

Bastelanleitung für ein Gitterspektroskop

von Burkard Steinrücken, Universität Dortmund

1. Konstruktion und Zusammenbau

Spektroskope aller Art gibts im physikalischen Lehrmittelhandel zu hauf. Sowohl Handspektroskope als auch Laborgeräte zur präzisen Vermessung der Linienspektrum vieler Elemente sind gut bekannt. Wer aber wissen will, wie z.B. ein Handspektroskop aufgebaut ist und welche konstruktiven Prinzipien jeweils verwirklicht sind, der kommt nicht umhin, ein solches Gerät - evtl. sogar irreversibel - zu zerlegen, wenn er oder sie sich nicht mit den dürftigen Skizzen in Lehrbüchern zufrieden geben will. In diesem Artikel soll der umgekehrte Weg aufgezeigt werden.

Es wird beschrieben, wie aus einigen wenigen und problemlos zu beschaffenden Materialien ein Handspektroskop gebastelt werden kann, mit dem Absorptionslinien im Sonnenspektrum qualitativ nachgewiesen werden können, das aber auch eine Meßskala besitzt, die mit Hilfe bekannter Spektrallinien selbst geeicht werden kann.

Einziges aus dem Physikalhandel zu beziehendes Element ist ein Transmissionsgitter mit 1000 Linien pro mm für ca. 18 DM (Bezugsquelle z.B. Conatex Didaktik [1]).

Das Handspektroskop besteht aus den drei Elementen Eintrittsspalt, Gitter (1000 Linien/mm) und Meßskala. Die räumliche Anordnung dieser Elemente ergibt sich aus folgenden Konstruktionsprinzipien:

1. Das Gitter steht senkrecht auf der durch den Spalt und der Gittermitte definierten Einfallrichtung.
2. Beim Durchblick durch das Gitter erscheint das sichtbare Spektrum um denjenigen Winkel α gegenüber der Einfallrichtung ausgelenkt, der gegeben ist durch die bekannte Formel:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha$$

(n : Beugungsordnung; λ : Wellenlänge; d : Abstand der Gitterlinien; α : Beugungswinkel)

Damit das Spektrum gesehen werden kann, muß der Betrachter in die Richtung blicken, welche den Winkel α mit der Einfallrichtung einschließt und die zudem senkrecht auf der Ebene steht, die durch die Einfallrichtung und die Verlaufsrichtung des Spaltes gegeben ist. Ist der Betrachter erst einmal mit dem nicht ganz trivialem Einblicksverhalten vertraut, so entfaltet sich das Spektrum vor seinem Auge und steht scheinbar an einem Ort neben dem Spalt. An diesem Ort kann nun eine Meßskala aus transparentem Millimeterpapier angebracht werden (siehe Zeichnung 1).

3. Die drei beschriebenen Elemente Spalt, Gitter und Skala werden in einem Gehäuse aus dünnem Sperrholz, Presspappe oder starkem Karton untergebracht. Dabei ist nun nur noch folgendes zu beachten: Da der Betrachter das Auge in die unmittelbare Nähe des Gitters bringt und durch das Gitter hindurch auf Spalt oder Skala blickt, müssen Spalt und Skala einen vom Betrage gleichen Abstand von ca. 30 cm vom Gitter haben - zumindest aber den Mindestabstand des schärfsten Sehens, denn sowohl das Spaltbild, das sich in Form der Spektrallinien auf der Skala abzeichnet als auch die Skala selbst wollen scharf gesehen werden!

Diese Erfordernis - eine etwaige Ausdehnung des Spektroskops von ca. 30 x 30 cm - machen es ein wenig unhandlich. Dafür kommt man aber ganz ohne Linsen zur Abbildung des Spaltbildes aus und auch ein wenig geübter Bastler kann so ein Kästchen fertigen, da weder Präzisions- noch Miniaturisierungsprobleme die Anfertigung behindern.

