

UNIVERSITÄT REGENSBURG

ANFÄNGERPRAKTIKUM B

## Versuch: Optische Spektroskopie (os)

*Fabian Tanzer*

02. Februar 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Planck'sche Strahlungsgesetz . . . . .	3
2.2 Wien'sches Verschiebungsgesetz . . . . .	3
2.3 Beugung am Transmissionsgitter . . . . .	4
<b>3 Fragen und Antworten</b>	<b>6</b>
3.1 Prinzip der Beugung . . . . .	6
3.2 Beugungsgitter vs. Doppelspalt . . . . .	6
3.3 Spektrum Temperaturstrahler und Gasentladungslampe . . . . .	7
3.4 Bestimmung chemischer Elemente der Erd- und Sonnenatmosphäre . . . . .	8
3.5 Temperatur Sonnenoberfläche . . . . .	8
3.6 Berechnung der Temperatur . . . . .	8
3.7 Bestimmung der Temperatur eines Glühdrahtes . . . . .	9
3.8 Farbtemperatur . . . . .	9
3.9 Zusammenhang spezifischer Ausstrahlung und Temperatur . . . . .	10
3.10 chemische Inhaltsstoffe Gasentladungslampe . . . . .	10
<b>4 Durchführung</b>	<b>11</b>
4.1 Allgemeine Hinweise . . . . .	11
4.2 Einführende Versuche . . . . .	11
4.2.1 Einführung in SpectraWiz . . . . .	11
4.2.2 Aufnahme von Transmissionsspektren . . . . .	13
4.2.3 Aufnahme von Emissionsspektren . . . . .	14
4.2.4 Bestimmung der Farbtemperatur einer Glühlampe . . . . .	15
4.2.5 Erzeugung verschiedener Farbtemperaturen mit einem Glühlämpchen . . . . .	16
4.3 Auswertung des Sonnenspektrums . . . . .	17
4.3.1 Bestimmung der Oberflächentemperatur der Sonne . . . . .	17
4.3.2 Bestimmung der wichtigsten Fraunhofer'schen Linien . . . . .	18
4.4 Bestimmung chemischer Elemente . . . . .	19
4.4.1 Glimmlampe in Schalterbeleuchtung . . . . .	19
4.4.2 Energiesparlampe . . . . .	20
4.5 Additive Farbmischung . . . . .	21
<b>5 Fazit</b>	<b>22</b>

# 1 Einleitung

Trifft elektromagnetische Strahlung auf Materie, so kommt es dabei zu Effekten, welche von der Energie und damit der Wellenlänge bzw. Frequenz der einzelnen eintreffenden Photonen abhängig sind. Diese Effekte sind quantisiert, das heißt, dass die Energie eines Photons ( $E = h\nu$ ) exakt der Energie entsprechen muss, die für den Vorgang benötigt wird. Betrachtet man also ein kontinuierliches Spektrum (im Gegensatz zum Linienspektrum), so werden aus diesem exakt die Frequenzen aufgenommen, welche der benötigten Energie für den Prozess entspricht (also zum Beispiel der Energiedifferenz zwischen zwei Zuständen).

Da die Bestimmung von der Photonenergie kein Problem darstellt, werden Stoffe häufig durch Untersuchung der absorbierten und emittierten Strahlung analysiert. Dies wird als Spektroskopie bezeichnet.

Ziel dieses Versuchs ist das Kennenlernen verschiedener Spektren aus dem Alltag, sowie die Auswertung des Sonnenspektrums bezüglich der Sonnentemperatur und der Fraunhofer'schen Linien, die Farbtemperaturbestimmung von Glühlampen, sowie die Bestimmung chemischer Inhaltsstoffe von Gasentladungslampen. Außerdem wird die additive Farbmischung veranschaulicht, sowie grundlegende Funktionen des Datenanalyseprogramms QtiPlot kennen gelernt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Planck'sche Strahlungsgesetz

Die spektrale Strahldichte  $L_{S,\lambda}$  eines schwarzen Körpers wird durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben:

$$L_{S,\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi \lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad (1)$$

mit den Konstanten:

$$c_1 = 2\pi h c_0^2 = 3,7418 \cdot 10^{-16} W m^2 \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{hc_0}{k} = 1,4388 \cdot 10^{-2} mK \quad (3)$$

wobei folgende Größen verwendet wurden:

