

***Fluoreszenz***  
***und***  
***Phosphorfluoreszenz***

***Wettbewerb Jugend forscht 2004***

***Michael Hohls (18 Jahre)***

*Arbeitsgemeinschaft „Jugend forscht“  
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg*

*Leitung: StD Thomas Biedermann*

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>Huygens'sches Prinzip</b>	<b>3</b>
<b>Beugung und Interferenz am Doppelspalt</b>	<b>4</b>
<b>Beugung und Interferenz am Gitter</b>	<b>5</b>
<b>Konstruktion eines geeigneten Spektrometers</b>	<b>7</b>
<b>Aufbaubeschreibung</b>	<b>8</b>
<b>Funktionsweise</b>	<b>10</b>
<b>Luminenszenz</b>	<b>10</b>
<b>Eigene Untersuchungen</b>	<b>11</b>
<b>Beobachtungen</b>	<b>12</b>
<b>Folgerungen aus den Beobachtungen</b>	<b>13</b>
<b>Danksagung</b>	<b>14</b>
<b>Quellen</b>	<b>14</b>

## Einleitung

Licht, obwohl es ein so selbstverständlicher Bestandteil im alltäglichen Leben ist, bleibt es, selbst für Wissenschaftler heute, ein ungeklärtes Phänomen und somit Gegenstand der Faszination. Es werden neue Methoden erforscht, Licht mit möglichst wenig Energie (Strom) zu erzeugen, aber es gibt keine verifizierte Hypothese, welche in jedem Aspekt recht behält.

Da ich mich zuvor nie thematisch mit der Quanten-Physik beschäftigt habe, fühlte ich mich durch meine Faszination bewegt, Kenntnisse in diesem Bereich zu erlangen. In dem Bestreben Strom zu sparen wird die Eigenschaft der Fluoreszenz bereits weitgehend in der Industrie angewandt.

## Grundlagen

### Huygens'sches Prinzip

Um die Vorgänge am Gitter erklären zu können bedarf man des HUYGENS'schen Prinzips. Danach ist jeder Wellenpunkt Erreger einer Elementarwelle, welche sich kreisförmig von ihrem Ursprungsort ausbreitet. Um dieses Prinzip auf Licht anzuwenden, geht man von der Vorstellung aus, dass Licht eine elektromagnetische Welle ist und somit den gleichen Gesetzen gehorcht.

Eine von einer Quelle ausgehendes Licht kann man sich in hinreichender Entfernung von der Lichtquelle als eine Folge von parallelen geradlinigen Wellenfronten vorstellen. Fällt dieses Licht auf einen Doppelspalt, so werden alle bis auf zwei Elementarwellenzentren absorbiert. Diese erzeugen hinter dem Hindernis zwei sich in allen Richtungen kreisförmig ausbreitende Wellenfronten, die phasengleich sind, wenn die Wellenfront parallel zum Spaltsystem aufgetroffen ist. Dies bezeichnet man als Beugung.

Bei der Ausbreitung im Raum überlagern sich nun diese Wellen (Superposition), wobei zwei Fälle besonders herauszuheben sind:

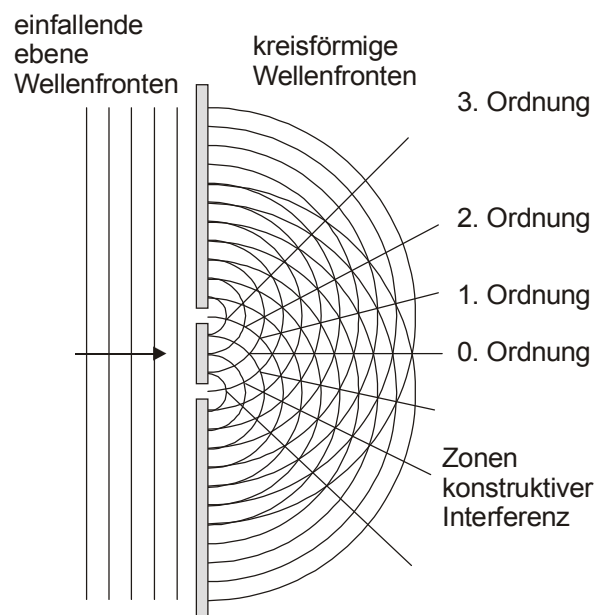


Abb. 1: Huygenssches Prinzip am Doppelspalt

Es trifft ein „Wellenberg“ auf ein „Wellental“

Es treffen zwei „Wellenberge“ bzw. zwei „Wellentäler“ aufeinander

Im ersten Fall löschen sich die beiden Wellen gegenseitig aus, man spricht von destruktiver Überlagerung bzw. destruktiver Interferenz, im zweiten Fall verstärken sie sich gegenseitig: konstruktive Interferenz. Bei Licht heißt das, dass an den Orten konstruktiver Interferenz die Lichtintensität hoch ist (Helligkeit), an Orten destruktiver Interferenz dagegen niedrig (Dunkelheit). Wie man in Abb. 1 sehen kann, bilden sich hinter dem Spalt Linien aus, an denen konstruktive Interferenz auftritt. Ausgehend von der Hauptachse werden diese als Ordnungen bezeichnet und durchnummeriert. Man bezeichnet sie als Interferenzordnungen.

