

**W I S** wissenschaft  
in die schulen!

# Spektroskope aus dem Baumarkt

*Kunststoffrohre, wie sie in der Haustechnik Verwendung finden, eignen sich wegen ihrer Stabilität und Formenvielfalt besonders gut für optische Experimente. Nimmt man noch eine CD und etwas Gitterfolie hinzu, so lassen sich damit einfache, robuste Spektroskope preiswert herstellen.*

Von Bernd Loibl

**S**pektroskope zählen zu den wichtigsten Messinstrumenten der Astronomen. Spektren von Sternen, Planeten, kosmischen Nebeln und Galaxien enthalten wertvolle Informationen über das Vorkommen chemischer Elemente und über die Radialgeschwindigkeiten dieser Objekte. Moderne Spektroskope bestehen aus zahlreichen optoelektronischen Komponenten und haben Respekt einflößende Abmessungen und Gewichte. Die Aussicht, einmal selbst ein Spektrum mit eigenen Augen zu erleben, mag daher zunächst wenig realistisch erscheinen. Und dennoch zeigen zahlreiche Versuche findiger Experimentatoren, dass sich schon mit geringem Materialaufwand zumindest beim Tageslicht oder beim Betrachten von Leuchtstoffröhren zahlreiche Spektrallinien mit dem Auge bewundern lassen (siehe SuW 11/2003, S. 74, SuW 4/2010, S. 88 und SuW 7/2011, S. 78).

Hier stelle ich nun zwei weitere Varianten von einfachen Handspektroskopen vor: eines, welches das Licht mit einem Transmissionsgitter in seine Farben zerlegt, und ein weiteres, das hierfür Reflexionsgitter nutzt. Beide Geräte knüpfen an den Teleskopbau mit HT-Rohren an (siehe SuW, 6/2008, S. 82). Die Abkürzung »HT« steht dabei für »Hochtemperatur« und soll

die thermische Formstabilität des Materials unterstreichen. Die Rohre bestehen aus Polypropylen und sind Massenartikel für Hausabflüsse. Sie werden in jedem Baumarkt in zahlreichen Formen angeboten. Für das Bastelprojekt benötigen Sie einen Muffenstopfen, ein Rohr mit einer Steckmuffe, einen Bogen mit 30-Grad-Winkel und einen Abzweig mit 67-Grad-Winkel (siehe Kasten rechts).

Vom Astromedia-Verlag bezog ich eine Acrylglaslinse mit 34,5 Millimeter Durchmesser und 106 Millimeter Brennweite sowie das Transmissionsgitter mit 1000 Linien pro Millimeter als Folie. Ein zurechtgeschnittenes Teil einer CD fungierte als Reflexionsgitter. Darüber hinaus werden nur wenige haushaltsübliche Werkzeuge und Materialien benötigt: Alleskleber, Tesafilm, eine kleine Handsäge und eine stabile Haushaltsschere. Präzisionsarbeit ist nicht gefordert: Ein Arbeiten nach Augenmaß ist völlig ausreichend.

## Für beide Spektroskope gleich: Das Spaltmodul

Beiden Varianten, dem Transmissions- und dem Reflexionsspektroskop, liegt das gleiche physikalische Prinzip zu Grunde: Hinter einem engen Spalt am Eingang des Geräts befindet sich eine Sammellinse, die

das Licht parallel auf ein Beugungsgitter auftreffen lässt, das es in seine einzelnen Farben zerlegt (siehe Kasten S. 82). Diese Einheit ist für beide Varianten identisch und braucht daher lediglich umgesteckt zu werden.

Der Spalt lässt sich aus zwei neuen Rasierklingen herstellen, die auf einen Muffenstopfen aufgeklebt werden, in den zuvor ein etwa 10 × 30 Millimeter großes Rechteck ausgeschnitten wurde (siehe Bild S. 83 oben). Die Spaltgröße sollte einerseits nicht zu klein sein, damit ausreichend Licht hindurchkommt. Andererseits darf sie aber auch nicht zu groß sein, um die Qualität des Spektrums nicht zu sehr herabzusetzen. Während der Kleber trocknet, lassen sich die Rasierklingen unter Zuhilfenahme einer Lupe durch Verschieben parallel ausrichten.

