

## 1. ZIEL

Das ist die Idee: Jeder Stoff absorbiert Licht auf bestimmten, für ihn charakteristischen Wellenlängen. Mit einem Spektralapparat ermittelt man diese Wellenlängen und kann so den Stoff identifizieren.

In diesem Versuch sollen Sie das Prinzip dieser Spektralanalyse an einem einfachen Prismen-Spektralapparat kennen lernen. Sie werden den Apparat zunächst kalibrieren und dann die Absorptionsspektren von Farbstoffen, bunten Gläsern oder Chlorophyll untersuchen.

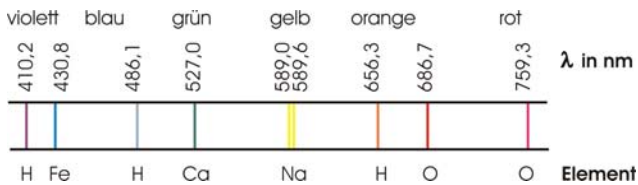


Abb. 1 Das historische Paradebeispiel für ein Absorptionsspektrum sind die Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum. Sie entstehen, weil das vom Sonnenkern ausgehende kontinuierliche weiße Licht in der Sonnenatmosphäre selektiv absorbiert wird. Mit diesen Fraunhofer-Linien konnte man ermitteln, welche Gase in der Sonnenatmosphäre vorhanden sind. Im Experiment sind die Fraunhofer-Linien tatsächlich schwarz im farbigen Spektrum.

## 2. ZUR VORBEREITUNG

Wenn Licht auf Gase oder Flüssigkeiten oder transparente Stoffe trifft, wird es gebrochen, reflektiert, absorbiert und gestreut. Was meint das jeweils konkret (Skizze)?

In den Büchern findet man für den Übergang Luft- Glas den Brechungsindex  $n = 1,53$ . Das stimmt nur so ungefähr. Tatsächlich wird blaues Licht ... gebrochen als rotes.

Die Farbe des Lichts ändert sich mit der Wellenlänge  $\lambda$ . Sie wird mit den Regenbogenfarben von rot, orange, gelb, grün, blau bis violett immer ...

Was ist die Ursache für diese Abhängigkeit des Brechungsindex  $n$  von der Wellenlänge  $\lambda$ ?

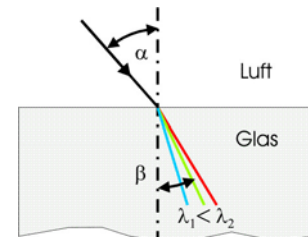


Abb. 2 Prismen-Spektralapparate nutzen die Dispersion  $n = n(\lambda)$  für die Trennung der Wellenlängen aus.

Kennen Sie den Franck-Hertz-Versuch? Welche physikalischen Zusammenhänge folgen aus diesem Versuch? Sie sollten ihn unbedingt in einem Physikbuch nachlesen, sonst versteht man den Versuch hier nicht. Die Absorption oder Emission von Licht durch Materie erfolgt diskontinuierlich in Energiequanten  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \dots \quad h \text{ Planck-Konstante.}$$

Licht, das wir mit den Augen wahrnehmen, ist nur ein kleiner Ausschnitt im Spektrum der elektromagnetischen Wellen. Wir können nur Wellenlänge von ungefähr ... nm bis etwa ... nm sehen.

Das gesamte Spektrum finden Sie sicher in einem Physikbuch. Warum ist der Infrarot-Bereich für die Spektralanalyse so wichtig?

Emissionsspektren werden nach Linien-, Banden- und kontinuierlichen Spektren unterschieden. Wodurch erkennt man diese drei Typen, wie werden sie erzeugt?

Mit dem Spektralapparat im Praktikum können Sie die Absorption von Chlorophyll untersuchen. Bringen Sie dazu bitte etwas Grünzeug mit (Petersilie, Wegerich, nicht geeignet sind Gras oder Salat). Es wird mit einem Mörser zerkleinert, mit Propanol versetzt und anschließend gefiltert, so dass eine klare, faszinierend grüne Lösung entsteht.

Bei der Absorption von Licht beobachtet man mitunter Fluoreszenz und Phosphoreszenz (s. auch Abb. 8). Wie und unter welchen Bedingungen entstehen diese Leuchteffekte? Warum sehen wir Glühwürmchen?

Literatur: Alle Oberstufen-Schulbücher

### 3. SPEKTRALAPPARATE

Spektralapparate ermitteln die im Licht enthaltenen Wellenlängen (Spektrum) und gegebenenfalls auch das Intensitätsverhältnis der verschiedenen Wellenlängen (Linien) untereinander (spektrale Energieverteilung).