## Beugung und Interferenz am Doppelspalt

Ein optisches Gitter, was ich zur Beugung des Fluoreszenzlichts verwendet habe, enthält Spalte, welche dieselbe Breite und denselben Abstand von einander haben. Das Licht kann nur die jeweiligen Spaltöffnungen passieren, jedoch von dort aus, laut dem Huygens'schem Prinzip gehen wieder viele Elementarwellen in alle Richtungen aus.

Das Prinzip der Funktion eines Gitters lässt sich am einfachsten am Beispiel eines Doppelspalt erläutern, da es sich hier um ein ganz einfaches Gitter mit nur 2 Spalten handelt und die geometrischen Überlegungen recht einfach sind. Vom oberen Spalt gehe ein Lichtstrahl in Richtung des (hier weit entfernten) Schirmes, ebenso vom

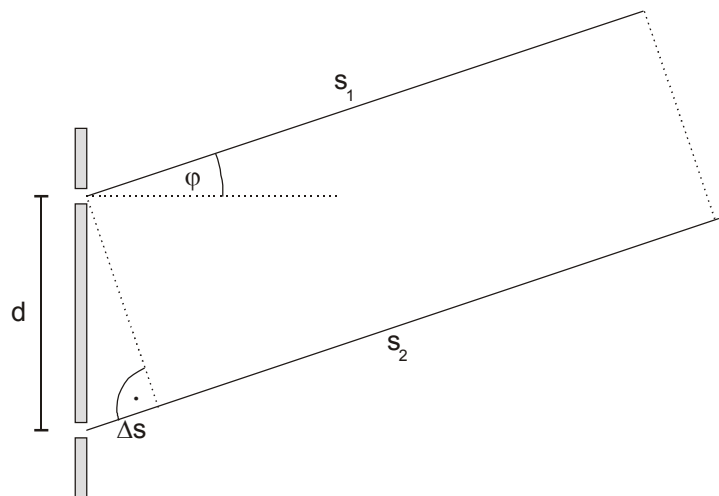


Abb. 2: Parallele Lichtstrahlen beim Doppelspalt

unteren Spalt. Diese beiden Strahlen treffen sich auf dem Schirm und interferieren dabei miteinander. Damit konstruktive Interferenz auftritt, müssen sie phasengleich sein. Das ist genau dann der Fall, wenn der Weglängenunterschied  $\Delta s$  zwischen  $s_1$  und  $s_2$  genau eine Wellenlänge  $\lambda$  oder ein ganzzahliges Vielfaches davon beträgt. Es muss also gelten:

$$\Delta s = (s_2 - s_1) = n \cdot \lambda \quad (1)$$

Wie man aus der Zeichnung nach Abb. 2 entnehmen kann, ist der Winkel  $\varphi$  zwischen der optischen Achse (gestrichelt) und der Richtung des Lichtstrahls  $s_1$  genauso groß wie der

Winkel zwischen der Senkrechten auf  $s_2$ , die durch den oberen Spalt verläuft und dem Abstand  $d$  der beiden Spalte. Damit gilt für die Strecke  $\Delta s$

$$\Delta s = d \cdot \sin(\varphi) \quad (2)$$

Setzt man diese Beziehung in (1) ein, so erhält man

$$\Delta s = d \cdot \sin(\varphi) = n \cdot \lambda \quad (3)$$

Damit kann man den Winkel  $\varphi$  bestimmen, unter dem auf dem Schirm konstruktive Interferenz auftreten wird.