Das 150 Millimeter lange Muffenrohr wird mit Hilfe einer kleinen Handsäge auf eine Länge von 90 Millimetern gekürzt. Vom 60 Millimeter langen Rest wird ein weiteres rund 20 Millimeter langes Stück abgesägt, das als Träger der Sammellinse dient. Aus diesem Rohrstück wird mit der Säge ein etwa fünf Millimeter breiter Spalt in Längsrichtung ausgesägt. Leicht zusammengedrückt, reduziert sich der Außendurchmesser auf 35 Millimeter und passt

## Im Überblick: Zwei Spektroskope zum Basteln

Bereits mit einfachsten Materialien und haushaltsüblichen Werkzeugen lassen sich zwei Varianten eines Spektroskops herstellen:

- ein »Transmissionsspektroskop«, bei dem eine Spezialfolie (Transmissionsgitterfolie) das Licht in seine Farben zerlegt.
- ein »Reflexionsspektroskop«, bei dem ein Stück von einer CD-ROM das Licht zerlegt.

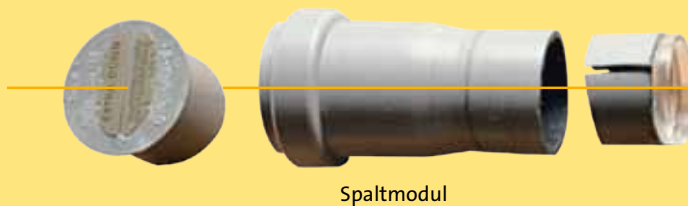
Als robustes Gehäuse für diese Geräte eignen sich HT-Rohre, die in jedem Baumarkt in zahlreichen Formen angeboten werden und weniger als einen Euro pro Stück kosten.

In beiden Varianten fällt das vom Objekt kommende Licht zunächst auf einen Spalt, der aus zwei Rasierklingen besteht (siehe Bild). Die Klingen sind auf einem Muffenstopfen befestigt,

der wiederum mit einem HT-Rohr mit Einsteckmuffe verbunden wird. Zudem enthält der vordere Teil des Spektroskops eine Sammellinse. Das so aufgebaute »Spaltmodul« lässt sich später durch einfaches Einstecken für beide Spektroskopvarianten nutzen. Beim Transmissionsspektroskop besteht der hintere Teil aus einem HT-Bogen mit 30-Grad-Winkel und der Transmissionsgitterfolie. Für das Reflexionsspektroskop sind stattdessen ein HT-Abzweig mit 67-Grad-Winkel und ein CD-Stück erforderlich. In beiden Fällen sollten die Rohrdurchmesser in Abstimmung auf die zu verwendende Sammellinse 40 Millimeter betragen. Die Acrylglaslinse und die Transmissionsfolie erhalten Sie beim AstroMedia Versand, Neustadt in Holstein, Tel.: 04561 5247774, [www.astromedia.de](http://www.astromedia.de).



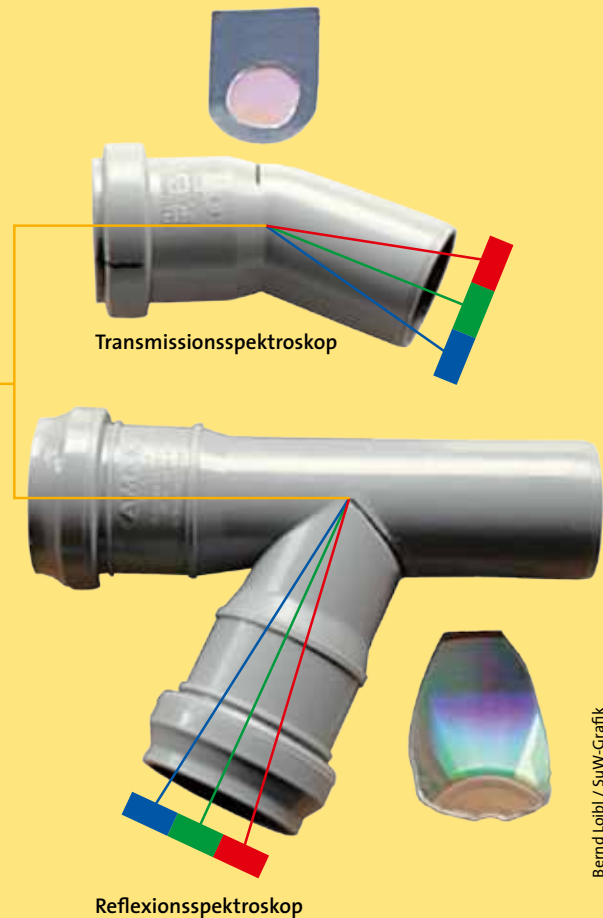
Video – Bau des Transmissionsspektroskops:  
<http://tinyurl.com/nvp7ylt>



