

Das Abflussrohr-Spektroskop

Dr. Bernd Loibl

Kunststoffrohre, wie sie in der Haustechnik Verwendung finden, sind preiswert und wegen ihrer Stabilität und Formenvielfalt besonders gut für optische Experimente geeignet. Unter Verwendung von Kompakt-Disks und Gitterfolien lassen sich damit einfache, stabile und preiswerte Reflexions- und Transmissionsspektroskope herstellen.

Spektroskope zählen zu den wichtigsten Messinstrumenten der Astronomen. Spektren enthalten Informationen über das Vorkommen chemischer Elemente und über Radialgeschwindigkeiten interessanter Objekte. Moderne Spektroskope bestehen aus zahlreichen optoelektronischen Komponenten und haben respekteinflößende Abmessungen und Gewichte. Die Aussicht einmal selbst ein Spektrum mit eigenen Augen zu erleben scheint daher zunächst wenig realistisch. Und dennoch zeigen zahlreiche Versuche findiger Experimentatoren, dass zumindest beim Tageslicht oder beim Betrachten von Leuchtstoffröhren schon mit geringem Aufwand zahlreiche Spektrallinien zu bewundern sind.



„Explosionsbild“ beider Spektroskopvarianten. Das Spaltmodul bestehend aus Muffenstopfen, HT-Rohr mit Einsteckmuffe und Sammellinse kann für beide Varianten durch Einstecken genutzt werden.

Hier werden nun zwei weitere Varianten von einfachen Handspektroskopen unter Verwendung von HT-Rohren beschrieben (HT steht dabei für „Hochtemperatur“ und soll die thermische Formstabilität unterstreichen). Diese Rohre bestehen aus Polypropylen und sind Massenartikel für die Hausentwässerung. Sie werden in jedem Baumarkt in zahlreichen Formen angeboten und kosten weniger als 1 Euro pro Stück. Benötigt werden: 1 Muffenstopfen, 1 Rohr mit einer Steckmuffe, 1 Bogen mit 30°-Winkel und 1 Abzweig mit 67°-Winkel. Der Rohrdurchmesser sollte in Abstimmung auf die zu verwendende Sammellinse 40mm betragen.

Vom Astromedia-Verlag wurde eine Acrylglaslinse mit 34,5mm Durchmesser und 106mm Brennweite sowie das Transmissionsgitter mit 1000 Linien pro Millimeter als Folie bezogen. Ein zurechtgeschnittenes Teil einer CD diente als Reflexionsgitter. Als Werkzeuge werden benötigt: ein Alleskleber, Tesafilm, eine kleine Handsäge und eine stabile Haushaltschere. Präzisionsarbeit ist nicht gefordert, ein arbeiten nach Augenmaß ist völlig ausreichend.

Das Spaltmodul

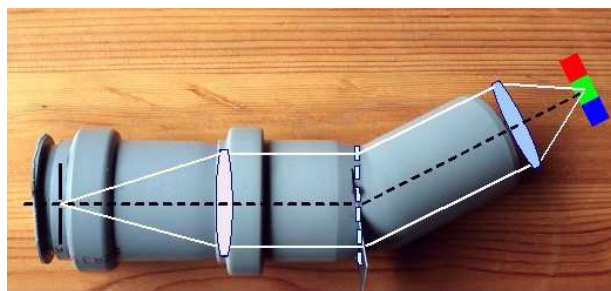
Beiden Varianten, dem Transmissions- und dem Reflexionsspektroskop, liegt das gleiche physikalische Prinzip zugrunde (siehe Anhang). Hinter einem engen Spalt am Eingang des Gerätes befindet sich eine Sammellinse, die das Licht parallel auf das Beugungsgitter auftreffen lässt. Diese Einheit ist für beide Varianten identisch und braucht lediglich umgesteckt zu werden. Der Spalt wird durch zwei neue Rasierklingen realisiert, die auf einen Muffenstopfen aufgeklebt werden, in den zuvor ein ca. 10mm x 30mm großes Rechteck ausgeschnitten wurde. Die Spaltgröße sollte einerseits nicht zu klein sein, damit ausreichend Licht hindurch kommt, andererseits aber auch nicht zu groß sein, um die Qualität des Spektrums nicht zu sehr herab zu setzen. Während der Kleber trocknet, lassen sich die Rasierklingen unter Zuhilfenahme einer Lupe durch Verschieben parallel ausrichten.



