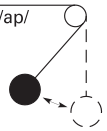


Y80 Einfacher optischer Aufbau	
Name:	Matrikelnummer:
Fachrichtung:	Versuchsdatum:
Mitarbeiter/in:	Gruppennummer:
Assistent/in:	Endtestat:

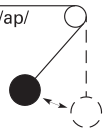
Dieser Fragebogen muss von jedem Teilnehmer **eigenständig** (keine Gruppenlösung!) handschriftlich beantwortet und vor Beginn des Versuchs abgegeben werden. Die Vorbereitung wird zusätzlich durch einen Test bzw. eine mündliche Prüfung über die physikalischen Grundlagen des Versuchs kontrolliert. (Version: 31. Juli 2025)

Versuchsziel und Versuchsmethode:

1.) Überlegen Sie sich einen Versuchsaufbau, mit dem Sie das Dia vergrößert abbilden möchten und skizzieren Sie diesen hier.

2.) Planen und skizzieren Sie Ihren geplanten Versuchsaufbau zur Aufspaltung der Na-Doppellinie.

3.) Schätzen Sie ab, wie weit Sie die Na-Doppellinie aufspalten müssen, um dies auf dem Kameradisplay beobachten zu können.



Y Freie Versuche

Y80 Einfacher optischer Aufbau

Diese Anleitung kann und soll kein Lehrbuch ersetzen. Die beschriebenen Grundlagen stellen einen kurzen Überblick dar und sind daher zum Erlernen der physikalischen Grundlagen nicht ausreichend. Genauere Beschreibungen finden sich in:

[1] *Kapitel* 11. Optische Instrumente. In: Demtröder, W.: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer, 2013. – E-Book

[2] *Kapitel* 11 Wellenoptik. In: Meschede, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book

[3] *Kapitel* 9.4 Prismen. In: Demtröder, W.: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer, 2013. – E-Book

[4] *Kapitel* 10 Geometrische Optik. In: Meschede, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book

[5] *Kapitel* 10.2 Optische Instrumente. In: Meschede, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book

Stichworte

Spektrographen [1], Beugung am Gitter [2], Prisma [3, 4], Auflösungsvermögen [2], Linsen und deren Anwendung [5]

Versuchsziele

Der Versuchstag umfasst zwei Versuche. Zunächst soll ein Aufbau konstruiert werden, mit welchem ein spezielles Dia (USAF Target) auf eine Wand abgebildet werden kann. Ziel ist eine möglichst starke Vergrößerung mit hoher Bildschärfe. Im zweiten Teil soll die Aufspaltung der Natrium-D-Linie mithilfe eines eigenen Versuchsaufbaus beobachtet werden.
Zur Dokumentation muss kein Protokoll angefertigt werden, diese wird vor Ort erstellt. Mithilfe dieser Dokumentation sollte es möglich sein, die Versuchsaufbauten in kurzer Zeit wieder reproduzieren zu können.

Geometrische Optik

Eine ideale optische Abbildung führt Punkte wieder in Punkte, Geraden in Geraden und Ebenen in Ebenen über. Diese sogenannte kollineare Abbildung lässt sich durch Einführen von Hauptpunkten, Hauptebenen, Brennpunkten und Brennebenen eindeutig kennzeichnen und theoretisch berechnen. Die genannten Begriffe sind unabhängig von einer physikalischen Realisierung z. B. mit Linsen oder Spiegeln definiert, jedoch lassen sich kollineare Abbildungen mit Linsen näherungsweise erzeugen. Im Versuch lernen wir grundsätzliche Prinzipien und mögliche Fehlerquellen kennen.

Für dünne Linsen und achsennahe Strahlen beschreibt die Abbildungsgleichung (Linsenformel)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \tag{Y80-1}$$

$$f = \text{Brennweite},\ g = \text{Gegenstandsweite},\ b = \text{Bildweite}$$

die Geometrie der Abbildung, wenn auf Gegenstands- und Bildseite dasselbe Medium (z. B. Luft) vorhanden ist.