Spaltmodul



Video – Bau des Reflexionsspektroskops:  
<http://tinyurl.com/pnjrpsm>



Bernd Lotbl / SuW-Grafik

### Benötigte Materialien und Werkzeuge:

#### HT-Rohrelemente

- 1 Muffenstopfen
- 1 Rohr mit Steckmuffe
- 1 Bogen mit 30-Grad-Winkel
- 1 Abzweig mit 67-Grad-Winkel

#### Optische Elemente

- 1 Acrylglaslinse mit 34,5 Millimeter Durchmesser und 106 Millimeter Brennweite
- 1 Transmissionsgitter mit 1000 Linien pro Millimeter als Folie und 1 CD oder CD-ROM als Reflexionsgitter
- 2 Rasierklingen für den Spalt

#### Bastelmaterialien

Alleskleber, Tesafilm, schwarzes Klebeband, schwarzer Lack für die Rohrwand

#### Werkzeuge

Filzstift, kleine Handsäge, robuste Haushaltsschere

**W I S** Didaktische Materialien:  
[www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1114198](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1114198)

## Beugung an Gittern

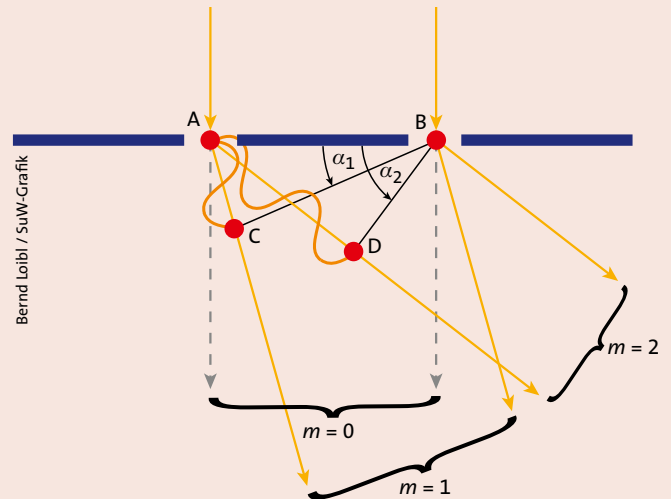
**E**in Beugungsgitter ist eine regelmäßige Anordnung aus schmalen lichtdurchlässigen Spalten oder aus feinen Rillen, die in eine reflektierende Oberfläche eingraviert sind. Im ersten Fall spricht man von einem Transmissionsgitter, im zweiten von einem Reflexionsgitter. Treffen Lichtwellen auf ein solches Hindernis, so werden sie von ihrer ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt.

Das uns vertraute Tageslicht ist ein Gemisch aus vielen verschiedenen Wellenlängen oder »Farben«, was uns bewusst wird, wenn wir einen Regenbogen betrachten. Das menschliche Auge ist für Wellenlängen von etwa 400 Nanometer (Blau) bis 700 Nanometer (Rot) empfindlich. Der Einfluss des Gitters hängt von der betrachteten Wellenlänge ab. Daher vermag ein Gitter ein Lichtgemisch in seine einzelnen Farben zu zerlegen. Liegt der Abstand  $g$  zwischen benachbarten Spalten oder reflektierenden Rillen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge  $\lambda$ , so werden diese Auswirkungen besonders deutlich sichtbar: Ein Spektrum entsteht, das sich mit dem Auge wahrnehmen oder mit einer Kamera fotografieren lässt. Im Folgenden betrachten wir die Funktionsweise von Transmissions- und Reflexionsgittern etwas näher.