$\lambda$ : Wellenlänge

T: Temperatur (S steht für „schwarzer Körper“)

h: Planck'sche Wirkungsquantum

k: Stefan-Boltzmann Konstante

$c_0$ : Lichtgeschwindigkeit in Vakuum

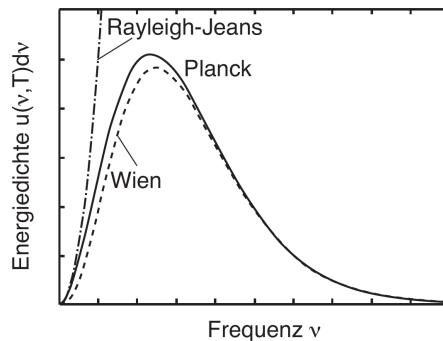


Abb. 1: Vergleich der Strahlungsgesetze: Während das Wien'sche Strahlungsgesetz bei hohen Frequenzen den realen Verlauf des Hohlraumstrahlers (Planck'sches Strahlungsgesetz) korrekt wieder gibt, stellt das klassische Rayleigh-Jeans-Gesetz den Verlauf bei niedrigen Frequenzen korrekt dar. [5]

### 2.2 Wien'sches Verschiebungsgesetz

Das Wien'sche Verschiebungsgesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines schwarzen Körpers und der Wellenlänge des Maximums:

$$\lambda_{\max} T = 2,8978 \cdot 10^{-3} mK \quad (4)$$

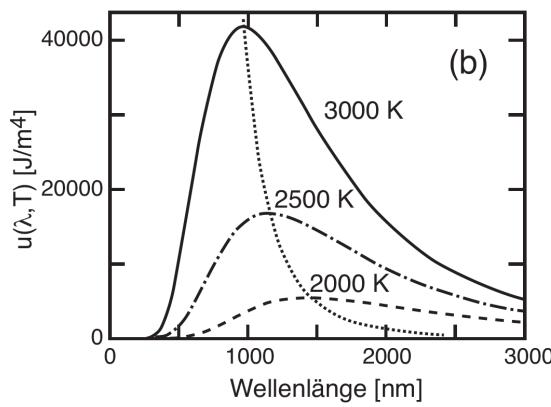


Abb. 2: In diesem Diagramm erkennt man, dass mit steigender Temperatur die Wellenlänge der maximalen Energiedichte kleiner wird, was genau das Wien'sche Verschiebungsgesetz aussagt [5]

### 2.3 Beugung am Transmissionsgitter

Mithilfe eines optischen Gitters lassen sich oft Intensitätsmaxima und -minima beobachten. Betrachten wir nun folgende Skizze:

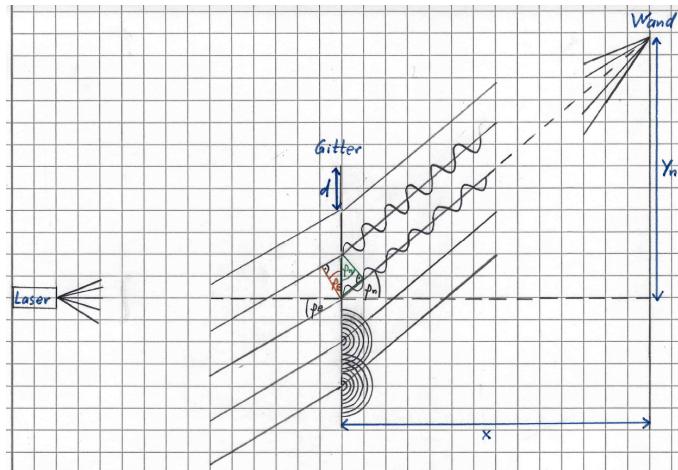


Abb. 3: Skizze (selbst erstellt)

Dabei wurden folgende Größen verwendet:

- $\lambda$ : Wellenlänge
- $g$ : Gitterkonstante ( $g = \frac{1}{d}$ )
- $d$ : Abstand der Spalte
- $n$ : Ordnung des Hauptmaximums
- $\varphi_e$ : Einfallswinkel des Laserstrahls
- $\varphi_n$ : Ablenkwinkel des Hauptmaximums (Winkel, unter welchem das  $n$ -te Beugungsmaximum beobachtet werden kann)
- $\Delta s$ : Gangunterschied
- $x$ : Abstand des Gitters zum Schirm (bei Reflexionsgitter über Reflexionsbereich gemittelt)
- $y_0$ : Abstand des unabgelenkten Strahls zum 0. Beugungsmaximum
- $y_n$ : Abstand des  $n$ -ten Beugungsmaximum vom 0. Beugungsmaximum

Dann gilt:

$$\sin \varphi_e = \frac{\Delta s_1}{d} \quad (5)$$

$$\sin \varphi_n = \frac{\Delta s_2}{d} \quad (6)$$

(7)

Und damit:

$$\Delta s_{Gesamt} = \Delta s_1 - \Delta s_2 = d(\sin \varphi_n - \sin \varphi_e) \quad (8)$$

Damit ein Maximum entsteht, sollte gelten:

$$\Delta s_{Gesamt} \stackrel{!}{=} n\lambda \quad (9)$$

Also:

$$n\lambda = d(\sin \varphi_n - \sin \varphi_e) \quad (10)$$

In dieser Skizze wurde folgende Näherung gemacht: Es wurde angenommen, dass die Strahlen beim Gitter parallel ein- und auslaufen. Dies ist erlaubt, da das Gitter viel weiter vom Laser und dem Schirm entfernt ist, als die Spaltabstände  $d$  sind.