Aus Abb. 3 kann man nun entnehmen, dass man über die Messung von  $a$  und  $\ell$  den

Winkel  $\varphi$  experimentell ermitteln kann, denn es gilt

$$\tan(\varphi) = \frac{a}{\ell} \quad (4)$$

Damit ist es möglich, aus dem Ort konstruktiver Interferenz auf dem Schirm die Wellenlänge des Lichtes zu bestimmen. Auflösen von (3) nach  $\lambda$  ergibt

$$\lambda = \frac{d}{n} \cdot \sin(\varphi) \quad (5)$$

Mit der Umkehrfunktion des Tangens erhält man aus der Streckenmessung den Winkel  $\varphi$  zu

$$\varphi = \arctan\left(\frac{a}{\ell}\right) \quad (6)$$

Beschränkt man sich auf die Beobachtung der 1. Ordnung (die auch am lichtstärksten ist), so erhält man die Wellenlänge mit der Formel

$$\lambda = d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a}{\ell}\right)\right) \quad (7)$$

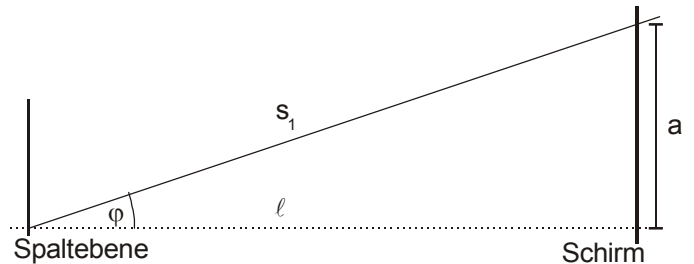


Abb. 3: Interferenz der beiden Lichtstrahlen auf dem Schirm

## Beugung und Interferenz am Gitter

Bei der Beugung am Gitter gilt prinzipiell dasselbe wie beim Spalt unter Berücksichtigung des HUYGENS'schen Prinzips. Der Unterschied besteht lediglich in der Anzahl der Spalten und damit der Anzahl der miteinander interferierenden Lichtstrahlen. Entsprechen die Weglängenunterschiede zweier unmittelbar benachbarter Spalten genau einer Wellenlänge, so tragen nicht nur diese beiden, sondern alle Spalten zur konstruktiven Interferenz unter einem

bestimmten gemeinsamen Winkel bei. Ist der Weglängenunterschied größer oder kleiner als die Wellenlänge, so gibt es irgendwo einen Spalt, dessen Abstand gerade so groß ist, dass er einen Lichtstrahl beiträgt, der zu destruktiver Interferenz führt. Je größer also die Anzahl der Spalte ist, desto schärfer erscheinen die Stellen auf dem Schirm, an denen konstruktive Interferenz auftritt, die Zonen dazwischen sind (fast) dunkel.

Zur Kennzeichnung eines Gitters wird statt des Spaltabstandes in der Regel die Gitterkonstante  $g$  verwendet. Sie gibt an, wie viele Spalte pro Längeneinheit das Gitter enthält. Dafür gilt die Beziehung

$$d = \frac{1}{g} \quad (8)$$

so hat ein Gitter mit  $g = 528 \text{ mm}^{-1}$  einen Spaltabstand  $d = 1,894 \text{ }\mu\text{m}$ . An den Überlegungen zum Ort des Interferenzmaximums ändert sich dadurch nichts.

Das auf dem Schirm sichtbare farbige Spektrum besteht also aus den einzelnen Interferenzmaxima jeder im Licht enthaltenen Wellenlänge. Erzeugt die Lichtquelle nur einzelne Wellenlängen (z.B. Metalldampf lampen), erkennt man nur einzelne farbige Linien (sog. Linienspektrum). Sendet sie dagegen ein Wellenlängengemisch aus (wie z.B. eine Glühlampe), beobachtet man ein kontinuierliches Spektrum ähnlich dem eines Regenboges (obwohl dieser durch Brechung zustande kommt).

Es ist jedoch nicht nur ein einzelnes Spektrum, sondern mehrere mit abnehmender Intensität zu erkennen, da Interferenzmaxima nicht nur bei Weglängenunterschieden von  $\lambda$ , sondern auch bei ganzzahligen Vielfachen von  $\lambda$  entstehen. Man spricht hier von unterschiedlichen Ordnungen. Diese werden vom Ort der optischen Achse, wo wegen fehlender Weglängenunterschiede kein Spektrum entstehen kann, zu den immer schwächer werdenden Spektren nach außen hin nummeriert. Das Maximum auf der optischen Achse erhält die Ordnungszahl 0, die links und rechts davon sich befindenden, aus Symmetriegründen identischen Spektren werden als Spektren 1., 2. ..., n-ter Ordnung bezeichnet.

In meinem Versuchsaufbau habe ich nur das lichtstärkste Spektrum 1. Ordnung beachtet. Da die beiden Spektren 1. Ordnung aus Symmetriegründen identisch sind, genügt die Beobachtung eines der beiden – in meiner Anordnung des rechten.

## Konstruktion eines geeigneten Spektrometers

Die Gitterkonstante des Gitters, welches ich verwendete, ist angegeben mit 13 400 / inch, nach Umrechnung in unser metrisches System also 528 / mm. Damit lässt sich für den Bereich sichtbaren Lichtes ausrechnen, bei welchen Winkeln das Spektrum 1. Ordnung zu erwarten ist.