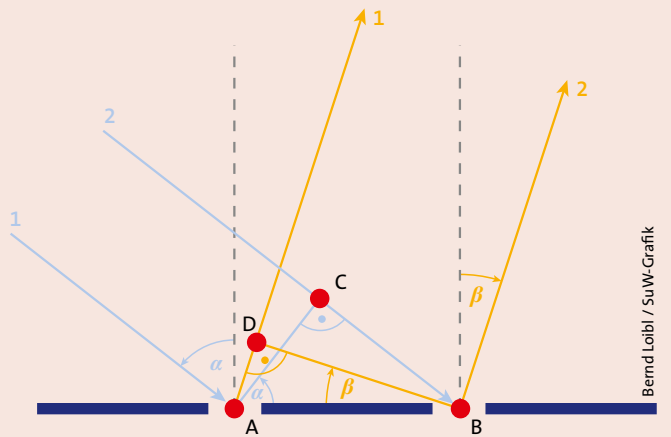
■ **Transmissionsgitter:** An jeder Spaltöffnung eines Transmissionsgitters wird das Licht in alle Richtungen gebeugt, was in der Grafik unten am Beispiel zweier benachbarter Spalte dargestellt ist (siehe Bild unten, rechts). Aber nur in ausgewählten Richtungen laufen die Lichtwellen der einzelnen Spalte so, dass sie im Gleichtakt schwingen und sich daher verstärkend überlagern. In einer solchen Richtung beobachtet man ein Helligkeitsmaximum.

Die Richtungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  zweier Maxima lassen sich mit einer einfachen geometrischen Betrachtung gewinnen (siehe Bild rechts oben): Für das rechtwinklige Dreieck ABC gilt  $\sin \alpha_1 = AC/AB$ . Analog folgt für das zweite Maximum aus dem rechtwinkligen Dreieck ABD die Formel  $\sin \alpha_2 = AD/AB$ , wobei  $AD = 2AC$ .

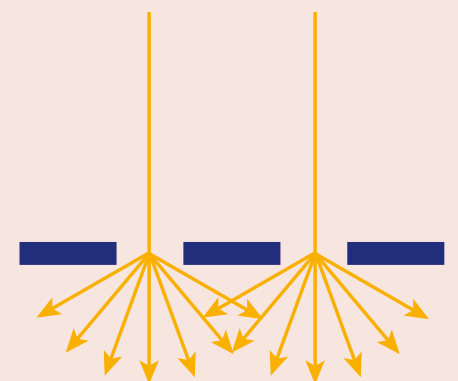
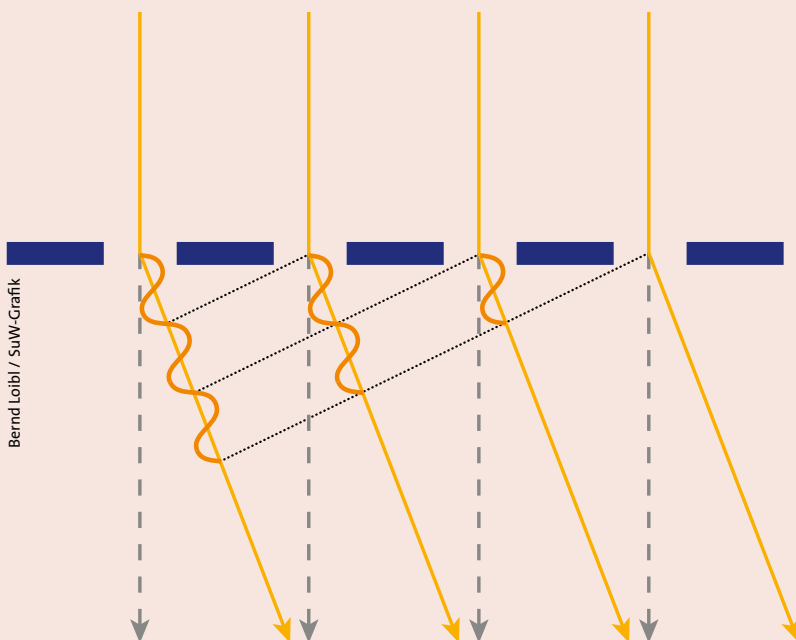
Allgemein gilt für ein Maximum die Bedingung  $\sin \alpha = m \times \lambda/g$ . Hierbei wurde für AC die Wellenlänge  $\lambda$  und für AB die



Licht, das auf benachbarte Spalte eines Transmissionsgitters trifft, lässt sich nur unter bestimmten Winkeln  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  beobachten.