### 3 Fragen und Antworten

#### 3.1 Prinzip der Beugung

Um ein Linienspektrum oder kontinuierliches Spektrum untersuchen zu können, muss man die ein- gestrahlte Strahlung zuerst in monochromatisches Licht<sup>1</sup> umwandeln. Diese räumliche Aufspaltung von Lichtstrahlen wird meist durch Beugung an Prismen oder optischen Gittern umgesetzt.

#### 3.2 Beugungsgitter vs. Doppelspalt

Die Lage der Maxima ist bei beiden Gitter durch die Gitterkonstante, also durch die Abstände zwischen den Spalten, bestimmt. Somit bleibt mit zunehmender Spaltenzahl die Lage der Maxima unverändert. Mit steigender Anzahl an Spalten werden jedoch die Maxima särfer:



Abb. 4: oben: Beugungsgitter mit 100 Spalten, unten: Doppelspalt [4]

Bei einer geringeren Spaltzahl (also Doppelspalt) werden die Nebenmaxima höherer Ordnung stärker abgeschwächt:

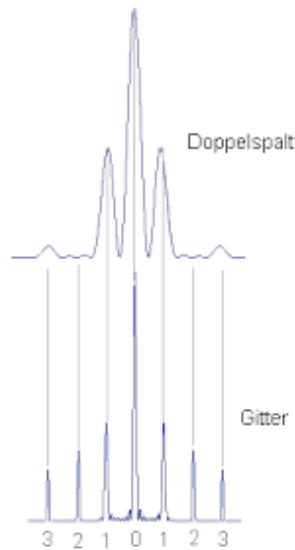


Abb. 5: Vergleich der Intensitätsverteilungen [4]

Um eine hohe Auflösungen zu erreichen, wünscht man sich in der Spektroskopie sehr scharfe Maxima. Deshalb wird meist ein Beugungsgitter anstatt eines Doppelspalts verwendet. Folgende Abbildungen zeigen noch die jeweiligen Intensitätsverläufe:

<sup>1</sup>einfarbiges Licht, also elektromagnetische Strahlung mit genau einer Wellenlänge

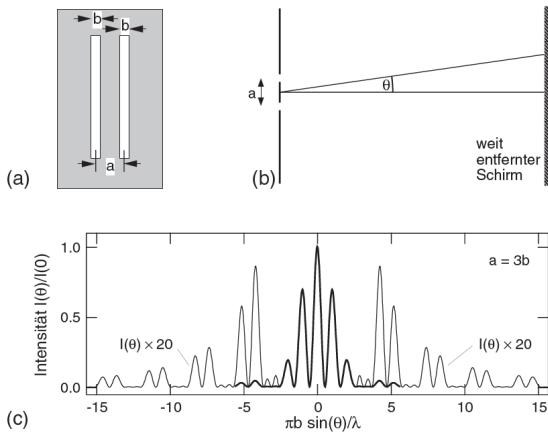


Abb. 6: Doppelspalt: (a), (b) schematische Darstellung, (c): Intensitätsverteilung für einen Spaltabstand  $a=3b$  [5]

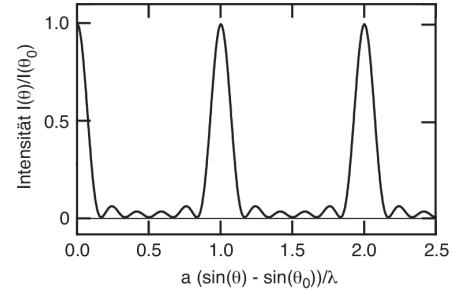


Abb. 7: Beugung am Gitter mit  $N=6$  Gitterstrichen [5]

### 3.3 Spektrum Temperaturstrahler und Gasentladungslampe

Ein Temperaturstrahler ist eine Lichtquelle, die Licht durch Erhitzung emittiert. Beispiele dafür sind die Sonne oder eine herkömmliche Glühbirne. Diese gibt nur 5 Prozent Licht ab, dafür aber durch die Glühwandel 95 Prozent Wärme. Eine weitere Eigenschaft von Temperaturstrahlern ist, dass sie ein kontinuierliches Spektrum aussenden. Nach dem Wien'schen Gesetz verschiebt sich das Maximum dieses Spektrums zu kürzeren Wellenlängen, je mehr die Temperatur steigt. Diese idealen kontinuierlichen Spektren hängen nur von der Temperatur ab (s. Abb. 1). In Wirklichkeit kommt es aber durch Absorptionsprozesse zu kleinen Abweichungen von dieser Idealvorstellung.