Sichtbares Licht enthält Wellenlängen im Bereich zwischen 400 und 800 nm. Setzt man diese Grenzwerte

Aus Gleichung (5) erhält man durch Auflösen

$$\sin(\varphi) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

und somit für  $\varphi$  den Ausdruck

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{n \cdot \lambda}{d}\right)$$

Für das Maximum 1. Ordnung ist  $n = 1$ , mit der oben angegebenen Gitterkonstante erhält man

$$\varphi_{\text{blau}} = \arcsin\left(\frac{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{1,894 \cdot 10^{-6} \text{ m}}\right) = 12,2^\circ$$

also

$$\varphi_{\text{rot}} = \arcsin\left(\frac{800 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{1,894 \cdot 10^{-6} \text{ m}}\right) = 25,0^\circ$$

In meiner Anordnung beträgt der Abstand zwischen Gitter und Schirm 30 cm, damit muss der Schirm also mindestens 14 cm breit sein, damit das Spektrum vollständig darauf abgebildet werden kann.

Üblicherweise wird das Spektrum auf einen Schirm projiziert. Dabei wird das Licht der Quelle über einer Linse auf einen Spalt fokussiert, der seinerseits über eine zweite Linse auf einen Schirm abgebildet wird. In den Strahlengang zwischen Linse und Schirm wird dicht an der Linse das Gitter platziert, weil dort die Wellenfronten annähernd parallel verlaufen und der Abstand zwischen Gitter und Schirm möglichst groß ist (siehe Abb. 4).

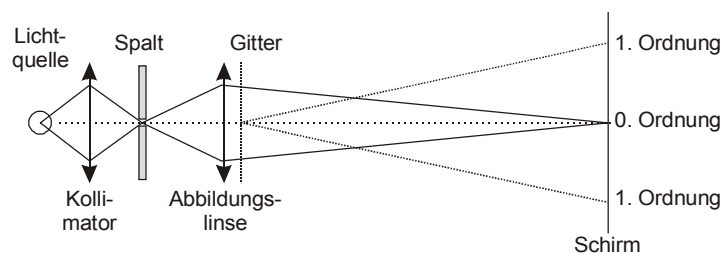


Abb. 4: Projektion des Spektrums auf einen Schirm

Da die Objekte, die ich untersuchen will, recht lichtschwach sind, ist diese Anordnung des Spektrums hier weniger sinnvoll. Statt dessen wird eine Methode der virtuellen Abbildung benutzt, wobei die Augenlinse die Rolle der Abbildungslinse und die Netzhaut die des Schirms übernimmt. Damit findet die Interferenz direkt auf der Netzhaut statt und man kann auch recht lichtschwache Spektren

noch gut beobachten. Da das Auge auf den Spalt fokussiert, erscheint das Spektrum scheinbar auf einem Schirm, der in der Spaltebene angebracht wird. Den zugehörigen Strahlengang zeigt Abb. 5.

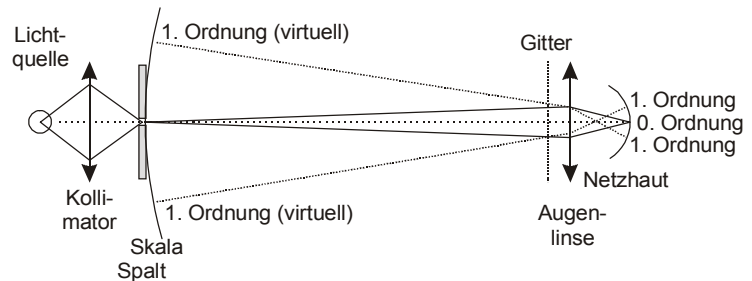


Abb. 5: Virtuelle Beobachtung des Spektrums

## Aufbaubeschreibung

Der Aufbau meines Versuchsgerätes ist recht simpel. Eine Holzplatte (1.) dient als Träger der gesamten Apparatur. Hierauf befestigte ich in einer Ecke eine Schiene (2.), worauf ich dann den Halter (3.) für das Gitter installierte. Die Funktionsweise des Halters basiert auf Druck. Die Schrauben (a.) mit ihren Muttern pressen jeweils die beiden schmalen Streifenscheiben (b.) gegen den Rahmen. Das Gitter wird zwischen diese Streifenscheiben und dem Rahmen eingeklemmt. Dabei muss man auf die richtige Ausrichtung der Spalte achten, damit ein horizontales Spektrum erscheint.

Etwa auf selber Höhe hinter dem Gitter ist nach Berechnung des benötigten Abstandes über die Bogenlänge für einen Maximalwinkel von  $25^\circ$  der Schirm (5.) montiert, auf dem später die virtuelle Abbildung des Spektrums stattfindet und auf dem eine entsprechend berechnete Skala zum Ablesen der Wellenlängen angebracht ist. Links neben dem Schirm (5.) ist eine justierbare und in der Breite einstellbare Blende (4.) befestigt, mit der ich eine möglichst kleine Spaltöffnung einstellen kann.