Beim Reflexionsgitter wird Licht, das unter einem Winkel  $\alpha$  auf benachbarte Rillen trifft, unter dem Winkel  $\beta$  reflektiert.



Die Wellen des von benachbarten Spalten eines Transmissionsgitters ausgehenden Lichts (oben) schwingen nur in einer bestimmten Richtung im Gleichtakt (links).

Gitterkonstante  $g$  eingesetzt. Die ganze Zahl  $m$  ist die Ordnung des Spektrums, wobei  $m = 0$  dem direkten Abbild des Spalts entspricht.

**Beispiel:** Die typische Wellenlänge des sichtbaren Lichts beträgt  $\lambda = 550$  nm (Grün). Die für unser Spektroskop genutzte Transmissionsfolie weist eine Gitterkonstante von  $g = 1000$  nm auf. Damit ergibt sich für das Spektrum 1. Ordnung ( $m = 1$ ) der Richtungswinkel  $\alpha = \arcsin(550 \text{ nm}/1000 \text{ nm}) = 33$  Grad. Für blaues Licht ( $\lambda = 400$  nm) ergibt sich 24 Grad, für rotes Licht  $\alpha = 44$  Grad.

■ **Reflexionsgitter:** Wir betrachten benachbarte reflektierende Rillen A und B eines Reflexionsgitters, auf die zwei Wellenzüge 1 beziehungsweise 2 jeweils unter dem Winkel  $\alpha$  zur Gitternormalen auftreffen (siehe Bild links). Dabei legt die Welle 2 gegenüber der Welle 1 den zusätzlichen Weg CB zurück, bevor sie auf das Gitter trifft. Nach der Beugung am Gitter muss nun Welle 1 einen zusätzlichen Weg der Größe AD zurücklegen. Der gesamte Gangunterschied der beiden Wellen beträgt also  $CB + AD$ . Ist diese Strecke ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$ , so dürfen wir in der Richtung  $\beta$  zur Gitternormalen ein Helligkeitsmaximum erwarten.

Wie beim Transmissionsgitter lässt sich auch hier der Gangunterschied aus zwei rechtwinkligen Dreiecken bestimmen:  $CB = g \cdot \sin \alpha$  und  $AD = g \cdot \sin \beta$ . Die Richtungen  $\beta$  der Helligkeitsmaxima müssen somit die folgende Bedingung erfüllen:

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

**Beispiel:** Gegeben sei eine CD mit einer Gitterkonstante von  $g = 1600$  nm. Fällt Licht der Wellenlänge  $\lambda = 550$  nm unter einem Winkel von  $\alpha = 45$  Grad zur Gitternormalen ein, dann gilt für die 1. Ordnung des Spektrums ( $m = 1$ ):  $\sin \beta = \lambda/g - \sin \alpha$ , woraus sich  $\beta = 69$  Grad ergibt. Für blaues Licht ( $\lambda = 400$  nm) folgt  $\beta = 63$  Grad, für rotes Licht ( $\lambda = 700$  nm) ist  $\beta = 74$  Grad.



Bernd Lohbi

Der Eingangsspalt eines Spektroskops wird aus zwei Rasierklingen hergestellt, die auf eine Aussparung des Muffenstopfens geklebt sind. Schwarzes Klebeband verhindert einen störenden Lichteinfall. Die Acrylglaslinse wird mitsamt ihrem Träger in das Muffenrohr hineingeschoben. Sie bildet den Spalt ins optisch Unendliche ab.

nun genau in das der Muffe gegenüber liegende Rohrende hinein (siehe Bild oben). Auf den Rand wird anschließend die 34,5 Millimeter große Linse geklebt. Nach dem Trocknen wird das Rohr mit Linse so weit in das Muffenrohr hineingeschoben, bis es bündig abschließt. In die Muffe wird dann der Muffenstopfen so weit hineinsteckt, dass der Abstand des Spalts von der Linse der Brennweite von 106 Millimeter gleicht. Die Fokusslage ist unkritisch und lässt sich durch das Verschieben des Stopfens variieren.