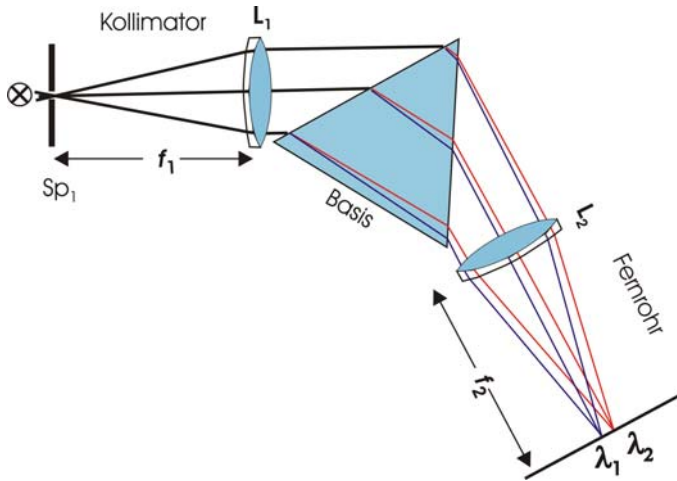


Abb. 3 Prinzip eines Prismenspektralapparates

Für genaue Messungen muss man das Prisma in Abb. 3 für jede Wellenlänge in den minimalen Ablenkwinkel drehen – das ausgewählte Parallelbündel verläuft dann im Prisma parallel zur Basis – und auch das Fernrohr (Fadenkreuz) jedes Mal entsprechend nachführen.

Dieses aufwendige Justieren wird im Versuch hier mit einem Prisma wie in Abb. 4 vermieden. Bei ihm muss lediglich das Prisma gedreht werden, einfallender und austretender Strahl stehen stets senkrecht zueinander. Bei Drehung des Prismas um die Achse F gleitet im Spalt  $Sp_2$  in der Abbildungsebene das gesamte Spektrum vorüber.

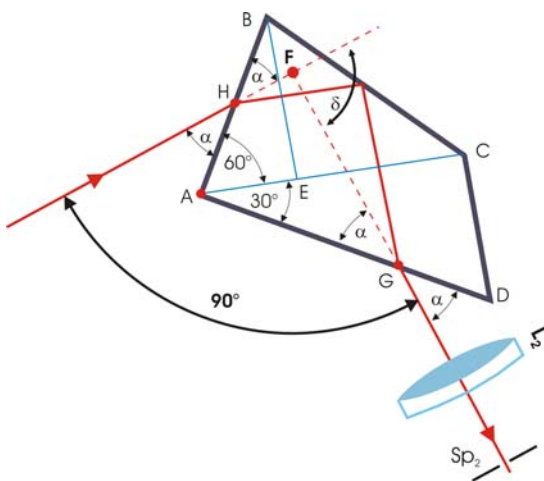


Abb. 4 Spektralapparate, die nur einen schmalen Wellenlängenbereich durchlassen, nennt man Monochromatoren.

#### Versuchsaufbau

Die zu untersuchende Lichtquelle wird direkt vor einen Spalt  $Sp_1$  gestellt. Dieser dient als sekundäre Quelle und liegt im Brennpunkt der Kollimatorlinse  $L_1$ .

Das Prisma wird daher von einem parallelen Strahlenbündel durchsetzt. Hinter dem Prisma ist das Licht in seine spektralen Anteile zerlegt, für jede Wellenlänge ergibt sich ein neues Parallelbündel unter einem anderen Ausfallswinkel. Sie werden im Fernrohr mit der Linse  $L_2$  in deren Brennebene fokussiert. In dieser Ebene sieht man alle Farben, die von der Lichtquelle emittiert werden, nebeneinander.

#### Für Interessierte:

Das Prisma ABCD kann man sich aus drei rechtwinkligen Prismen zusammengesetzt denken, zwei  $30^\circ$ -Prismen ABE und ACD und ein  $45^\circ$ -Prisma BCE. Ein von links unter dem Winkel  $\alpha$  auf die Fläche AB einfallender Strahl wird unter dem Minimum der Ablenkung gebrochen, wenn er im Prisma parallel zu AC verläuft. Er wird an der Fläche BC totalreflektiert und tritt dann unter dem gleichen Winkel  $\alpha$  aus der Fläche AD wieder aus, da Einfallswinkel bzw. Ausfallswinkel bei H und G in den beiden  $30^\circ$ -Prismen gleich sind.

Damit ein Strahl so unter dem Minimum der Ablenkung gebrochen wird, muss für jede Wellenlänge ein anderer Einfallswinkel eingestellt werden. Dazu wird das Prisma um F gedreht.

Für die Winkelsumme im Viereck AHFG gilt bei diesem Strahlenverlauf dann für jede Wellenlänge wegen  $(60^\circ + 30^\circ) + (180^\circ - \alpha) + (180^\circ - \delta) + \alpha = 360^\circ \Rightarrow \delta = 90^\circ$ .