Nun zur eigentlichen Bastelanleitung:

Der prinzipielle Aufbau kann der Zeichnung 2 entnommen werden. Dort sind alle Wandteile des Kästchens numeriert. Diese Numerierung findet sich auch in Zeichnung 3 wieder, in der ein Plan für alle Segmente im Maßstab 1:2 wiedergegeben ist. Nach erfolgtem Zuschnitt aus Sperrholz, Presspappe oder Karton werden die Innenseiten aller Teile mit schwarzem Fotokarton beklebt. Danach erfolgt der Zusammenbau mit Leim und kleinen Nägeln. Kleine Zusatzleisten (ebenfalls schwarz bekleben!) an den Kastenecken können die Stabilität erhöhen und den Zusammenbau erleichtern. Der Deckel wird zunächst nicht befestigt. Zum Schluß wird er mit dem Unterbau verschraubt oder nur mit Klebestreifen angebracht, damit man ihn leicht entfernen und das (nicht vorhandene!) Innenleben des Spektroskops vorführen kann.

Der Spalt wird aus den gegeneinandergekehrten Schneidseiten einer zerbrochenen Rasierklinge gefertigt, die im Abstand von ca. 0,3 mm mit Klebeband von innen an das Segment 1 angebracht werden. Verstellen des Spaltes bleibt so möglich. Bei größerer Spaltbreite erscheint das Spektrum heller, was aber nur durch eine Verschlechterung des Auflösungsvermögens erkauft werden kann.

Das Gitter wird mit Heftzwecken oder Klebeband auf die Innenseite von Segment 2 plaziert. Das Segment 3 dient der Aufnahme der Meßskala aus transparentem Millimeterpapier. Die Länge der Skala sollte bei der vorgewählten Gesamtgröße des Spektroskops ca. 10 cm betragen, denn so erstreckt sie sich über das ganze sichtbare Spektrum von ca. 300 nm bis 650 nm. Durch Einsetzen dieser Werte in die Formel $n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha$ kann jeder selbst leicht ermitteln, zwischen welchen extremalen Winkeln sich das sichtbare Spektrum erstrecken wird. Eine Breite von 2 - 4 mm reicht für die Breite der Skala völlig aus, denn eine zu große Aufhellung des Gehäuseinneren durch störendes Tageslicht, welches in das „Skalenfenster“ einfällt, sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

Nachdem alles zusammen- und eingebaut ist, sind die Winkellagen von Spaltebene, Gitterebene und Skalenerstreckung noch einzujustieren, damit sich das Spektrum parallel zum Skalenfenster erstreckt. Danach kann der Gehäusedeckel angebracht werden und das selbstgebaute Handspektroskop ist fertig.

2. Auflösungsvermögen und Eichung der Skala

Das spektrale Auflösungsvermögen eines Gitterspektroskops berechnet sich nach der Formel:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \leq n \cdot N \quad (n: \text{Beugungsordnung}; \lambda: \text{Wellenlänge}; N: \text{Anzahl der Gitterlinien})$$

Da bei unserem Spektroskop nur die 1. Beugungsordnung, also $n = 1$, in Betracht kommt, geht einzig die Absolutzahl der ausgeleuchteten Gitterlinien in das spektrale Auflösungsvermögen ein. Das Gitter der Firma Conatex, welches in einem Papprahmen von Diaformat gefaßt ist, besitzt eine Größe von 25 x 25 mm. Bei einer Gitterkonstante von 1000 Linien/mm ergibt sich damit ein N von 25000. Somit errechnet sich das theoretische Auflösungsvermögen dieses Gitters zu $\lambda/\Delta\lambda \leq 25000$.

Das maximale Auflösungsvermögen kann jedoch bei der gewählten Geometrie nicht erreicht werden, denn das Gitter wird nicht voll beleuchtet. Außerdem erscheint eine Spektrallinie im Spektroskop als Bild des Eintrittspaltes in der jeweiligen Farbe. Benachbarte Spektrallinien bzw. Spaltbilder überlagern sich, wenn ihr Wellenlängenunterschied und damit ihr Beugungswinkelunterschied zu klein ist, um bei der gegebenen Geometrie des Spektroskops zwei scharf getrennte Spaltbilder hervorzurufen. Maßgeblich für die Auflösung unseres Spektroskops ist damit die Winkelauflösung bei der Abbildung.