Der Eingangsspalt wird durch zwei Rasierklingen realisiert, die auf eine Aussparung des Muffenstopfens geklebt sind. Schwarzes Tape verhindert störenden Lichteinfall. Die Acrylglaslinse wird mitsamt Träger in das Muffenrohr geschoben und bildet den Spalt ins optisch Unendliche ab.

Spalts von der Linse gleich der Brennweite von 106mm beträgt. Die Fokusslage ist unkritisch und lässt sich durch Verschieben des Stopfens variieren.

Es lohnt sich, die in den Muffennuten sitzenden Gummidichtungen während der Erprobungsphase heraus zu nehmen, da die ineinander gesteckten Rohre sonst nur äußerst schwer zu verschieben sind. Außerdem empfiehlt es sich, die Rohrwandwände zu schwärzen, um Streulicht durch innere Reflexionen zu reduzieren.



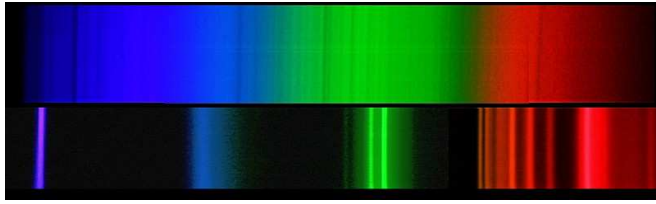
Zur Beobachtung des Spektrums in 1. Ordnung erweist sich ein HT-Rohrbogen von 30° als ideal. Das Spektrum kann bequem mit auf Unendlich eingestelltem Auge oder Kamera beobachtet werden.

Das 150mm lange Muffenrohr wird mit Hilfe einer kleinen Handsäge auf eine Länge von 90mm gekürzt. Vom 60mm langen Rest wird ein weiteres rund 20mm langes Stück abgesägt, welches als Träger der Sammellinse dient. Aus diesem Rohrstück wird mit der Säge ein ca. 5mm breiter Spalt in Längsrichtung ausgesägt. Leicht zusammengedrückt reduziert sich der Außendurchmesser auf 35mm und passt nun genau in das der Muffe gegenüber liegende Rohrende hinein. Auf den Rand wird anschließend die 34,5mm große Linse geklebt. Nach dem Trocknen wird das Rohr mit Linse so weit in das Muffenrohr geschoben, bis es bündig abschließt. In die Muffe wird dann der Muffenstopfen so weit hinein gesteckt, dass der Abstand des

Das Transmissionsspektroskop

Um Spektren in Transmission zu beobachten wurde die schon erwähnte Folie verwendet, deren Gitterkonstante 1000 Nanometer (nm) beträgt. Mit Hilfe der im Anhang erläuterten Formel ergeben sich in 1. Ordnung ($m=1$) für die Wellenlängen 400nm (Blau), 550nm (Grün) und 700nm (Rot) die Beugungswinkel 21°, 30° und 39°. Das passt genau zu einem HT-Bogen mit 30°-Winkel.

In Höhe des Abknickpunkts wird senkrecht zur Richtung des Eingangsstrahls der HT-Bogen halb durchgesägt. Ein Stück Papier wird als Schablone so weit durch Probieren zu- rechtgeschnitten, bis es bündig ins Rohr passt. Zwischen zwei Pappen, die die Größe der



Zwei Spektren, die mit dem Transmissionsgitter erzeugt wurden. Oben: Absorptionslinien im Tageslicht. Unten: Quecksilberlinien im Licht der Leuchtstofflampe (Energiesparlampe).

Schablone haben und in die mittig ein Loch von etwa 20mm Durchmesser geschnitten wurde, wird ein Stück der Gitterfolie eingeklebt und in den Spalt des Bogenstücks geschoben. Dabei ist darauf zu achten, dass die Gitterlinien parallel zur Knickebene des HT-Bogens verlaufen. Die Richtung der mit bloßem Auge nicht sichtbaren Gitterlinien kann mit einer beliebigen Lichtquelle festgestellt

werden. Durch Drehen der direkt vor das Auge gehaltenen Folie sieht man, wie sich in einem Winkelabstand von rund 30° links und rechts zur Lichtquelle die beiden Spektren 1.Ordnung mitdrehen. Bei horizontaler Lage der beiden Spektren verlaufen die Gitterlinien dann senkrecht. Durch Drehen des Muffenstopfens wird schließlich der Spalt parallel zum Gitter eingestellt, so dass die Absorptionslinien beim Blick durch das Spektroskop senkrecht zur Richtung des Spektrums stehen.