Lit.: Bergmann/Schäfer, Optik

## 4. EMISSIONSSPEKTRUM EINER SPEKTRALLAMPE

### 4.1. Die Eichkurve des Monochromators

Mit dem bekannten Linienspektrum einer Quecksilber-Cadmium-Spektrallampe Abb. 5 sollen Sie einen Monochromator kalibrieren. Das Prisma (Abb. 4) wird dazu mit einer Messtrommel gedreht. Den Skalenteilen (Skt) auf dieser Trommel sind die entsprechenden Wellenlängen  $\lambda$  zuzuordnen.

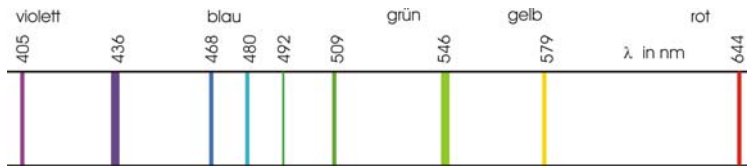


Abb. 5 Spektrum der Hg-Cd-Spektrallampe. Die mittlere Linie bei 492 nm ist sehr schwach und nur bei optimaler Einstellung zu beobachten.

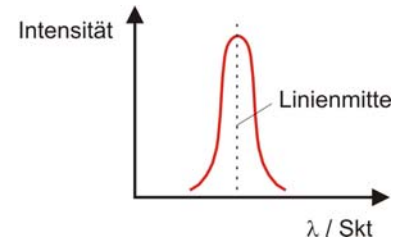


Abb. 6 Die Linien der Spektrallampe sind nicht scharf, sie besitzen insbesondere wegen des Dopplereffekts eine endliche Breite.

### 4.2. Sehen Sie alle Linien?

Hg-Cd-Spektrallampe unmittelbar vor den Eintrittspalt  $Sp_1$  stellen, Spalt gut ausleuchten.

Sehen Sie in den Spalt  $Sp_2$  und drehen Sie die Trommel. Wenn Sie den Eintritt- und Austrittsspalt hinreichend *schmal* einstellen, sollten Sie alle 9 (mindestens 8) Linien sehen und zuordnen können.

### 4.3. Die Linienmitte wird festgelegt

Mit dem Auge können Sie die Linienmitte (Abb. 6) nur so ungefähr ermitteln. Das gelingt mit optischen Sensoren, über die sich Beleuchtungsstärken elektrisch messen lassen, wesentlich besser. Im Versuch wird hier ein Fotowiderstand (LDR, Abb. 7) benutzt. Er wird mit einer Hilfslinse  $L_{Hilf}$  ausgeleuchtet.

Die Messung erfolgt mit einer Schaltung nach Abb. 7 rechts. Sie ist in einem Messgerät fertig aufgebaut. Die Schaltung zu verstehen, ist für den Versuch hier nicht wesentlich (solche Brückenschaltungen werden im Versuch C1 untersucht, Fotowiderstände in D7). Je mehr Licht auf den Fotowiderstand fällt, desto geringer wird sein Widerstand und das Amperemeter misst einen größeren Strom.

Drehen Sie die Trommel auf eine der Linien, z. B. rot. Setzen Sie dann das Ansatzstück mit der Hilfslinse und den Fotowiderstand direkt auf den Spalt  $Sp_2$ . Schalter auf "Eichen" und mit  $P_1$  stellen Sie einen deutlichen Ausschlag des Messinstrumentes ein, die Einstellung von  $P_2$  ist dabei beliebig. Drehen Sie feinfühlig die Trommel, im Maximum des Ausschlags lesen Sie den Trommelwert auf 0,005 Skt genau ab. Die Empfindlichkeit des Ausschlags können Sie bei den starken/schwachen Linien mit  $P_1$  reduzieren/erhöhen.

### 4.4. Auswertung

Stellen Sie bitte die Eichkurve  $\lambda = \lambda(\text{Skt})$  sofort grafisch dar, sie wird im nächsten Versuchsteil benötigt.

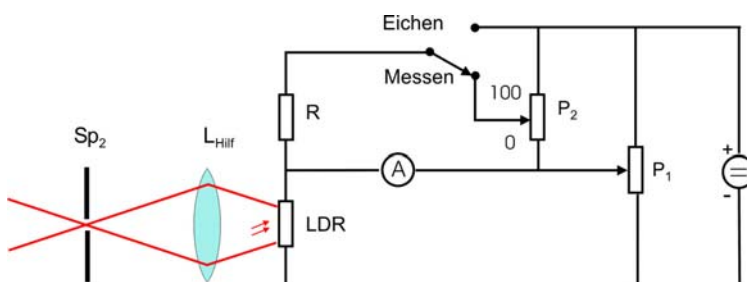


Abb. 7 Schaltbild des Messgerätes  
Sie müssen noch die Spannungsquelle, das Amperemeter und den Fotowiderstand (LDR) mit dem Messgerät verbinden.

