



UNIVERSITÄT REGENSBURG

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

Anleitung zum Anfängerpraktikum **B**

Versuch „*of*“: Optisches Filtern

7. Auflage 2019

**Dr. Stephan Giglberger**

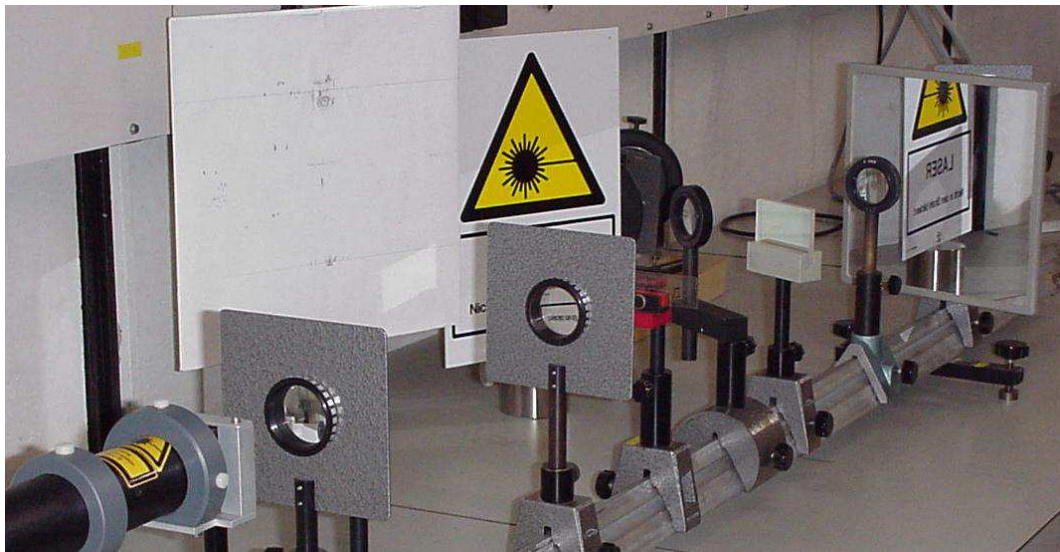
**Prof. Dr. Joe Zweck**

**Marten Scheuck**

# Inhaltsverzeichnis

<b>of</b>	<b>Optisches Filtern</b>	<b>3</b>
of.1	Lernziele . . . . .	3
of.2	Vorbereitung . . . . .	3
of.2.1	Literatur . . . . .	4
of.2.2	Fragen zur Vorbereitung und Durchführung . . . . .	4
of.3	Durchführung . . . . .	8

## of Optisches Filtern



### of.1 Lernziele

Der Versuch soll Ihnen die Grundzüge der Abbeschen Abbildungstheorie näher bringen. Das fourier-transformierte Bild in der Fokalebene lässt sich vielfältig manipulieren oder „filtern“. Dazu ist ein geeigneter Aufbau von Lichtquelle und Linsen zu planen und zu realisieren. Durch gezielte Eingriffe in den optischen Aufbau soll das Bild eines Gegenstands beobachtet werden und so die Bedeutung der Beugung des Lichts für die Theorie der optischen Abbildung sowie für den Bau von optischen Instrumenten anschaulich vermittelt werden (Auflösungsvermögen!).

### of.2 Vorbereitung

Machen Sie sich mit den folgenden Themen ausführlich bekannt, soweit sie noch nicht aus früheren Versuchen bekannt sind:

- Geometrische Optik, Abbildungseigenschaften von Linsen (Bildkonstruktion durch Strahlenoptik)

- Beugung von Licht, Kohärenz
- Abbesche Theorie der Abbildung

Die Vorbereitung soll Sie in die Lage versetzen, mit Hilfe der in Abschnitt (of.2.2) formulierten Fragen den Versuchsaufbau zu planen und diesen während des Praktikums anhand Ihrer Planung aufzubauen und zu justieren. Dazu sollten Sie natürlich die Abbildungsgleichung von Linsen kennen und anzuwenden verstehen. Außerdem ist ein gutes Verständnis der Abbeschen Abbildungstheorie essentiell für ein erfolgreiches Durchführen des Versuchs. Dabei soll Ihnen untenstehende Literatur helfen (besonders [1]).