Eine Gasentladungsrohre besteht aus Kathode und Anode in einer gasgefüllten Glasröhre. Wird eine gewisse Mindestspannung angelegt, so kommt es zur Stoßionisation und Rekombination und durch Gasentladung wird Licht ausgesendet. Das Besondere an diesen Lampen ist, dass sie diskrete Spektren bzw. Linienspektren aussenden. Das heißt, sie emittieren gleichzeitig mehrere sehr enge Farbbänder, die von einem Wellenlängenbereich umrandet sind, in dem gar keine Strahlung liegt:

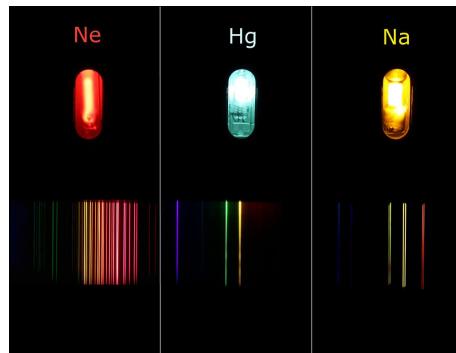


Abb. 8: Niederdruckentladungslampen mit Linienspektren [2]

Die Zusammensetzung dieser Linienspektren hängt von dem Gasdruck und den Atomsorten ab.

### 3.4 Bestimmung chemischer Elemente der Erd- und Sonnenatmosphäre

Um chemische Elemente in der Erdatmosphäre zu untersuchen, nutzt man die sogenannte AES (= atomic emission spectroscopy). Diese Methode basiert darauf, dass angeregt Atome eine für das chemische Element charakteristische elektromagnetische Strahlung aussenden. Es wird also eine Luftprobe durch passender Energiezufuhr zur Emission angeregt. Man muss dazu die exakten Wellenlängen nutzen. Deshalb wird diese Strahlung meist durch Gasentladungslampen erzeugt. Es werden Luftbestandteile ionisiert und in einzelne Atome zerlegt.

Will man dagegen keine chemischen Bindungen zerstören, so nutzt man die UV-VIS-Spektroskopie: Hier wird die Probe mit einem kontinuierlichen Spektrum bestrahlt, wodurch die Elektronen auf die Valenzschale angeregt werden. Dadurch erhält man Informationen über die vorliegenden Verbindungen.

Versucht man dagegen die Sonnenatmosphäre zu analysieren, so untersucht man direkt das von der Sonne emittierte Licht. Dieses verhält sich nahezu dem Planck'schen Strahlungsgesetz. Kleine Abweichungen können durch Absorptionen in der Atmosphäre entstehen. Da die Sonnenatmosphäre jedoch 5780 K hat, lässt sich vermuten, dass alle Verbindungen bereits zerstört sind.

### 3.5 Temperatur Sonnenoberfläche

Die Sonnenoberfläche besitzt eine Temperatur von ca. 5780 K. Folgende Abbildung zeigt den Intensitätsverlauf eines schwarzen Körpers mit dieser Temperatur:

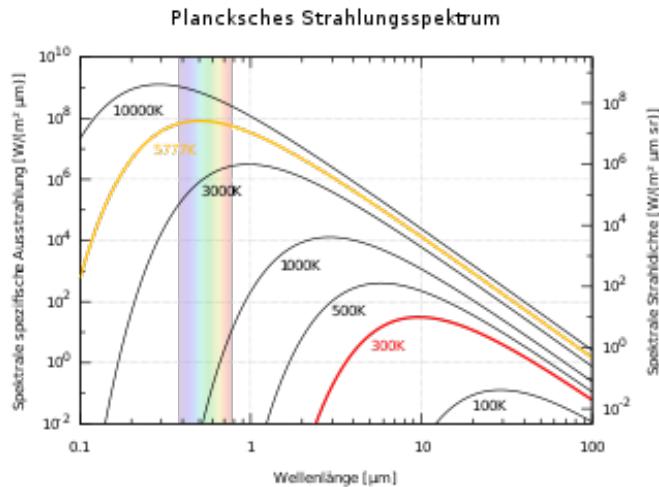


Abb. 9: Strahldichten [3]

Die Strahldichte des sichtbaren Bereichs ist farblich gekennzeichnet.