Fotowiderstände sind träge, sie sollten nicht dem direkten Tageslicht ausgesetzt werden. Stellen Sie bitte Ihren bei Nichtgebrauch abgedeckt auf den Tisch.

## 5. ABSORPTIONSSPEKTRUM EINER FARBLÖSUNG

### 5.1. Messprinzip

Der Monochromator wird dazu mit dem weißen Licht einer Halogenlampe durchsetzt. Die Küvette mit der zu untersuchenden Lösung wird einfach zwischen Lampe und Eintrittspalt  $Sp_1$  gestellt. Im Emissionsspektrum einer Halogenlampe sind zwar alle sichtbaren Wellenlängen vorhanden, aber leider mit unterschiedlichen Intensitäten. Zur Bestimmung der Absorption sind daher stets zwei Schritte *für jede Wellenlänge* notwendig:

Messung der Beleuchtungsstärke  $E$  des Fotowiderstandes

1.  $E_O$  mit einer Küvette, die nur mit dem Lösungsmittel (destilliertem Wasser) gefüllt ist und
2.  $E_D$  mit einer gleichen Küvette, die mit der zu untersuchenden Lösung gefüllt ist.

Die Durchlässigkeit  $D$  der gelösten Substanz wird bestimmt durch den Vergleich dieser beiden Beleuchtungsstärken  $D = \frac{E_D}{E_O}$ . (z.B.  $E_D = E_O \Rightarrow D = 1$  bzw.  $D = 100\%$ , es wird nichts absorbiert.)

Die Messung erfolgt durch Abgleich der Widerstände in dem Messgerät Abb. 7. Es ist so konzipiert, dass Sie die Beleuchtungsstärken selbst gar nicht ermitteln müssen. Sie können die Durchlässigkeit  $D$  am Potentiometer  $P_2$  direkt in Prozent ablesen.

### 5.2. Ausführung und Messung: Halten Sie sich bitte strikt an diesen Ablauf

1. Eintrittspalt etwa 1 mm breit. Küvetten mit destilliertem Wasser und Farblösung auf den Schlitten.
2. Halogenlampe in Höhe der optischen Achse des Monochromators, Eintrittspalt voll ausleuchten. Das Strahlenbündel lässt sich am Lampengehäuse hinten auf den Eintrittspalt fokussieren.
3. Schalter auf "EICHEN", Küvette mit destilliertem Wasser vor den Eintrittspalt. Mit  $P_1$  Abgleich des Nullinstrumentes auf 0. Die Stellung von  $P_2$  ist für dieses EICHEN beliebig.
4. Schalter auf "MESSEN", Küvette mit Farblösung vor den Eintrittspalt. Mit  $P_2$  Ausschlag auf Null abgleichen, Die Einstellung von  $P_1$  darf jetzt nicht mehr verändert werden. Die Ablesung von  $P_2$  (0 – 100) ergibt die Durchlässigkeit  $D$  unmittelbar in %.
5. EICHEN und MESSEN wiederholen und so verteilen, dass Sie mit etwa 20 Messwerte [Wellenlänge (Skt) - Durchlässigkeit (%)] den Bereich 400 - 650 nm sicher darstellen können.

### 5.3. Auswertung

1. Stellen Sie mit Hilfe der Eichkurve die Durchlässigkeit  $D$  als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$  grafisch dar.
2. Welche Farbe hat Ihr Absorptionsmaximum? Welchen Farbstoff haben Sie untersucht?

### 5.4. Zur Information, falls Sie Chlorophyll untersucht haben.

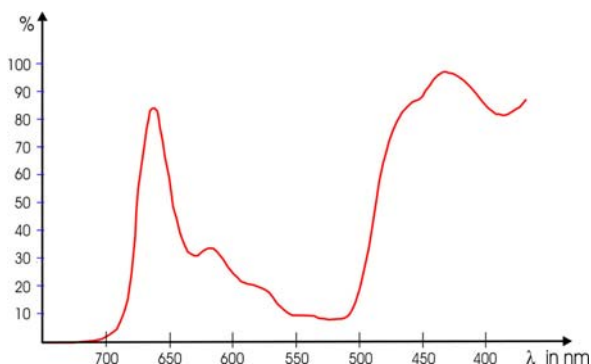


Abb. 8 Absorptionsspektrum und Termschema von Chlorophyll Lit.: Fogg, G.E.: Photosynthese, Klett