Es lohnt sich, die in den Muffennuten sitzenden Gummidichtungen während der Erprobungsphase herauszunehmen, da sich die ineinander gesteckten Rohre sonst nur äußerst schwierig verschieben lassen. Außerdem empfiehlt es sich, die Rohrrinnenwände mit schwarzem Lack zu besprühen, um Streulicht durch innere Reflexionen zu reduzieren.

### Das Transmissionspektroskop

Das Herzstück des Transmissionspektroskops ist eine Folie, die aus einer Abfolge von parallelen durchlässigen und undurchlässigen Bereichen besteht. Der Abstand benachbarter durchlässiger Bereiche, die Gitterkonstante, ist gleichbleibend, wodurch Beugungs- und Interferenzeffekte entstehen. Dabei wird das vom Spalt kommende Licht in mehreren Ordnungen abgebildet: Beim Blick durch die Folie erkennt man in der Bildmitte das direkte Abbild des Spalts, die so genannte 0. Ordnung. Rechts und links davon zeigen sich symmetrisch die relativ hellen Spektren der 1. Ordnung, und in noch größerem Abstand finden sich die dunkleren Spektren der 2. Ordnung.

Die für das Spektroskop genutzte Folie weist eine Gitterkonstante von 1000 Nanometern auf. Mit Hilfe einer einfachen Formel ergeben sich in 1. Ordnung ( $m = 1$ ) für

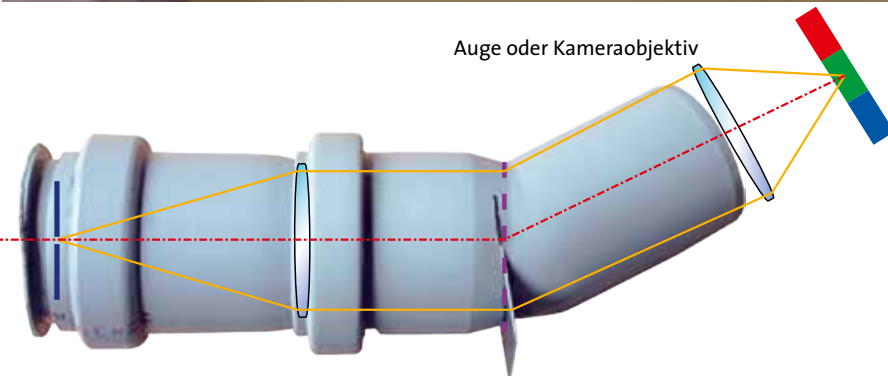


Linienspektrum einer Energiesparlampe

Kontinuumsspektrum einer Kerzenflamme

Bernd Lohbi

Durch die vor das Auge gehaltene Gitterfolie lassen sich in rund 30 Grad Winkelabstand von der Lichtquelle die Spektren der 1. Ordnung erkennen.



Die in eine Pappschablone eingeklebte Transmissionsgitterfolie wird in das HT-Bogenstück eingebracht, in das zuvor ein passender Schlitz gesägt wurde. Zum Schluss wird das Bogenstück mit dem Spaltmodul verbunden (Bilder oben). Das Spektrum lässt sich nun bequem mit auf »Unendlich« eingestelltem Auge oder einer Kamera beobachten.

die Wellenlängen von 400 Nanometern (Blau), 550 Nanometern (Grün) und 700 Nanometern (Rot) die Beugungswinkel 24, 33 beziehungsweise 44 Grad (siehe Kasten S. 83). Dies passt genau zu einem HT-Bogen mit 30-Grad-Winkel.

In Höhe des Abknickpunkts wird senkrecht zur Richtung des Eingangsstrahls der HT-Bogen halb durchgesägt und ein Stück Papier als Schablone so weit durch Probieren zurechtgeschnitten, bis es bündig in den Schlitz passt (siehe Bilder links). Zwischen zwei Pappen, welche die Größe der Schablone haben, und in die mittig ein Loch von etwa 20 Millimeter 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.

