

Spektralanalyse

Olaf Merkert (Manuel Sitter)

18. Dezember 2005

Zusammenfassung

Dieses Praktikums-Protokoll behandelt die Untersuchung des Spektrums einer Energiesparlampe mit Hilfe eines Gitters. Außerdem ein Vergleich mit dem Spektrum einer herkömmlichen Glühbirne. Ebenfalls enthalten sind weitere Hintergrundinformationen zur Erzeugung von Licht und zur Spektralanalyse.

1 Versuchsaufbau

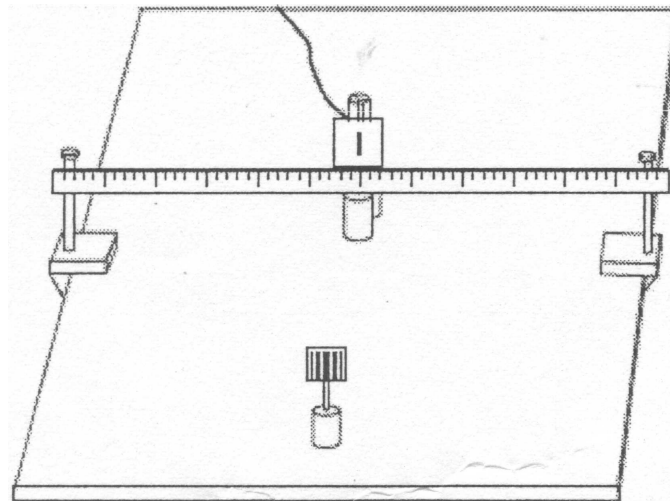


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus [1]

Eine Energiesparlampe wird hinter einen verstellbaren Spalt gestellt und ein Maßstab wird unterhalb des Spalts angebracht, um die horizontale Abweichung vom Spalt zu messen. In festem Abstand a zum Spalt wird ein Rowlandgitter mit der Gitterkonstante g angebracht, durch das auf den Spalt geschaut wird.

2 Versuchsergebnisse

$$a = 375 \text{ mm}$$

$$g = 1.75 \text{ } \mu\text{m} - \text{entspricht } 570 \text{ Strichen pro } \text{mm}$$

Farbe	UV	blau	d.grün	h.grün	gelb	rot
Winkel [deg]	13.6	14.6	16.3	18.3	19.4	20.5
λ [nm]	412	444	494	551	583	616

Tabelle 1: Messwerte des Spektrums



Abbildung 2: Bild des Spektrums

Wie aus der Tabelle 1 und der Abbildung 2 deutlich erkennbar, erzeugt die Energiesparlampe kein kontinuierliches Spektrum, sondern sendet nur auf wenigen, klar abgegrenzten Wellenlängen. Diese Beobachtung lässt sich mit der Funktionsweise der Lampe erklären: Das Licht wird durch Leuchtstoffe erzeugt, die ihrerseits erst angeregt werden, und nicht direkt durch einen Glüheffekt.¹

2.1 Stromverbrauch

Die Helligkeit der verwendeten Energiesparlampe entsprach einer 75 W Glühlampe. Zum Vergleich wurde die Leistung der Energiesparlampe experimentell bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Energiesparlampe etwa den fünften Teil der Energie einer herkömmlichen Glühlampe benötigt.

$$I_{E\text{spar}} = 71 \text{ mA} \quad U_{E\text{spar}} = 225 \text{ V} \quad P_{E\text{spar}} = 16 \text{ W}$$

3 Fehlerbetrachtung

Bei der subjektiven Messmethode (vgl. Abschnitt 10) ist anzunehmen, dass beim verwendeten Abstand zum Maßstab und einer vernünftigen Breite der Spaltöffnung auf etwa 2 mm genau gemessen werden kann. Da aber die Abstände sowohl links als auch rechts gemessen und dann ein Mittelwert herauskam, wobei die Abweichung bei gerade $\pm 1 \text{ mm}$ lag, so dass die Mess-toleranzen eingehalten wurden. Dies entspricht einer relativen Abweichung von höchstens 1%. Wenn wir annehmen, dass sich der Fehler bei Umkehr-tangens- und Sinus-Funktion insgesamt in etwa linear fortpflanzt, so ist $\Delta\lambda = \pm 6 \text{ nm}$, allerdings nur bei maximalem Fehler.

¹Weitere Details in Abschnitt 6.2

4 Vorteile der Energiesparlampe

Eine Energiesparlampe sendet kein kontinuierliches Spektrum, sondern ein Linienspektrum, das sich auf wenige unterschiedliche Wellenlängen konzentriert. Die Überlagerung dieser Wellenlänge ergibt dann wieder ein weißes Licht. Die Gesamtintensität des Lichts verteilt sich also auf wenige, sehr intensive Wellenlänge, und nicht auf eine Vielzahl von Wellenlängen, die nur mit geringer Intensität strahlen. Das kontinuierliche Spektrum der Glühlampe reicht meistens auch noch in den Infrarotbereich hinein. Das Infrarotlicht ist nicht sichtbar und trägt nicht zur Beleuchtung bei.