Obwohl Licht eine elektromagnetische Welle ist, kann zur Bestimmung der Abbildungsverhältnisse der Strahlengang meist rein geometrisch konstruiert werden. An seine Grenzen stößt dieses Verfahren erst, wenn Strukturen in die Dimension der Wellenlänge des Lichts kommen: Dann müssen Beugungsphänomene berücksichtigt werden. Die Strahlenoptik ist besonders dann von Vorteil, wenn man komplizierte Linsensysteme vorliegen hat. Dabei verfährt man so, dass man von einem Punkt des Gegenstandes zwei verschiedene Strahlen ausgehen lässt und deren Wege verfolgt, bis sie sich wieder schneiden. Der Schnittpunkt gibt dann den Bildpunkt B des entsprechenden Gegenstandspunktes G an. Zur Konstruktion benutzt man i.a. zwei ausgewählte Strahlen, deren Eigenschaften bekannt sind, z. B.: ein Strahl durch den Mittelpunkt der Linse wird nicht gebrochen, ein Strahl durch einen Brennpunkt f der Linse geht in einen Parallelstrahl über (parallel zur optischen Achse) und umgekehrt. Für dünne, symmetrische Linsen ist die Hauptebene H für die geometrische Konstruktion in deren Mitte zu legen (Abb. Y80-1). Für dicke Linsen oder Linsensysteme sind die Verhältnisse komplexer, hier werden zwei Hauptebenen eingeführt, um eine einfache geometrische Konstruktion zu ermöglichen. Wir beschränken uns hier jedoch auf den Fall dünner Linsen.

USAF 1951 Resolution Target

Das in Abb. Y80-2 dargestellte USAF 1951 Target dient als Test der optischen Auflösung und besteht aus sukzessive kleiner werdenden Gruppen mit ebenfalls kleiner werdenden Elementen aus je drei horizontalen und 3 vertikalen Balken. Als Auflösungslimit gilt das letzte Element, bei

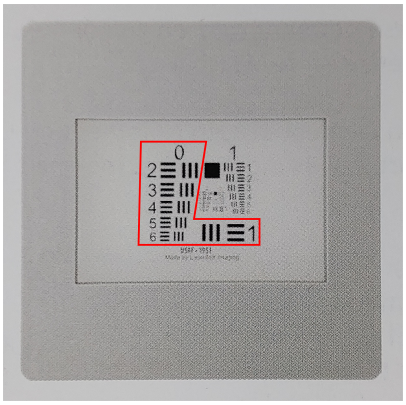


Abb. Y80-2: USAF 1951 Resolution Target. Gruppe 0 ist rot markiert.

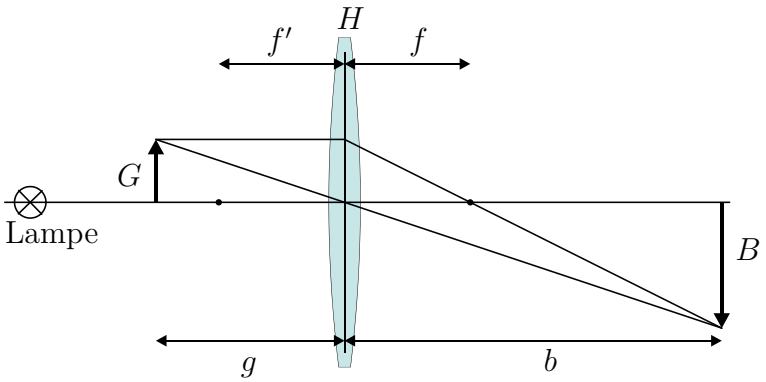


Abb. Y80-1: Strahlengang einer bikonvexen dünnen Linse.

welchem die drei Streifen noch klar voneinander getrennt beobachtet werden können. Dabei kann die horizontale und vertikale Auflösung natürlich unterschiedlich sein. Das verwendete 35 mm-Dia besitzt 8 Gruppen (Gruppe 0-7) zu je 6 Elementen.