Das Tageslichtspektrum ist optimal zu beobachten, wenn das Spektroskop gegen den blauen Himmel oder gegen eine große weiße Wolke gehalten wird, keinesfalls aber direkt in Richtung Sonne, da trotz engem Spalt Gefahr für das Auge besteht. Durch die Sammellinse



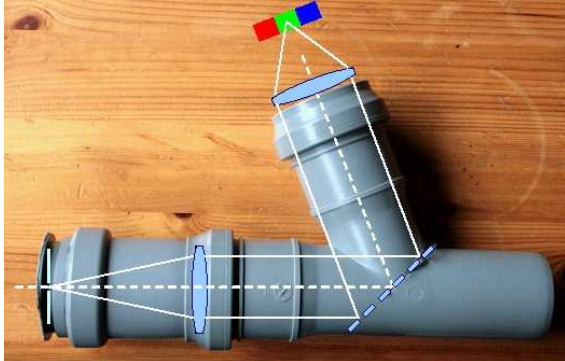
Durch das vor das Auge/Kameraobjektiv gehaltene Gitter sieht man die Spektren in 1.Ordnung in etwa 30° Winkelabstand von der Lichtquelle. Oben: Linienspektrum einer Energiesparlampe; Unten: Kontinuumsspektrum einer Kerzenflamme.

wird der Eingangsspalt optisch ins „Unendliche“ abgebildet“, so dass das Auge oder ein Kameraobjektiv das Spektrum bequem fokussieren kann. Beim Fotografieren hat sich als Lichtquelle eine großflächige gleichmäßig graue Wolke als geeignet erwiesen. Die elektronische Verstärkung der Kamera (ASA-Wert) wird auf das Minimum eingestellt und die Blende manuell um 2 Stufen erniedrigt, da sonst schon durch leichte Überbelichtung die Linien überflutet werden. Die Linien sind aber so prägnant, dass auch der Autofokus einfacher Kameras zuverlässig einrastet.

Das Reflexionsspektroskop

Beim Reflexionsspektroskop wird als beugendes Gitter eine Compact Disc (CD) verwendet, deren Spuren spiralförmig mit einem Abstand von 1600nm von Innen nach Außen laufen. Reflektiert wird das gebeugte Spaltlicht an der rückwärtig aufgebrachten Folie. Obwohl die Gitterstruktur der CDs nicht optimal auf optische Experimente ausgelegt ist, lassen sich dennoch damit zahlreiche Linien im Tageslichtspektrum erkennen.

Träger des Reflexionsgitters ist ein HT-Rohr-Abzweig mit einem Winkel von $67,5^\circ$. Entsprechend der Formel im Anhang betragen für die drei Farben Rot(700nm), Grün(550nm) und Blau(400nm) die gebeugten Winkel in 1.Ordnung 61° , 66° und 72° , wenn der Einfallswinkel zur Gitternormalen 45° beträgt.



Mit einem HT-Rohrabzweig von $67,5^\circ$ lässt sich das Spektrum 1.Ordnung eines Sektors einer CD beobachten, das unter einem Winkel von 45° in das Muffenrohr eingeschoben wurde.

In Höhe der Abknickebene wird mit der Handsäge das Rohr unter einem Winkel von 45° halb durchgesägt, wobei die Einhaltung des 45° -Winkel unkritisch ist. Wieder wird mit Hilfe einer Pappe durch mehrfaches Probieren eine Schablone angefertigt, die das Rohr komplett ausfüllt.

Auf eine neue oder beschriebene CD wird die Schablone aufgelegt und mit Filzstift die Umrisslinie auf die CD gezeichnet. Auf die Linie wird Tesafilm geklebt und dann erst mit einer stabilen Schere geschnitten. Damit wird verhindert, dass die Folie beim Schneiden reißt und unkontrolliert abblättert.

Nach Einschieben des Spaltmoduls in die Muffe des Abzweigs ist das Spektroskop komplett. Die gebeugten Spaltbilder und damit das Spektrum kommen aus dem optisch „Unendlichen“ und sind bequem mit dem Auge oder der Kamera zu beobachten.

Auf meiner Website www.bernd-loibl.de zeigen mehrere Videoclips den Zusammenbau und die Funktionsweise der Spektroskope.

Anhang *Allgemeines zur Beugung an Gittern*

1. Das Transmissionsgitter

Treffen Lichtwellen auf Hindernisse mit periodischen Strukturen, den so genannten Gittern, so treten Beugungseffekte auf. Dabei können die Wellen reflektiert oder durchgelassen werden. Wenn die Gitterabstände in der Größenordnung der Wellenlänge liegen, sind die Auswirkungen besonders gut zu beobachten.