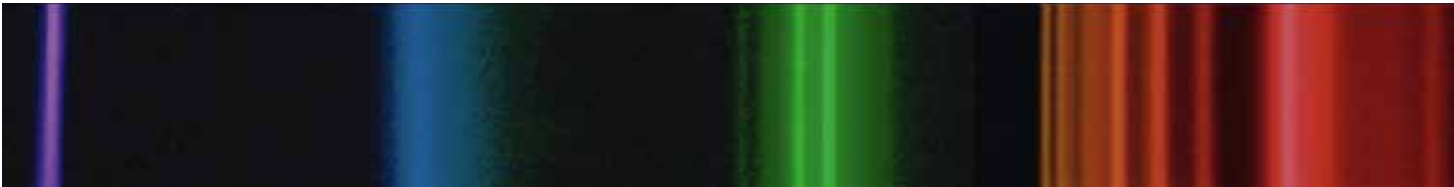
Um nun ein Spektrum beobachten zu können, muss die Richtung der auf der Folie vorhandenen Gitterlinien mit der Richtung des Spalts übereinstimmen. Zwar sind die Gitterlinien mit bloßem Auge nicht sichtbar, doch ihre Richtung lässt sich recht einfach mit Hilfe einer beliebigen Lichtquelle feststellen: Durch Drehen der direkt vor das Auge gehaltenen Folie sieht man, wie sich in einem Winkelabstand von rund 30 Grad 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 so eingestellt, dass sich das farbige Band des Spektrums beim Blick durch das Spektroskop senkrecht zur Richtung des Spalts, der so genannten Dispersionsrichtung, ausbreitet.

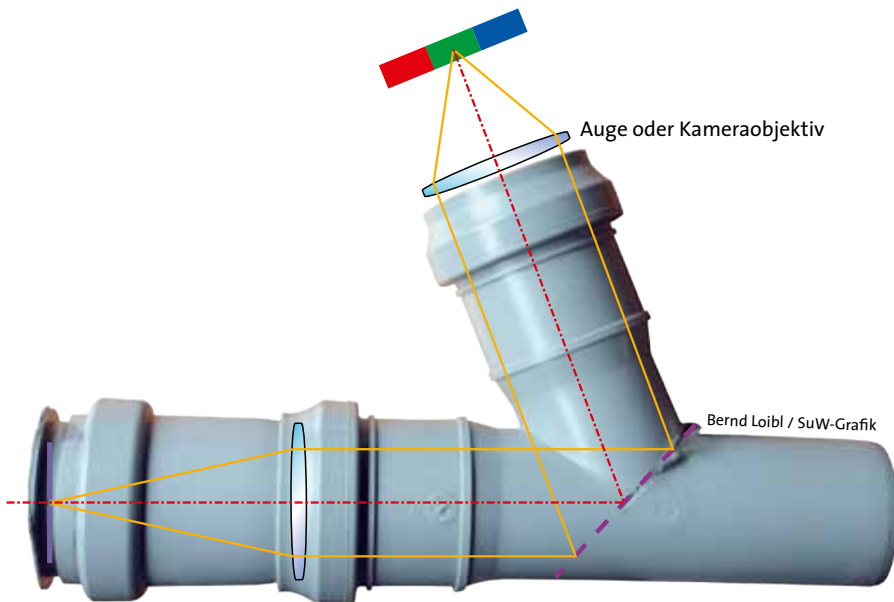
Mit dem fertigen Transmissionsspektroskop lassen sich sogleich einfache Versuche durchführen (siehe Bilder unten).

Absorptionslinien des Sonnenspektrums



Emissionslinien von Quecksilber





Mit einem HT-Rohrabzweig von 67,5 Grad und einem Stück von einer CD, das unter einem Winkel von 45 Grad in das Muffenrohr eingeschoben wurde, lässt sich das Spektrum 1. Ordnung beobachten.

