schäfer, Band III (Optik), §§ 3.9 und 3.12.

H. Beyer, Theorie und Praxis des Phasenkontrastverfahrens (Fachbibliothek Physik, Signatur: 17.11).

9.2009/Hau,Ra