Wir ermitteln das Auflösungsvermögen unseres Spektroskops auf experimentellem Wege: Die gelbe Doppellinie im Spektrum einer Quecksilberdampfampe (Wellenlängen 577 nm und 579 nm) kann bei der gewählten Spaltbreite von ca. 0,3 mm problemlos getrennt werden. Daraus errechnet sich ein Auflösungsvermögen von $\lambda/\Delta\lambda \approx 578 \text{ nm} / 2 \text{ nm} = 289$. Die gelbe Doppellinie des Natriumspektrums bei Wellenlängen von ca. 590 nm bzw. 589 nm läßt sich bei dieser

Spaltbreite jedoch nicht mehr trennen. Bei einer Verringerung der Spaltbreite auf ca. 0,1 mm gelingt dies jedoch. Das Auflösungsvermögen beträgt in dem Fall $\lambda/\Delta\lambda \approx 590 \text{ nm}/1 \text{ nm} = 590$. Die Helligkeit dieser Spektrallinien liegt dann aber nur noch knapp über der Nachweisgrenze. Es muß ein Kompromiß zwischen der Bildhelligkeit und der Spaltbreite gefunden werden.

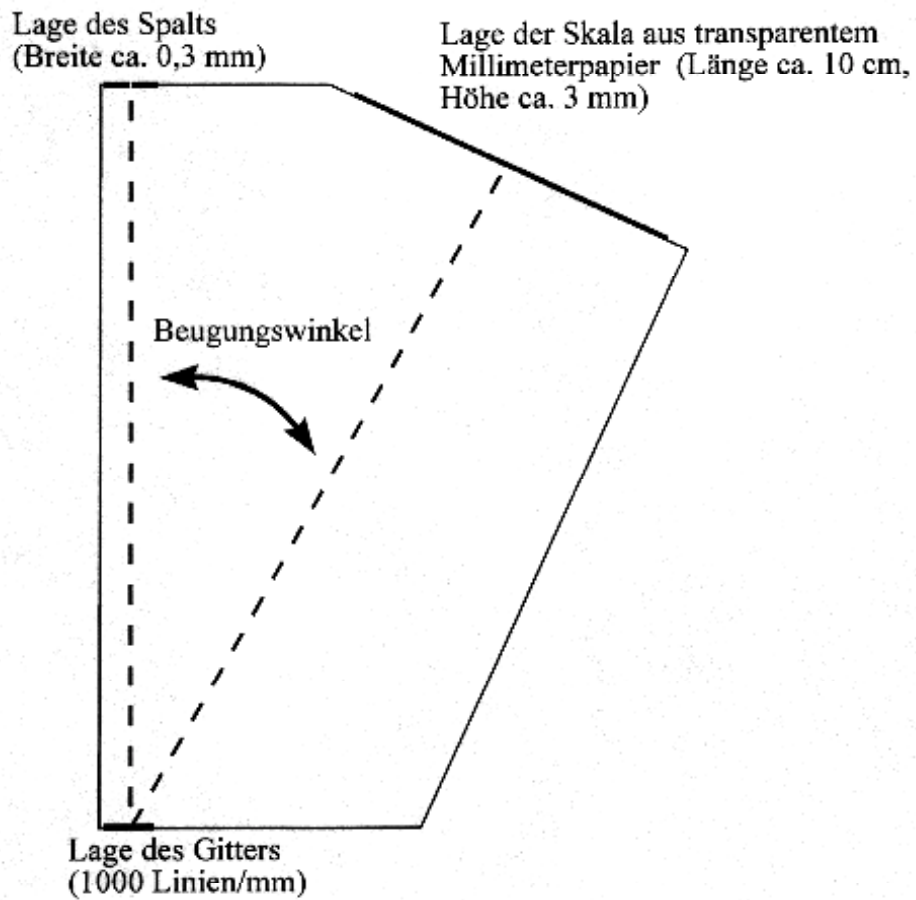
Zur Eichung der Meßskala kann mit Hilfe bekannter Spektrallinien eine Eichkurve erstellt werden. Dazu ist es zunächst erforderlich, auf der Meßskala aus transparentem Millimeterpapier einen Nullpunkt zu kennzeichnen (mit schwarzem Filzstift). Die Lage bekannter Spektrallinien wird nun relativ zu dieser willkürlichen Nulllage bestimmt und in ein Diagramm eingetragen (Wellenlänge gegen Skalenablesung). Der Fehler bei der Skalenablesung kann mit 0,5 mm veranschlagt werden. Sind genügend Eichpunkte bekannt, so läßt sich mit einem geschickten Federstrich eine durchgezogene Eichkurve, die alle diese Punkte sinnvoll verbindet, von Hand ermittelt werden. Die ermittelte Eichkurve wird auf den Deckel des Spektroskops geklebt, so daß sie immer zur Hand ist und abgelesene Skalenwerte sogleich in Wellenlängen „übersetzt“ werden können. Es empfiehlt sich auch, eine Abbildung des Sonnenspektrums mit den stärksten Fraunhoferlinien aufzukleben (z.B. auf die noch freie Bodenplatte), damit ein sofortiger Vergleich der eigenen Beobachtung mit den Ergebnissen Fraunhofers erfolgen kann.