### of.2.1 Literatur

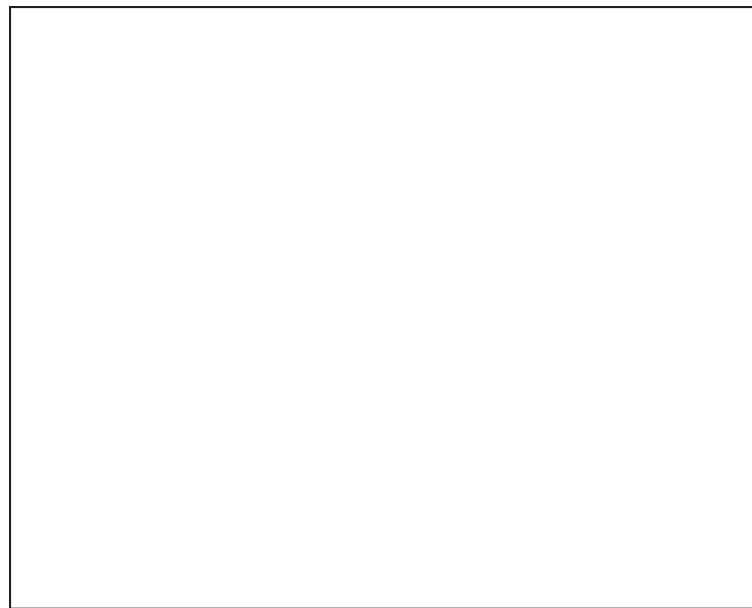
- [1 ] Bergmann-Schaefer; Bd. III [84UC 143 B499-3(6)]
- [2 ] Alonso-Finn II (1967), S. 901-913 [84UDC 167 A 545-2]
- [3 ] F. A. Jenkins and H. E. White, "Fundamentals of Optics"[84UH 5000 J52(4)]
- [4 ] E. Hecht und A. Zajac, "Optics", Addison-Wesley 1974 [84UH 5000 H474 06]
- [5 ] M. V. Klein und T. E. Furtak, "Optics", 2nd Edition 1986 [84UH 5000 K64(2)]
- [6 ] H. Hänsel, W. Neumann: "Physik", Bd. 2, Kap. 9-11 [84UC 193 H 135-2]

### of.2.2 Fragen zur Vorbereitung und Durchführung

Die folgenden Fragen und Aufgaben sollen dazu dienen, Ihnen schon vor dem Praktikumsnachmittag schrittweise die nötigen Kenntnisse zu vermitteln, um den optischen Aufbau zu verstehen und durchzuführen. Die folgende Liste enthält diejenigen optischen Komponenten, die Ihnen im Versuch zur Verfügung stehen. Bei der Lösung der Aufgaben zur Vorbereitung sollten Sie ausschließlich von diesen Komponenten ausgehen.

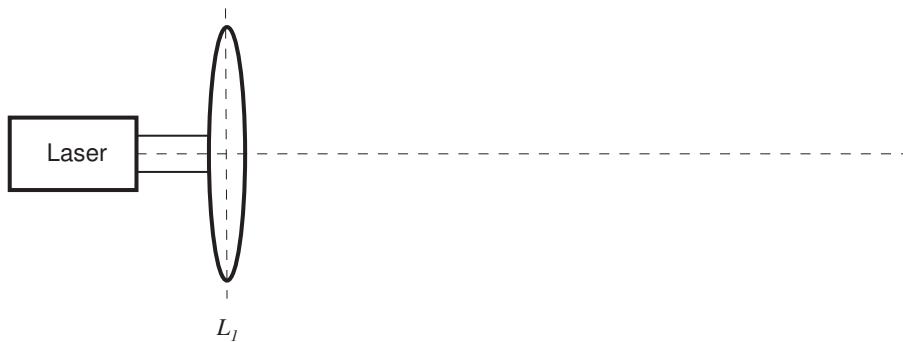
- Optische Bank
- Stativmaterial
- HeNe - Laser
- bikonvexe Linsen
- 1 x  $f = + 10$  mm
- 1 x  $f = + 80$  mm
- 1 x  $f = + 100$  mm
- Optische Liniengitter
- Optische Kreuzgitter
- div. Blenden (verstellbarer Spalt, Irisblenden)
- 1 Strahlteiler
- 1 Oberflächenspiegel
- 1 Beobachtungsschirm
- 1 x  $f = + 200$  mm