Spektralanalyse

Zur Untersuchung des **sichtbaren** Spektralbereichs verwendet man hauptsächlich folgende Spektrometer:

1. Prismenspektrometer: Zur Zerlegung des Lichts benutzt man die Tatsache, dass der Brechungswinkel eines Lichtstrahls am Prisma von seiner Wellenlänge abhängt (Dispersion; s. Abb. (Y80-3)).
2. Gitterspektrometer: Licht unterschiedlicher Wellenlänge wird an einem Gitter verschieden stark gebeugt (s. Abb. (Y80-4)).

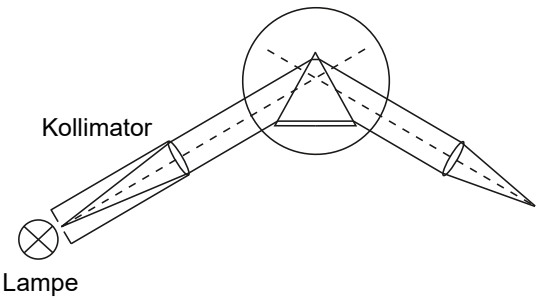


Abb. Y80-3: Prinzip des Prismenspektrometers.

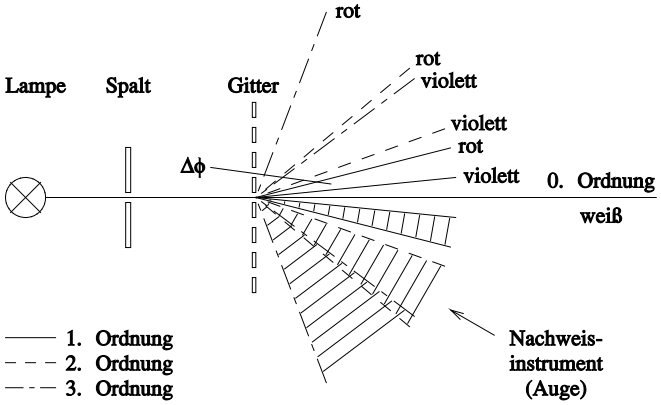


Abb. Y80-4: Prinzip des Gitterspektrometers.

Natriumdampflampe

Im Versuch wird die Spektrallinie einer Natriumdampflampe betrachtet. Die Anregung erfolgt in diesem Fall elektrisch durch Ionisation und nachfolgende Stoßionisation. Man erhält im Wesentlichen nur Emission aus dem angeregten $3P_{1/2}$ bzw. $3P_{3/2}$ Niveau in den Grundzustand $3S_{1/2}$. Die sogenannte Natrium D-Linie ist also aufgrund der Spin-Bahn-Kopplung aufgespalten in die beiden Linien D1 mit 589,5924 nm und D2 mit 588,9951 nm Wellenlänge. Diesen Abstand von 0,6 nm gilt es nun also mithilfe von einem Spektrometer zu trennen.

Kamera

Um die getrennten Spektrallinien zu beobachten soll eine Kamera verwendet werden (Modell Canon EOS 77). Diese besitzt einen 22,3 x 14,9 mm großen CMOS-Sensor mit einer Unterteilung in 6000 x 4000 Pixel. Das Bild auf dem Sensor kann auf einem angeschlossenen TFT-Bildschirm mit 720 × 480 Pixeln betrachtet werden.

Messprogramm

1. Bilden Sie das USAF 1951 - Dia möglichst stark vergrößert auf dn Schirm ab. Optimieren Sie Ihren Aufbau im Hinblick auf Vergrößerung und Auflösung, sodass Sie ein möglichst kleines Element noch erkennen können.
   Dokumentation: Skizzieren Sie Ihren Aufbau grob unter Angabe der wichtigsten Parameter und nennen Sie Gruppe und Element der kleinsten noch gut per Auge erkennbaren Struktur. Fotografieren Sie Ihren Aufbau und Ihr projiziertes Bild mithilfe der bereitgestellten Kamera.
2. Bilden Sie die beiden Linien der Na-Lampe räumlich getrennt auf dem Sensorchip der Kamera ab.
   Dokumentation: Erstellen Sie je ein Foto der getrennten Natrium-D-Linien und Ihres Versuchsaufbaus. Skizzieren Sie grob Ihren Aufbau und falls vorhanden die Vor- bzw. Nachteile Ihrer unterschiedlichen Varianten.