Das Spektroskop ist nun geeicht, und die Spektren von Leuchtstoffröhren, Spektrallampen und der Sonne (Spektroskop am besten auf den klaren Himmel oder eine weiße Wand richten) können vermessen und erforscht werden.

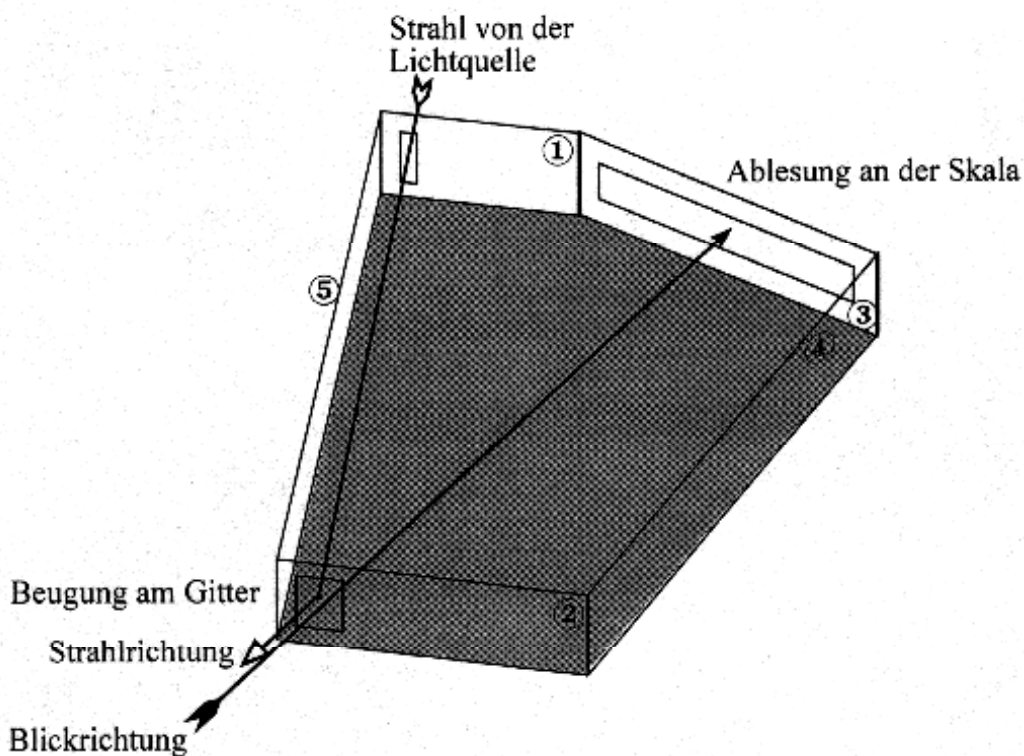
Viel Spaß beim Basteln und Beobachten!

[1] Gitter im Diarahmen, Bestellnr. MT3230,
Conatex Didactic, Rombachstr. 65, 66539, Neunkirchen, 06821 / 94110

Zeichnung 1: Funktionsweise und Aufbau des Gitterspektroskops

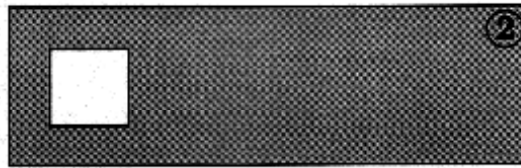
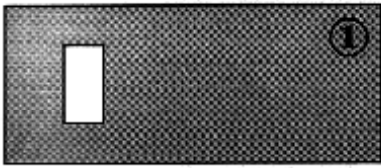