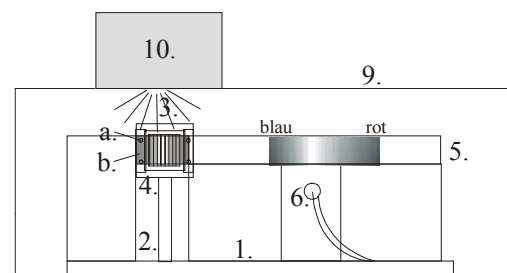


Abb. 6: Frontansicht des Spektrometers

Da die Versuche unter Ausschluss von Fremdlicht stattfinden müssen, was ich durch die Pappbox (12.) über der Apparatur und einigen Blenden (in der Zeichnung habe ich auf diese verzichtet) realisierte, war es zum Ablesen der Skala notwendig, eine regelbare Beleuchtung (6.) für die Skala einzubauen. Somit kann man je nach Bedarf das Spektrum betrachten oder



die Skala ablesen. Zur Beleuchtung verwende ich eine Glühlampe mit 12V und 4 W, die in einer Lampenfassung steckt und mit einer regelbaren Spannungsquelle verbunden ist. Zur Positionierung der Glühlampe verwendete ich ein entsprechend zurecht geschnittenes Stück Holzbrett, durch welches ich auf geeigneter Höhe ein Loch als Halter für die Lampenfassung bohrte. Danach schraubte ich das Stück Holzbrett an eine geeignete Stelle (etwa Mitte des Bereiches des sichtbaren Spektrums gemäß der dafür erstellten Skala) auf dem Träger (1.) fest.

Hinter dem Lichtspalt ist die Positionierungsapparatur für die Versuchsobjekte angeordnet, mit der ich jedes Objekt entsprechend auf die richtige Höhe, Entfernung und Ausrichtung (siehe 8. bzw. nachfolg. Erklärung zur Funktionsweise) auf den Spalt bringen kann.

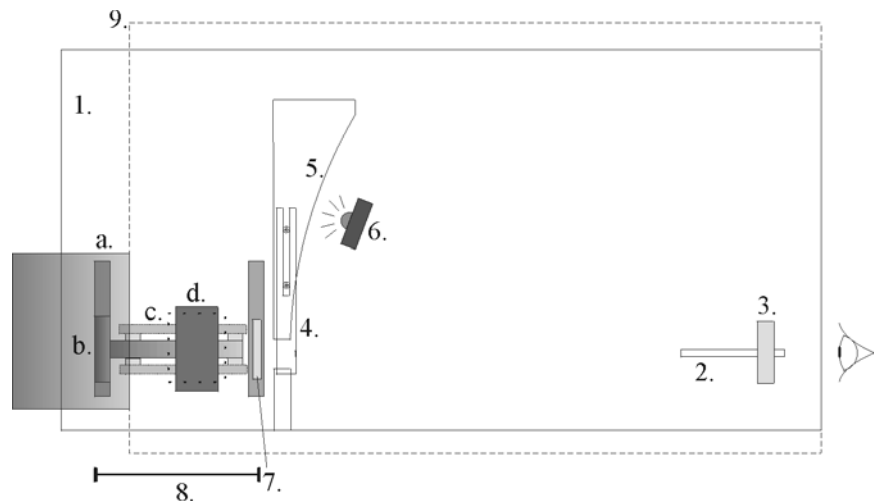


Abb. 7: Ansicht des Spektrometers von oben

Dazu benutzte ich Fischertechnik, um schnell ein funktionierendes System betriebsbereit zu haben, welches nach Bedarf einfach verändert werden kann und ebenso einfach zu bedienen ist. Der Aufbau und die Funktionsweise sind unkompliziert: Es gibt eine Hauptschiene (8.a.), auf dem das ganze System ruht und sich seitlich verschieben lässt. Auf dieser Schiene sitzt ein Turm (8.b.), an dem die Höhenverstellung vorgenommen werden kann. An der Vorderseite des Turms ist eine Schiene, bestehend aus zwei Stangen (8.c.), angebracht, auf der die Trägerfläche (8.d.) für das zu untersuchende Objekt entsprechend verstellbar angelegt ist. Die Trägerfläche selbst ist ebenfalls justierbar angeordnet, so dass dort außerdem noch ein Winkel eingestellt werden kann, unter dem das darauf ruhende Objekt zum Spalt bzw. zur Einfallsrichtung des anregenden Lichts stehen soll. Somit kann das Ergebnis optimiert werden.