### 3.6 Berechnung der Temperatur

Damit das Intensitätsmaximum in der Mitte des sichtbaren Bereichs ( $\lambda_{max} = 600 nm$ ) liegt, müsste die Temperatur eines schwarzen Körpers nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetz bei

$$T = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3} mK}{600 nm} \approx 4,83 \cdot 10^3 K \quad (11)$$

liegen. Da der Schmelzpunkt von Wolfram bei 3695 K liegt, können solch hohe Temperaturen nicht mit einem herkömmlichen Glühdraht erreicht werden.

### 3.7 Bestimmung der Temperatur eines Glühdrahtes

Ist der Verlauf des Spektrums der Strahlung bekannt, so kann die Temperatur eines Glühdrahtes in guter Näherung relativ einfach mithilfe des Wien'schen Verschiebungsgesetzes bestimmt werden:

$$T = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3} mK}{\lambda_{max}} \quad (12)$$

Ist dahingegen nur ein kleiner Ausschnitt des Verlaufs (z. B. nur der sichtbare Bereich) bekannt, so kann mit dem Planck'schen Strahlungsgesetzes (1) die Temperatur bestimmt werden. Diese Formel kann unter Berücksichtigung eines multiplikativen Faktors (< 1), welcher dem spektralen Emissionsgrad entspricht, auf die Spektren real glühender Körper angewandt werden.

### 3.8 Farbtemperatur

Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz hängt die Energiedichte eines schwarzen Körpers nur von der Wellenlänge und der Temperatur ab. Man definiert nun die sogenannte Farbtemperatur als die Temperatur eines schwarzen Körpers. Es ist also die Temperatur, die zu einer bestimmten Farbe (Wellenlänge) des emittierten Lichts gehört:

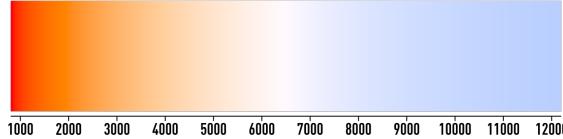


Abb. 10: Farbtemperatur in Kelvin [1]

Paradoxerweise hat rotes Licht eine geringere Farbtemperatur als blaues Licht.

Man führt dabei folgende Unterteilung ein:

Lichtquelle	Farbtemperatur [K]
Warmweiß	< 3300
Neutralweiß	3300 - 5300
Kaltweiß (Tageslichtweiß)	> 5300

Auch in der Digitalfotografie gibt es verschiedene Farbtemperatur-Einstellungen:



Abb. 11: Verschiedene Farbtemperatur-Einstellungen bei der Digitalfotografie [1]

Die Schwarzkörperstrahlung beschreibt die Emission eines Temperaturstrahlers ziemlich gut. Daher stimmt die Farbtemperatur eines Temperaturstrahlers (z. B. Glühlampe) sehr gut mit seiner tatsächlichen Temperatur überein.

Bei Energiesparlampen (Gasentladungslampen) wird das Spektrum nicht besonders gut durch die Schwarzkörperstrahlung beschrieben. Daher stimmt auch die Farbtemperatur nicht mit der tatsächlichen Temperatur überein. Mithilfe der Farbtemperatur lässt sich hier also nur ein Farbeindruck der Lichtquelle bestimmen.

### 3.9 Zusammenhang spezifischer Ausstrahlung und Temperatur

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen spezifischer Ausstrahlung und Temperatur eines schwarzen Körpers. Die Strahlungsleistung P ergibt sich durch:

$$P = \sigma AT^4 \quad (13)$$

wobei

$\sigma$ : Stefan-Boltzmann-Konstante ( $\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^2} \approx 5,670 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ )

A: Fläche des schwarzen Körpers

T: Temperatur in Kelvin

Also ist die Leistung direkt proportional zur vierten Potenz der Temperatur.

### 3.10 chemische Inhaltsstoffe Gasentladungslampe

Eine Gasentladungslampe besitzt ein Linienspektrum (vgl. 3.3). Dieses ist charakteristisch für die vorhandenen Elemente. Somit kann das von der Gasentladungslampe emittierte Licht direkt analysiert werden. Anschließend muss es mit den tabellierten Emissionslinien der jeweiligen chemischen Elemente verglichen werden

## 4 Durchführung

### 4.1 Allgemeine Hinweise

Bei diesem Versuch ist darauf zu achten, dass man die Lampe vor dem Wechseln abkühlen lässt und dann nicht die Kontakte in der Lampenfassung berührt. Außerdem soll der Lichtwellenleiter nicht zu sehr gebogen werden und der Lichtwellenleitereingang nicht berührt werden. Will man eine Spektroskopie der Glühlampe durchführen, so sollte der Abstand zwischen Lichtwellenleiter und Lampe mindestens 15 cm betragen. Das Spektrometer besitzt einen Messbereich von 190–850 nm und eine optische Auflösung von 1 nm.