Rein praktisch heißt das, dass Energiesparlampen aus diesen Gründen einen höheren Wirkungsgrad bzw. Lichtausbeute haben – sie erzeugen eine größere Helligkeit bei einer geringeren Leistungsaufnahme. Außerdem ist ihre Lebensdauer deutlich länger.

5 Aufbau einer Energiesparlampe

Eine Gasentladungsröhre besteht aus einer evakuierten Röhre, die von innen mit speziellen Leuchtstoffen beschichtet ist, und mit einem Gas (meistens Argon) und Quecksilberdampf unter niedrigem Druck befüllt ist. An den beiden Enden sind Heizdrähte, die Elektronen emittieren.

6 Funktionsweise von Lichtquellen

6.1 Glühlampe

Bei einer Glühlampe wird ein spiralförmiger Wolframdraht, der sich in einem mit speziellem Gas gefüllten² Glaskolben befindet, durch Anlegen eines Stroms zum Glühen gebracht. Beim glühen wird elektromagnetische Strahlung ausgesandt:

Ein Elektron, das sich auf einer äußeren Schale des Atoms befindet, wird auf eine höhere Schale gehoben. Dieser Zustand gefällt ihm aber nicht sehr, deshalb springt es auf eine niedrigere Schale. Beim Zurückspringen sendet es Licht aus. Durch die starke Hitze lösen sich aber auch Wolframatome vom Draht, die dann in dem speziellen Gas schweben und sich wieder anlagern können. Der Verschleiß der Glühbirne kommt zustande, weil ein Teil der Atome am Glaskolben niederschlägt und die Atome sich nicht so sehr an den dünnsten Stellen wieder anlagern.[3]

6.2 Gasentladungsröhre

Wie bereits in Abschnitt 5 angedeutet, wird an die zwei Heizdrähte ein Spannung angelegt, um Elektronen freizugeben. Kurz nach dem Einschalten wird außerdem eine Wechselspannung zwischen die beiden Heizdrähte (=Elektroden) gelegt. Das entstehende Feld beschleunigt die Elektronen, die beim Zusammenstoß mit den Quecksilberatomen diese ionisieren und somit ein

²Zweck der Gasfüllung ist lediglich, die Oxidation des Wolfram zu verhindern.

Plasma erzeugen. Das Plasma strahlt elektromagnetische Strahlung im Bereich des UV-Lichts ab. Dieses wird von der Leuchtstoffbeschichtung in sichtbares Licht der gewünschten Farbe umgewandelt. Es wird nahezu das gesamte UV-Licht umgewandelt, so dass keine so großen Verluste auftreten.

Die ionisierten Atome haben mehr Elektronen als nötig auf den äußeren Schalen und also einen energetisch ungünstigeren Zustand. Wenn die Elektronen wieder auf eine niedrigere Schale springen,

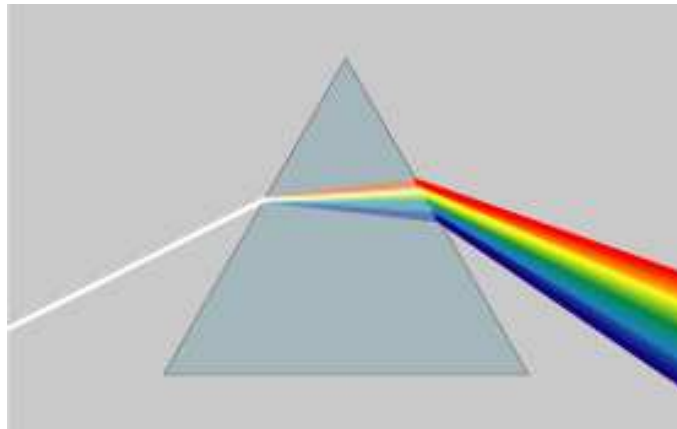
Das Linienspektrum entsteht durch den "Umweg" über die Leuchtstoffe, die immer nur Licht einer bestimmten Wellenlänge³ abstrahlen.[4]

7 Lichtzerlegung

7.1 Gitter

Ein Gitter verursacht Interferenzen; dabei entstehen für unterschiedliche Wellenlängen unterschiedliche Orte maximaler konstruktiver Interferenz.

7.2 Prisma



Ein Prisma basiert auf dem Phänomen, dass Licht mit unterschiedlicher Wellenlänge unterschiedlich stark gebrochen wird. Da es das Licht zwei Mal bricht, wird der Effekt noch verstärkt.