1. Wie lautet die Abbildungsgleichung für Linsen und was bedeuten die einzelnen Größen?
2. Tragen Sie in untenstehende (Abb. of.1) die entsprechenden Größen der Abbildungsgleichung ein und konstruieren Sie das Bild des Gegenstands  $G$ . Vergleichen Sie die konstruierten Werte für Bildgröße und Bildweite mit den berechneten.

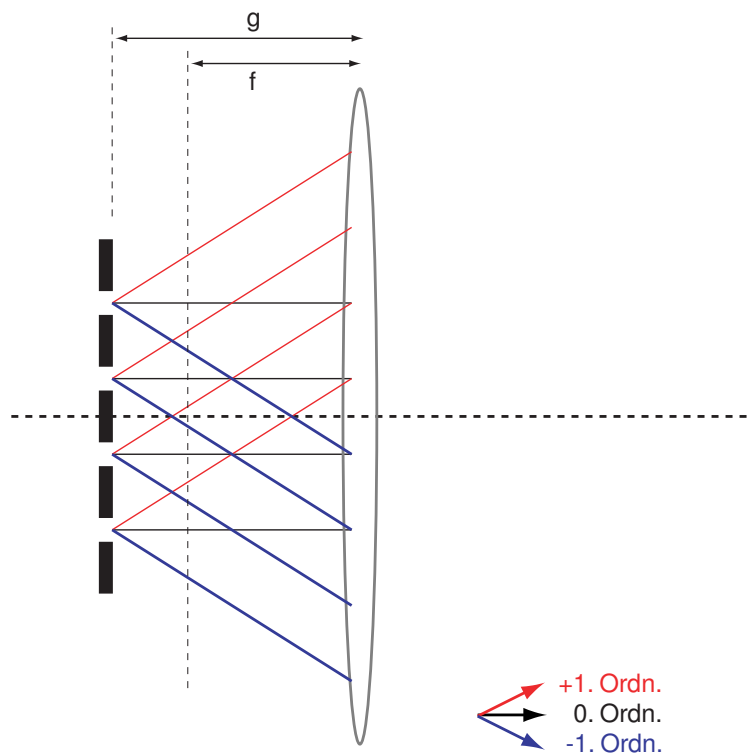


**Abbildung of.1:** zu Aufgabe 2: Konstruktion des Bildes eines Gegenstands  $G$  bei Abbildung mit einer bikonvexen Linse

3. Sie benutzen im Versuch einen Laserstrahl, dessen enges Ausgangsstrahlbündel (näherungsweise) zu einem breiteren Parallelstrahl aufgeweitet wird (siehe Abb. of.2). Dazu sollen zwei Linsen  $L_1$  und  $L_2$  verwendet werden.  $L_1$  habe  $f_1 = 5\text{mm}$  und die Aufweitung soll 10-fach sein. Es stehen für  $L_2$  Linsen mit 50, 100 und 200mm zur Verfügung. Welche würden Sie wählen? Wie groß müssen die Linsendurchmesser mindestens sein?
4. Erläutern Sie die Begriffe „Primäres Bild“ und „Sekundäres Bild“ der Abbeschen Abbildungstheorie. Wo liegen diese Bilder? Wie kann man das primäre Bild mathematisch beschreiben?
5. Das abzubildende Objekt sei nun ein Liniengitter. Das Gitter wird mit kohärentem Licht beleuchtet (siehe Abb. of.3). Die Gitterspalte stehen dabei senkrecht auf der Zeichenebene. Konstruieren Sie primäres sowie sekundäres Bild und skizzieren Sie den Intensitätsverlauf (qualitativ) in den entsprechenden Ebenen (Praktikumsheft!). Berücksichtigen Sie bei der Konstruktion die Beugungsmaxima 0. sowie  $\pm 1$ . Ordnung.