### 4.2 Einführende Versuche

#### 4.2.1 Einführung in SpectraWiz

Zuerst wird der Lichtwellenleiter auf die 75W-Glühlampe ausgerichtet und das Dunkelspektrum bei abgeschalteter Lampe aufgenommen:

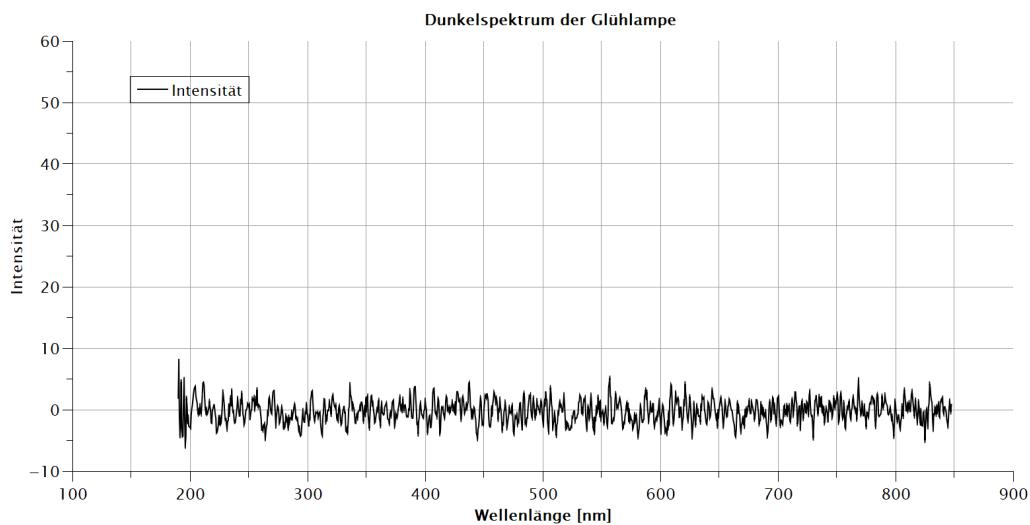


Abb. 12: Dunkelspektrum der Glühlampe

Da es immer auch eine gewisse Hintergrundstrahlung gibt (Zimmerbeleuchtung, Sonne, ...), bringt man die Intensität kaum über den gesamten Wellenlängenbereich auf null. Dies würde jedoch die Spektroskopie der Glühlampe negativ beeinflussen. Deshalb muss man vor jeder Messung das Dunkelspektrum aufnehmen, um für die tatsächliche Messung dann ein unverfälschtes Ergebnis zu bekommen.

Nun wird die Glühlampe eingeschaltet und eine Spektroskopie durchgeführt. Es ergibt sich folgendes Diagramm:

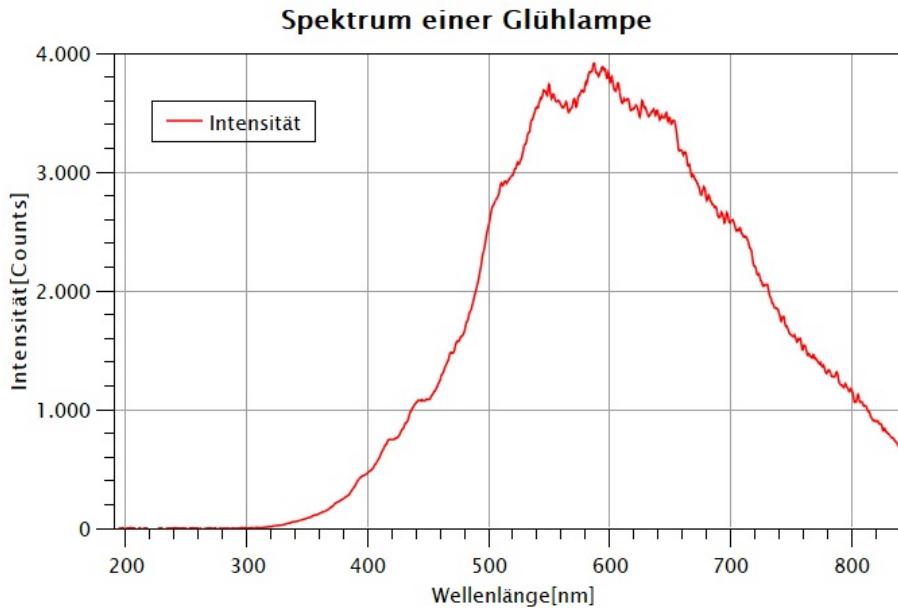


Abb. 13: Spektroskopie der Glühlampe

Es wurde darauf geachtet, dass das Maximum des angezeigten Graphen zwischen 3000 und 4000 auf der Counts-Skala liegt. Hierbei wurde eine „Detector Integration Time“ von 100 verwendet. Würde man 200 verwenden, so würde sich die Intensität ändern und der Graph wäre abgeschnitten, da über eine zu lange Zeit aufgenommen werden würde. Bei einer Änderung der „Number of scans to average“ (AVG) lässt sich keine signifikante Änderung feststellen. Mit dem Datenleser in QtiPlot lässt sich  $\lambda_{max} = 587 \text{ nm}$  bestimmen. Dann gilt mit dem Wien'schen Gesetz:

$$T = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}{587 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \approx 4937 \text{ K} \quad (14)$$