Die UV-Quellen (10.) positionierte ich über die von mir dafür vorgesehene Öffnung, welche ich oben in der Pappbox (9.) ausgeschnitten habe (siehe Abb. xx).

Da ich bei mehreren Versuchen nicht definieren konnte, ob ein Linienspektrum oder ein kontinuierliches Spektrum vorlag, installierte ich eine Linse (7.) zwischen Objekt und Spalt,

um das ohnehin schwache Licht der Fluoreszenz auf den Spalt zu bündeln und damit ein lichtstärkeres Spektrum zu erreichen. Die Linse ist in einem verstellbaren Halter montiert, welcher sich außerdem noch leicht wegschwenken lässt, so dass ein Vergleich zwischen dem Spektrum mit und ohne Linse bequem machbar ist.

## **Funktionsweise**

Das Objekt wird auf die Trägerfläche (siehe 8.d.) abgelegt, welches sich unter der Öffnung befindet. Über der Öffnung ist die UV-Quelle angebracht. Das UV-Licht trifft (wie bereits beschrieben) auf die Elektronen von Atomen an der Oberfläche des Objektes. Die Energie, eines Photons wird auf ein Elektron übertragen, worauf dieses in ein höheres Energieniveau wechselt. Nach kurzer Zeit ( $< 10^{-8}$  s) kehrt es wieder zurück, wobei es aber nicht direkt zu seinem Ausgangsniveau, sondern einem darüber liegenden zurückfällt. Dabei emittiert es ein Photon mit einer geringeren Frequenz als es das anregende Photon besaß. Bei der Phosphorfluoreszenz verweilt das Elektron lediglich deutlich länger als  $10^{-8}$  s im angeregten Energieniveau.

Bei der Fluoreszenz wird das Licht in alle Richtungen ausgestrahlt. Die Linse (7.) bündelt das Streulicht auf den Spalt der Blende. Das Licht tritt durch den Spalt an der Blende (4.) hindurch und wird etwa in 30 cm Entfernung durch die Spalte im Gitter gebeugt. Dann fällt das Licht ins Auge des Betrachters. Im Auge werden die Lichtstrahlen durch die Augenlinse fokussiert und treffen auf die Netzhaut. Dort entsteht ein reelles Bild. Je nach Wellenlänge der jeweiligen Lichtstrahlen erscheint nun das 1. Interferenzmaximum unterschiedlich weit vom Spalt entfernt.

## **Lumineszenz**

Fluoreszenz und Phosphoreszenz fallen unter die Rubrik Lumineszenz.

Bei der Fluoreszenz treffen Photonen auf die Atome der fluoreszierenden Substanz. Dabei treffen manche Photonen auf die um die Atomkerne kreisenden Elektronen und geben ihre Energie an die Elektronen ab. Diese absorbieren die Photonen und wechseln dabei in ein höheres Energieniveau, da sie Energie aufgenommen haben. Kurz darauf geben sie aber wieder die Energie in Form eines Photons ab und wechseln dabei wieder in ein niedrigeres Energieniveau. Diese Emission von Photonen, welche auftritt, wenn Elektronen in niedrigere

Energieniveaus zurückgehen, wird als Fluoreszenz bezeichnet. Der Unterschied zwischen Phosphorfluoreszenz oder Phosphoreszenz und Fluoreszenz besteht in der Dauer des Phänomens. Bei der Phosphorfluoreszenz ist ein längeres Nachleuchten zu beobachten, da hier die Elektronen sehr viel länger auf der angeregten Bahn verweilen. Dies kann Minuten andauern, während bei Fluoreszenz der Prozess in wenigen Nanosekunden abgeschlossen ist.

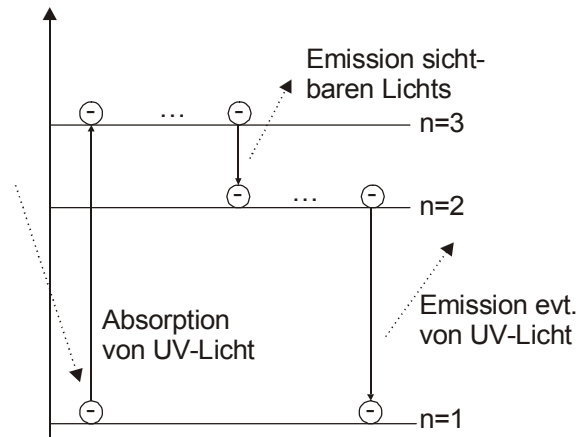
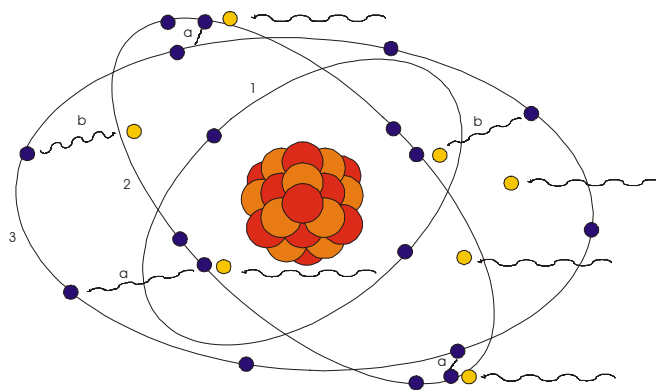