**Abbildung of.2:** zu Aufgabe 3: Aufweitung eines parallelen Strahlbündels mit Hilfe einer Linsenkonstruktion. Der Strahlengang ist fortzusetzen.



**Abbildung of.3:** zu Aufgabe 5: Konstruktion von primärem und sekundärem Bild eines Liniengitters, das mit einer bikonvexen Linse abgebildet wird.

6. Berechnen Sie den Abstand  $\Delta x$  benachbarter Punkte in der hinteren Brennebene von Aufgabe Nr. 5. Die Lage der Beugungsmaxima eines Gitters ist gegeben durch:

$$\sin(\Psi_{m,max.}) = \frac{\lambda}{d} \cdot m$$

wobei

$m$  Beugungsordnung

$\Psi_{m,max}$  Beugungswinkel des  $m$ -ten Beugungsmaximum

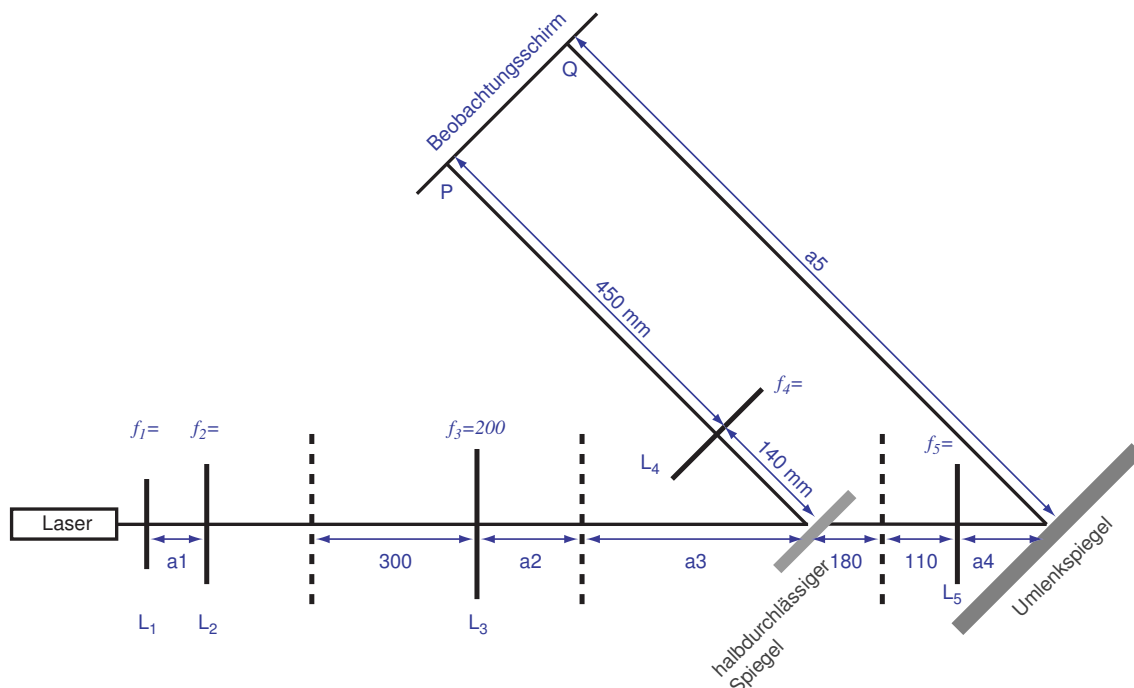
$\lambda$  Wellenlänge des beleuchtenden Lichtes

$d$  Abstand der Gitterlinien

(Ergebnis:  $\Delta x \approx f \cdot \frac{\lambda}{d}$ )

Welche Bedeutung haben diese Punkte?