8 Interferenz am Gitter

8.1 Konstruktiv

Anhand der Abbildung 3 lässt sich eine Beziehung für den Gangunterschied δ aufstellen.

$$\sin \alpha = \frac{\delta}{g} \quad (1)$$

³bzw. eines kleinen Wellenlängenbereichs

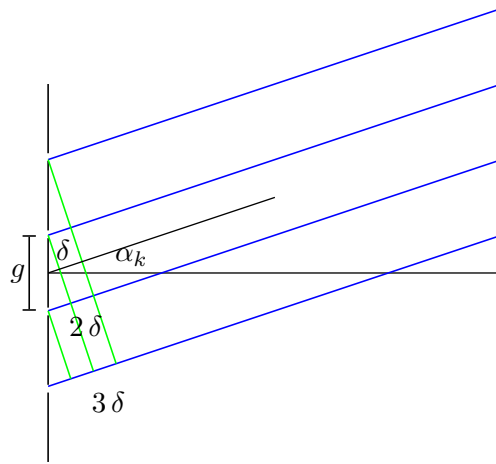


Abbildung 3: Skizze zum Gangunterschied

Maximale konstruktive Interferenz wird erreicht, wenn δ ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{g}; k \in \mathbb{N} \quad (2)$$

Die Gleichung 2 beschreibt also, unter welchen Winkeln α ein Maximum k -ter Ordnung gemessen werden kann.

8.2 Destruktiv

Da es mehrere Spalte gibt, deren Wellen sich überlagern, es also zwischen Spalt A und Spalt B destruktive Interferenz auftritt, dann aber noch Spalt C hinzukommt, der sich dann konstruktiv mit Spalt A überlagern würde, gibt zwar Winkel geringster Intensität, diese sind jedoch zwischen den Nebenmaxima angesiedelt, derer es mehrere geben kann und deren Bestimmung auch aufwendiger ist. Eine einfache Bedingung für destruktive Interferenz ist deshalb nur am Doppelspalt formulierbar.

9 Beobachtungsspalt

Der Spalt dient dazu, die Lichtquelle zu einem großen Teil abzudecken, so dass die einzelnen Maxima schmaler und somit leichter einem Abstand zuzuordnen sind. Ohne den Spalt würden die Maxima der einzelnen Wellenlängen breiter und würden sich so stark überlagern, dass keine Differenzierung möglich wäre.

10 Subjektive Beobachtung

Die Lichtwelle wird vom Gehirn des Beobachters auf den Maßstab projiziert, der Winkel zwischen dem Lot auf den Maßstab und der Richtung, aus der das

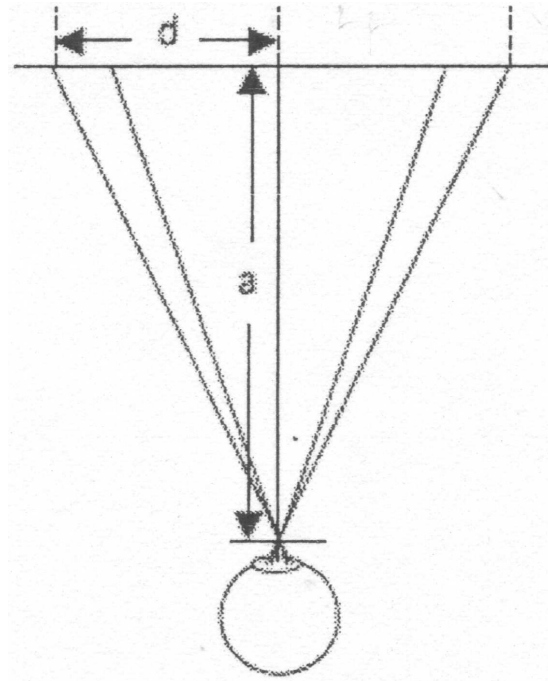


Abbildung 4: Berechnung der Winkel [1]

Licht in das Auge des Betrachters fällt, entspricht damit α , wenn Gleichung 3 verwendet wird. ⁴

$$\tan \alpha = \frac{d}{a} \quad (3)$$

Allerdings sollte bei dieser Messmethode darauf geachtet werden, dass sich die Position des Beobachters nicht zu stark verändert.

Literatur

- [1] *Aufgabenblatt zum Praktikum*
Gerhardt Holetzke
- [2] http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Prism_rainbow_schema.png
GNU Free Document License
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe>
GNU Free Document License
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstoffröhre>
GNU Free Document License

⁴ a entspricht dem Abstand des Gitters vom Maßstab, d ist der Abstand des Maximums vom Maximum 0. Ordnung.