Das Tageslichtspektrum können Sie optimal beobachten, wenn Sie das Spektroskop gegen den blauen Himmel oder gegen eine großflächige gleichmäßig weiße Wolke halten. Keinesfalls sollten Sie den Spalt direkt auf die Sonne richten – zwar ist er sehr eng, aber dennoch besteht eine Gefahr für das Auge. Die Sammellinse bildet den Eingangsspalt optisch ins »Unendliche« ab, so dass das Auge oder ein Kameraobjektiv das Spektrum bequem fokussieren kann.

Beim Fotografieren des Spektrums hat sich eine großflächige dunkle Wolke als geeignete Lichtquelle erwiesen. Die elektronische Verstärkung der Digitalkamera – der ISO-Wert – wird auf das Minimum eingestellt und die Blende manuell um zwei 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

Bei der zweiten Variante wird das Licht mit einem Stück von einer CD zerlegt. Ihre Spuren laufen spiralförmig mit einem Abstand von 1600 Nanometern von innen nach außen. Das vom Spalt kommende Licht wird an der silbrig glänzenden Folie reflektiert, die sich rückwärtig auf der CD befindet. Daher eignet sich die CD als Reflexionsgitter. Obwohl ihre Gitterstruktur nicht optimal auf optische Experimente ausgelegt ist, lassen sich im Tageslicht zahlreiche Linien erkennen.

Als Träger des CD-Reflexionsgitters eignet sich ein HT-Rohr-Abzweig mit einem Winkel von 67,5 Grad (siehe Bild oben). Mit einer einfachen Formel lässt sich wiederum ausrechnen, unter welchen Winkeln das Licht der unterschiedlichen Farben am Gitter gebeugt wird (siehe Kasten S. 82): Fällt das Licht unter einem Winkel von 45 Grad zur Gitternormalen ein, dann ergeben sich in 1. Ordnung für die Farben Rot (700 Nanometer), Grün (550 Nanometer) und Blau (400 Nanometer) die Winkel 63, 69 beziehungsweise 74 Grad.

In Höhe der Abknickenebene des HT-Rohrs wird mit der Handsäge das Rohr unter einem Winkel von 45 Grad halb durchgesägt, wobei die Einhaltung des Winkels unkritisch ist. Wie zuvor wird

Im Tageslicht werden mit dem Transmissionspektroskop die Absorptionslinien des Sonnenspektrums sichtbar (oben), und im Spektrum einer Energiesparlampe zeigen sich die Emissionslinien von Quecksilber (unten).

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 Haushaltsschere geschnitten. Damit wird verhindert, dass die Folie beim Schneiden abblättert. Nach dem Einschleiben des Spaltmoduls in die Muffe des Abzweigs ist das Reflexionsspektroskop komplett. Die gebeugten Abbilder des Spalts – und damit das Spektrum – lassen sich nun bequem mit dem Auge oder einer Kamera beobachten.

### Einfacher als gedacht

Es ist erstaunlich, mit welchem geringem Aufwand an Material, Werkzeug und Geld ein solider Einstieg in die Spektroskopie möglich ist. Mit den »Baumarkt-Spektroskopen« lassen sich – auch bei Tageslicht, bewölktem Himmel – lehrreiche Experimente durchführen. Somit eignen sie sich nicht nur hervorragend als astronomisches Bastelprojekt für zu Hause, sondern bereichern auch den naturwissenschaftlichen Schulunterricht.



**BERND LOIBL** promoviert an der Hamburger Sternwarte im Fach Astronomie. Am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg war er für die Prüfung der Großteleskope der Calar-

Alto-Sternwarte in Südspanien zuständig. Mehrere Jahre leitete er geschäftsführend das Planetarium Wolfsburg.

### Literaturhinweise

**Falk, M.:** Die Lust am Licht im Unterricht. In: *Sterne und Weltraum* 7/2011, S. 78–85

**Köppen, J.:** Das CD-ROM-Spektroskop. In: *Sterne und Weltraum* 11/2003, S. 74–79

**Köppen, J.:** Mit Spritzgebäck und Silberscheibe zum eigenen Spektroskop. In: *Sterne und Weltraum* 4/2010, S. 88–95

**Reichert, U.:** Mit dem Baumarkt-Teleskop durch die Röhre gucken. In: *Sterne und Weltraum* 6/2009, S. 82–85

Dieser Artikel und Weblinks im Internet: [www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1372219](http://www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1372219)