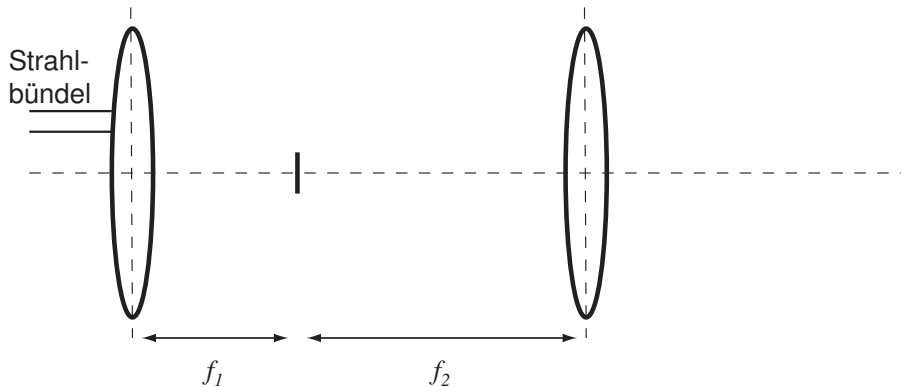
7. Um die Auswirkungen von Eingriffen am primären Bild auf das Endbild beobachten zu können, ist es hilfreich, das Endbild (sekundäres Bild) mit dem primären Bild zu vergleichen. Dies geschieht am bequemsten, wenn beide Bilder vergrößert nebeneinander auf dem Beobachtungsschirm dargestellt werden. Die Problemstellung besteht darin, zwei Bilder, die sich an unterschiedlichen Positionen im Strahlengang befinden, in einer Beobachtungsebene (Schirm) abzubilden. Dies erreichen Sie mit untenstehendem Aufbau in (Abb. of.4) (nicht maßstabsgetreu, alle Maße in mm). Beschriften Sie den Aufbau vollständig und berechnen Sie die Brennweiten  $f_1, f_2, f_4, f_5$  sowie die Abstände  $a_1, a_2, a_3$  und  $(a_4 + a_5)$ . Berücksichtigen Sie bei der Wahl der Linsen die Liste der zur Verfügung stehenden Komponenten.



**Abbildung of.4:** zu Aufgabe 7: Schematische Darstellung des für die Durchführung notwendigen Aufbaus. Die Daten sind der Aufgabenstellung folgend zu ergänzen. Alle Maße in mm.

8. Beschreiben Sie den Charakter der Bilder an den Orten P und Q am Leuchtschirm!

9. Überlegen Sie sich, wie Sie eine „optische Bank“ (also einen Aufbau mit mehreren optischen Komponenten wie z.B. Linsen) justieren sollten. Verdeutlichen Sie sich die Bedeutung einer optimalen Ausrichtung der optischen Komponenten auf der optischen Achse anhand (Abb. of.5). Setzen Sie den Strahlengang des parallel versetzt einfallenden Strahlbündels fort. Was beobachten Sie ?



**Abbildung of.5:** zu Aufgabe 9: Durchgang eines zur optischen Achse parallel versetzten Strahlbündels durch ein einfaches Linsensystem. Der Gang des einfallenden Strahlbündels ist fortzusetzen.

### of.3 Durchführung

Sie sollen nun den in der Vorbereitung geplanten Aufbau schrittweise realisieren. Bauen Sie dazu die optischen Komponenten in der Reihenfolge auf, in der sie vom einfallenden Laserbündel durchlaufen werden. Berücksichtigen Sie außerdem Ihre Überlegungen zur optimalen Justierung einer optischen Bank.