Abb. 8: Schematische Darstellung von Absorption und Emission bei Fluoreszenz

Die Frequenz des emittierten Photons ist immer geringer als die des absorbierten (Regel von Stokes). Eine Ausnahme bilden Atome, die sich anfangs nicht im Grundzustand befinden, sondern deren Elektronen sich bereits in einem angeregten Niveau befanden.

Bei jedem Rückgang eines Elektrons in ein darunter liegendes Energieniveau wird ein Photon verschiedener, aber genau definierter Frequenz emittiert.



- |                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 1. = 1. Energieniveau | a. = Photonabsorption             |
| 2. = 2. Energieniveau | b. = Photonemission (Fluoreszenz) |
| 3. = 3. Energieniveau |                                   |
| ● = Elektron          | ● = Neutron                       |
| ● = Photon            | ● = Proton                        |

Abb. 9: Darstellung des Entstehens von Fluoreszenzlicht

## Eigene Untersuchungen

Mit der oben beschriebenen Apparatur habe ich einige Spektren beobachten können. Dazu standen mir drei verschiedene Lichtquellen zur Verfügung:

UV-Löschlampe für EPROMS (4 W)

UV-B-Brenner (275 – 315 nm, 300 W)

UV-C-Brenner (238 – 275 nm, 300W)

Als Untersuchungsobjekte habe ich zunächst Alltags-Materialien verwendet, von denen ich annehme, dass sie fluoreszierende Substanzen enthalten:

- Beschichtung aus einer Leuchtstoffröhre
- Weißes Papier
- Baumwollstoff
  - Natur
  - Gebleicht
  - Mit zwei verschiedenen Waschmitteln gewaschen

Zunächst habe ich die Spektrallinien der UV-Löschlampe ohne weitere Substanzen ausgemessen. Auf dem Schirm konnte ich folgende Linien beobachten (in Klammern: Literaturwert [2])

- 405 nm (404,6 nm)
- 435 nm (435,8 nm)
- 525 nm ( - )
- 550 nm (546,1 nm)
- 580 nm (579 nm)

Bis auf die Linie bei 525 nm stimmen alle anderen recht gut mit den Literaturwerten überein, was für die Ablesegenauigkeit und die Skaleneichung spricht. Ich vermute, dass die Linie bei 525 nm von einem weiteren Material (Metalldampf) in der Entladungslampe herrührt, das ich aber nicht genauer identifizieren kann.

Das direkte Licht der UV-Hochleistungsbrenner wollte ich aus Sicherheitsgründen nicht auf diese Weise untersuchen, zumal ich die angegebenen kurzwelligen Linien ohnehin nicht hätte sehen können.

## Beobachtungen

Als erstes untersuchte ich die Fluoreszenzeigenschaften von Papier. Dort war das Spektrum besonders deutlich zu sehen und wies selbst unterhalb der kürzesten noch sichtbaren Quecksilberlinie einen spektralen Anteil auf. Das gesamte sichtbare Spektrum war nahezu kontinuierlich und erstreckte sich von ca. 400 nm (blau-violett) bis zu ca. 580 nm (gelb-orange).

Als nächstes Material untersuchte ich Baumwollstoff. Im unbehandelten Zustand war das gleiche Spektrum wie beim Papier zu erkennen, jedoch war die Intensität bei weitem nicht so hoch. Der gebleichte Baumwollstoff zeigte keinen wesentlichen Unterschied zum unbehandelten Stoff. Der mit dem Waschmittel „Tandil“ gewaschene Stoff war das Spektrum wesentlich kleiner und erstreckte sich über einen Bereich von 425 nm bis 550 nm. Der mit

„Weiss und frisch“ gewaschene Stoff zeigte dagegen keinen Unterschied zum unbehandelten Baumwollstoff. Bislang hatte ich die UV-Löschlampe als Lichtquelle benutzt. Bei Verwendung der Hochleistungsbrenner erhöhte sich erwartungsgemäß lediglich die Intensität der Spektren, der Wellenlängenbereich blieb jedoch im Wesentlichen unverändert.