Zeichnung 2: Das Spektroskop im Schrägriß

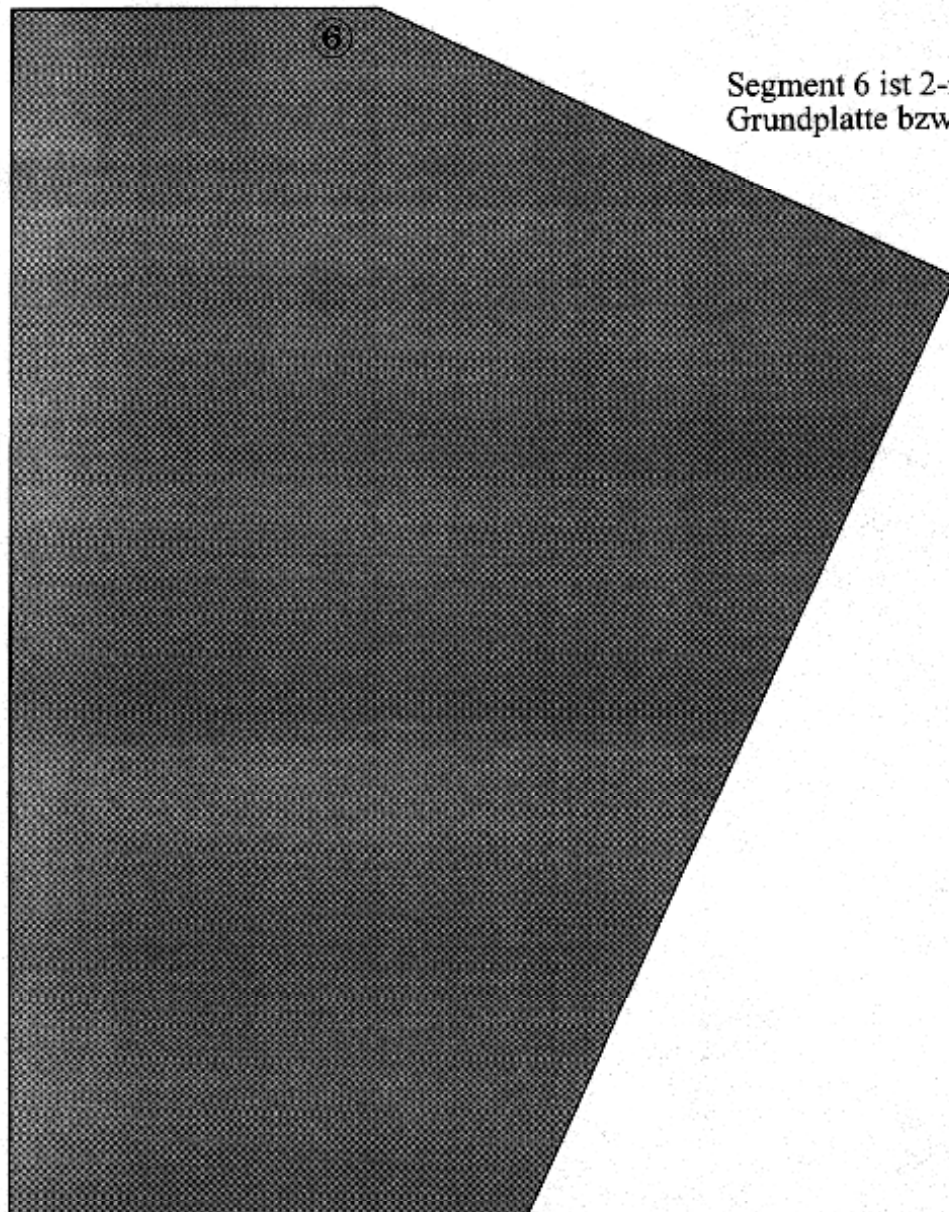


Zeichnung 3: Bauplan für das Gitterspektroskop

Die Bauteile sind aus Sperrholz, Presspappe oder stabilen Karton anzufertigen und ggf. anzupassen, so daß ein lichtdichtes Gehäuse entsteht.



Segment 1 mit Aussparung für den Spalt
Segment 2 mit Aussparung für das Gitter
Segment 3 mit Aussparung für die Skala



Segment 6 ist 2-mal anzufertigen. Es dient als Grundplatte bzw. als Deckel.

Maßstab 1:2