Nachdem Sie die Anordnung komplett aufgebaut und justiert haben, sollen Sie die Auswirkungen von Eingriffen (z.B. mit Blenden) im primären Bild am sekundären Bild beobachten. Da das primäre Bild die Fouriertransformierte des Beugungsobjektes darstellt, entspricht das Ausblenden bestimmter Details in der Brennebene der abbildenden Linse der Entfernung von einer bzw. mehreren Komponenten aus dem Fourierspektrum, d.h. bestimmte Raumfrequenzen werden optisch herausgefiltert.

Im Versuch wird gezeigt, wie gezielte Eingriffe in das primäre Bild - also in das Beugungsbild - einerseits zu einer Verbesserung der Bildqualität beitragen können, andererseits aber auch dazu führen können, dass zusätzliche, vermeintliche Informationen in das Endbild hinein manipuliert werden.

1. Bauen Sie die Anordnung gemäß Ihrer Planung bis einschließlich Linse  $L_3$  auf. Fügen Sie dann als Objekt ein Kreuzgitter an der dafür vorgesehenen Position im Strahlengang ein. Suchen Sie mit einem Blatt Papier o.ä. das primäre und sekundäre Bild. Wo befinden sich diese Bilder?



2. Platzieren Sie nun den Umlenkspiegel am Ende der optischen Bank. Den umgelenkten Strahl machen Sie mit Hilfe des Leuchtschirms sichtbar. Nun fügen Sie die Linse  $L_4$  möglichst nahe zu  $L_3$  ein. Verschieben Sie  $L_4$  von  $L_3$  weg in Richtung Umlenkspiegel. Was beobachten Sie am Leuchtschirm?
3. Bauen Sie nun auch noch die Linse  $L_5$  ein und vervollständigen Sie den Aufbau. Wie gehen Sie dabei am geschicktesten vor? Skizzieren Sie die Intensitätsverläufe in Ihr Heft!
4. Entfernen Sie nun das Kreuzgitter und verwenden Sie einen Doppelspalt als Beugungsobjekt. Fügen Sie in der Fokalebene von  $L_3$  eine Irisblende ein und blenden Sie nacheinander höhere Beugungsordnungen (Raumfrequenzen) aus bis nur noch die 0.te Ordnung die Blende passieren kann. Schildern Sie Ihre Beobachtungen. Was folgern Sie daraus für das Auflösungsvermögen optischer Geräte?
5. Wiederholen Sie Aufgabe 4) mit einem Liniengitter als Objekt. Versuchen Sie dann alle ungeraden Beugungsordnungen auszublenden. Verwenden Sie dazu die zur Verfügung stehenden Mikroskop-Objektträger. Geeignete Blenden lassen sich durch schwarze Striche auf den Objektträgern herstellen. Skizzieren und erklären Sie Ihre Beobachtungen.
6. Verwenden Sie jetzt wieder das Kreuzgitter als Beugungsobjekt. Blenden Sie nun mit einer Spaltblende alle horizontalen Beugungsordnungen aus. Was beobachten Sie?
7. Drehen Sie die Spaltblende um die 0.te Beugungsordnung herum. Zeichnen Sie für geeignete Winkel die Intensitätsmuster am Leuchtschirm in ihr Heft und erklären Sie das Zustandekommen dieser Muster.
8. Benutzen Sie nun eine Irisblende und finden Sie heraus, welche Beugungsordnungen Sie passieren lassen müssen, um das Kreuzgitter vollständig rekonstruieren zu können.
9. <sup>w)</sup> Verwenden Sie als Objekt den auf Dia belichteten Text. Wie sieht das Beugungsbild aus? Versuchen Sie, durch „optische Filterung“ die Bildqualität zu verbessern. Wie erreichen Sie dies und woraus besteht die Verbesserung.
10. <sup>w)</sup> Das Objekt sei nun ein Dia, dem eine Punktgitterstruktur überlagert ist. Filtern Sie die Gitterstruktur aus dem Endbild heraus. Wie sieht das Bild des Dias aus, nachdem Sie es von der Gitterstruktur befreit haben?