Das Spektrum des Fluoreszenzfarbstoffs aus der Leuchtstoffröhre (beobachtet mit dem UV-B-Hochleistungsbrenner) erstreckte sich im Bereich von 400 nm bis ca. 700 nm, also bis in den Bereich roten Lichtes hinein.

Bei allen Spektren war auch immer das ursprüngliche Linienspektrum zu sehen, was darauf zurückzuführen ist, dass neben der Fluoreszenz auch eine Streuung des Lichtes aus der Quelle erfolgt, bei dem keine Wellenlängenänderung auftritt. Die unterschiedliche Ausprägung dieser Linien bei den verschiedenen Materialien ist auf deren ggf. wellenlängenabhängiges Reflexionsvermögen zurückzuführen.

### **Folgerungen aus den Beobachtungen**

Bei dem Papier handelte es sich um „weißes“ Papier, das durch eine Bleiche seinen weißen Farbton bekommt. Unbehandeltes Papier dagegen sieht eher grau aus (z.B. „Umweltschutzpapier“). Das Bleichmittel ruft die beobachtete Fluoreszenz hervor. Da der Wellenlängenbereich sich vorwiegend auf den blau-grünen Bereich erstreckt, wird bei Beleuchtung mit „weißem“ Licht der Blauanteil zusätzlich verstärkt, was es „weißer“ aussehen lässt. Das kann man besonders gut erkennen, wenn man die ganze Fläche direkt mit dem UV-Strahler beleuchtet (wie die „Schwarzlichtlampen“ in Diskotheken).

Der „unbehandelte“ Baumwollstoff scheint beim Herstellungsprozess offensichtlich bereits gebleicht worden zu sein, sodass eine weitere Bleiche mit einem entsprechenden Mittel keinen nennenswerten Unterschied mehr erzielen konnte. Das Waschmittel „Tandil“ scheint die Wirkung dieser Bleiche eher aufzuheben, evt. wird das Bleichmittel dabei herausgewaschen (die Wäsche „vergraut“). Bei dem anderen Waschmittel ist wahrscheinlich ein Bleichmittel enthalten, was diesen Effekt wieder aufhebt.

Der Farbstoff aus der Leuchtstoffröhre erzeugt das breiteste Spektrum von allen. Da das Licht von Leuchtstoffröhren einen tageslicht-ähnlichen Eindruck hervorrufen soll, dürfen deshalb auch die Rot-Anteile nicht fehlen. Trotzdem erscheint das Licht einer solchen Röhre leicht „kalt“, weil der wesentliche Teil immer noch im blau-grünen Bereich des Spektrums zu finden ist. In der Leuchtstoffröhre wird ebenfalls eine Quecksilberdampfentladung verwendet, um das dazu notwendige energiereiche UV-Licht zu erzeugen.

Das Auflösungsvermögen meines Spektrometers reicht leider nicht aus, um bei den beobachteten Spektren der Farbstoffe eindeutig sagen zu können, ob es sich um kontinuierliche oder um Linienspektren handelt. Damit ist eine weitergehende Analyse der Inhaltsstoffe nicht möglich.

## **Danksagung**

Mein ganzer Dank gilt StD Thomas Biedermann, der sich viel Zeit und Mühe genommen hat, mir alles zu erklären und mir in jedem Schritt zur Seite stand. Ohne ihn wäre ich nicht in der Lage gewesen, an diesem Wettbewerb teilzunehmen, gerade weil die Zeit drängte und ich keinerlei Erfahrungen in diesem Bereich habe, weil dieses Projekt mein erstes ist.

## **Quellen**

- [1] J. Grehn e.a.: Metzler Physik, 3. Auflage, Schroedel-Verlag, Hannover 1998
- [2] J. Grehn e.a.: Metzler Physik, 2. Auflage, Schroedel-Verlag, Hannover 1988
- [3] Gerthsen, Vogel: Physik, 17. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1993
- [4] Eyvind H. Wichmann: Quanten-Physik, Berkeley Physik Kurs 4, 1. Auflage, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1975
- [5] Schülerduden Physik, Mannheim 2001
- [6] H. Breuer: dtv-Atlas Physik, Band 1, 6.Auflage, München, Mai 2000
- [7] H. Breuer: dtv-Atlas Physik, Band 2, 5.Auflage, München, Mai 2000
- [8] Webseiten:  
<http://www.physik.tu-uenchen.de/studium/betrieb/praktika/anfaenger/anleitungen/BUB2.PDF>  
<http://www.physik.uni-regensburg.de/studium/praktika/b1/Spektroskopie.pdf>  
<http://www.physik.uni-regensburg.de/studium/praktika/chem/Lichtbeugung.pdf>  
<http://www.unibas.ch/phys-ap/vers57/vers57.htm>