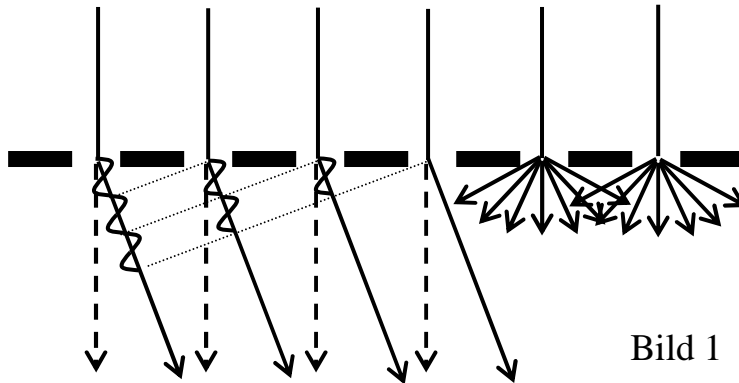


Bild 1

Am Beispiel des Transmissionsgitters (Bild 1) ist bei den beiden rechten Spaltöffnungen zu sehen, dass das Licht in alle Richtungen gebeugt wird. Aber nur in ausgewählten Richtungen laufen die Lichtwellen der einzelnen Spalte so, dass sie sich verstärkend überlagern. In dieser Richtung beobachtet man ein Helligkeitsmaximum.

Die Richtungen dieser Maxima lassen sich aus dem rechtwinkligen Dreieck ABC im Bild 2 entnehmen. Es gilt $\sin \alpha_1 = AC / AB$. Ein weiteres Helligkeitsmaximum wird aber auch in Richtung α_2 beobachtet. Aus dem Dreieck ABD entnimmt man die Relation $\sin \alpha_2 = AD / AB$, mit $AD = 2AC$.

Ganz allgemein gilt also $\sin \alpha = m * \lambda / g$, wobei AC die Wellenlänge λ , AB die Gitterkonstante g und m eine ganze Zahl ist.

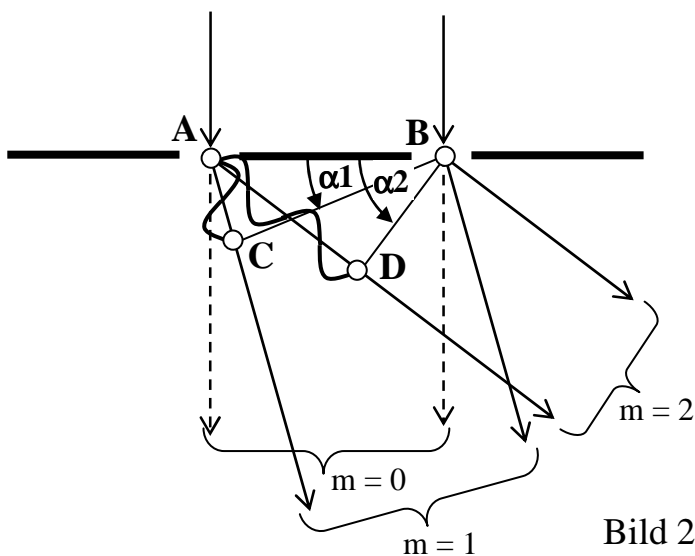


Bild 2

Fts. Anhang *Allgemeines zur Beugung an Gittern*

1. Das Reflexionsgitter

In Bild 3 fallen zwei benachbarte Wellenzüge 1 und 2 unter dem Winkel α zur Gitternormalen ein. Dabei legt die Welle 2 gegenüber der Welle 1 den zusätzlichen Weg CB zurück, bevor diese auf das Gitter trifft. Nach Beugung am Gitter muss nun Welle 1 einen zusätzlichen Weg der Größe AD zurücklegen. Der Gangunterschied benachbarter Wellen beträgt also $CB + AD$. Ist diese Strecke ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ so ist in Richtung β zur Gitternormalen ein Helligkeitsmaximum zu erwarten. Wie beim Transmissionsgitter lässt sich der Gangunterschied aus den beiden rechtwinkligen Dreiecken bestimmen zu $CB = g * \sin \alpha$ und $AD = g * \sin \beta$. Für die Richtungen β der Helligkeitsmaxima gilt also

$$g * (\sin \alpha + \sin \beta) = m * \lambda$$