Der Glühdraht aus Wolfram hat allerdings einen Schmelzpunkt bei 3695 K. Somit kann die Intensitätsverteilung in Abb. 14 nicht der tatsächlichen Verteilung eines Glühlampenspektrums entsprechen.

#### 4.2.2 Aufnahme von Transmissionsspektren

Zuerst wird das Dunkelspektrum bei abgeschalteter Glühlampe aktualisiert. Dann wird das Glühlampenspektrum als Referenzspektrum aufgenommen, damit man die Intensitäten mit und ohne Filter vergleichen kann. Nun muss in den Transmissionsmodus umgeschaltet werden. Beträgt im Transmissionsmodus die Intensität meist (über einen großen Wellenlängenbereich) 100 %, wenn kein Filter dazwischengeschaltet ist, so sind das Referenzspektrum und Dunkelspektrum richtig eingestellt bzw. sind noch aktuell. Im unsichtbaren Bereich, also unterhalb von 350 nm, ist keine sinnvolle Transmissionsmessung möglich, da es dort nicht möglich ist die Intensität konstant zu halten.

Nun wird ein roter Farbfilter senkrecht zum Strahlenverlauf mit der gewölbten Seite zum Lichtwellenleiter in den Strahlengang gehalten. Dann wird das mit einem blauen Farbfilter wiederholt und dann mit einer Kombination aus beiden. Es ergeben sich folgende Spektren:

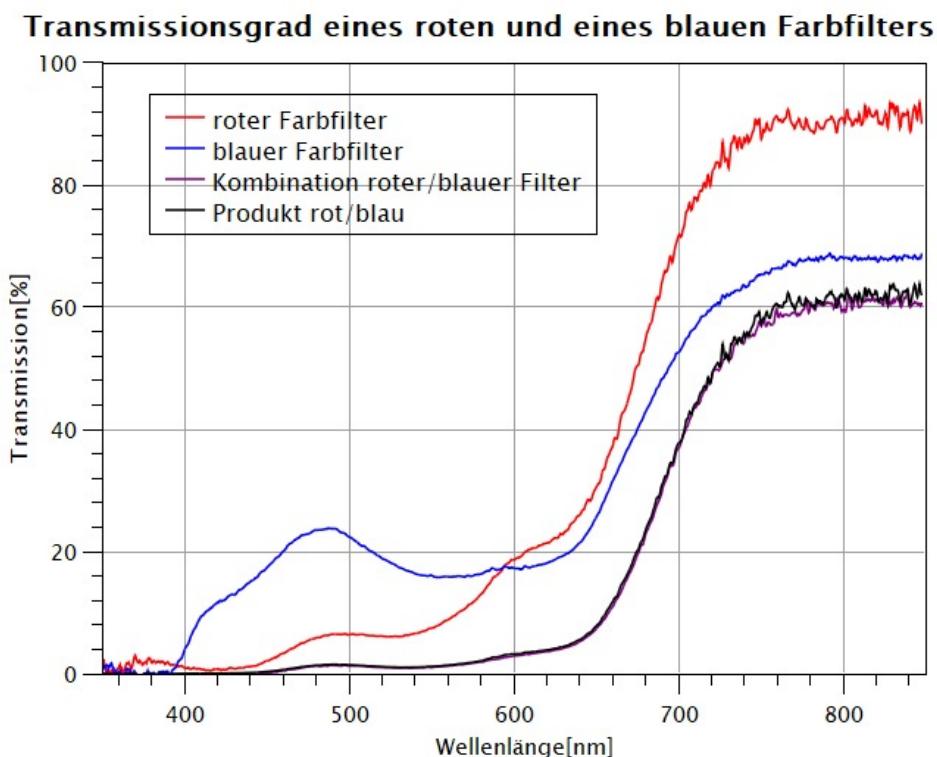


Abb. 14: Spektrum eines roten, blauen und kombinierten Farbfilters

Man erkennt an den Spektren, dass vor allem die Wellenlänge, die der Farbe der Filter entspricht, die jeweiligen Filter transmittiert. So transmittiert also zum Beispiel der blaue Farbfilter vor allem blaues Licht ( $\lambda = 460 \text{ nm}$ ), wohingegen der rote Farbfilter vor allem rotes Licht ( $\lambda = 710 \text{ nm}$ ) transmittiert. Kombiniert man die beiden Farbfilter, so fällt auf, dass die Kurve sehr gut mit dem Produkt der Intensitäten der beiden Filter übereinstimmt:

$$I_{\text{Kombination}} = I_{\text{Rot}} \cdot I_{\text{Blau}} \quad (15)$$

#### 4.2.3 Aufnahme von Emissionsspektren

Nun wird wieder in den Scope-Modus gewechselt und das Spektrum einer Energiesparlampe aufgenommen:

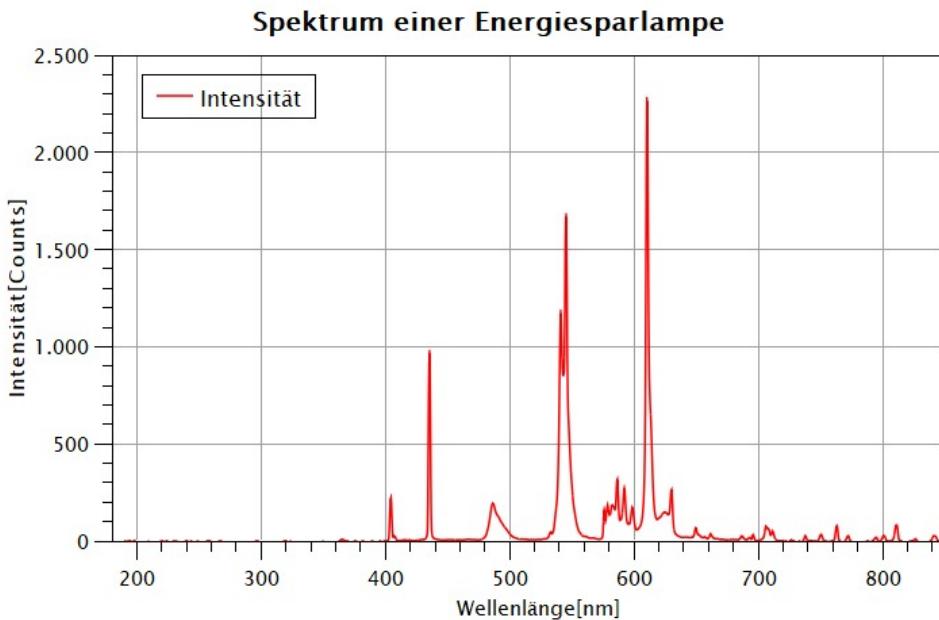


Abb. 15: Spektrum einer Energiesparlampe

Hier liegt ein sogenanntes diskretes Spektrum (Linienspektrum) vor, da die Intensität nur bei einigen bestimmten, diskreten Wellenlängen Werte ungleich null zeigt. Dahingegen ist das Spektrum einer Glühlampe ein kontinuierliches Spektrum, da die Intensität hier über einen größeren Bereich ungleich null ist.

Dann wurden die Spektren der Leuchtdioden mit den Farben Rot, Grün und Blau aufgenommen und die jeweiligen Wellenlängenwerte der Maxima bestimmt:

$$\lambda_{max,Rot} = 630 \text{ nm} \quad (16)$$

$$\lambda_{max,Grün} = 520 \text{ nm} \quad (17)$$

$$\lambda_{max,Blau} = 440 \text{ nm} \quad (18)$$

Durch diese Wellenlängenwerte lässt sich ziemlich genau auf die jeweiligen Farbeindrücke schließen, da sie mit den tabellierten Wellenlängen der jeweiligen Farben übereinstimmen:

$$\lambda_{Rot} = 640 \text{ nm} - 780 \text{ nm} \quad (19)$$

$$\lambda_{Grün} = 490 \text{ nm} - 570 \text{ nm} \quad (20)$$

$$\lambda_{Blau} = 430 \text{ nm} - 490 \text{ nm} \quad (21)$$

#### 4.2.4 Bestimmung der Farbtemperatur einer Glühlampe

Da die Farbtemperatur immer auf einen schwarzen Körper bezogen ist, muss mithilfe einer Umrechnungstabelle das angepasste Spektrum der Glühlampe dargestellt werden. Leider liegt diese Umrechnungstabelle aktuell nicht vor, wodurch im Folgenden immer Abweichungen entstehen. Legt man anstatt der zuvor verwendeten Wechselspannung ( $f = 50 \text{ Hz}$ ) jetzt Gleichspannung an, so wird die Kurve deutlich glatter. Im folgenden Diagramm wurde mithilfe des Fit-Assistenten für den Wellenlängenbereich von 1–2000 nm eine geeignete Fit-Kurve erstellt:

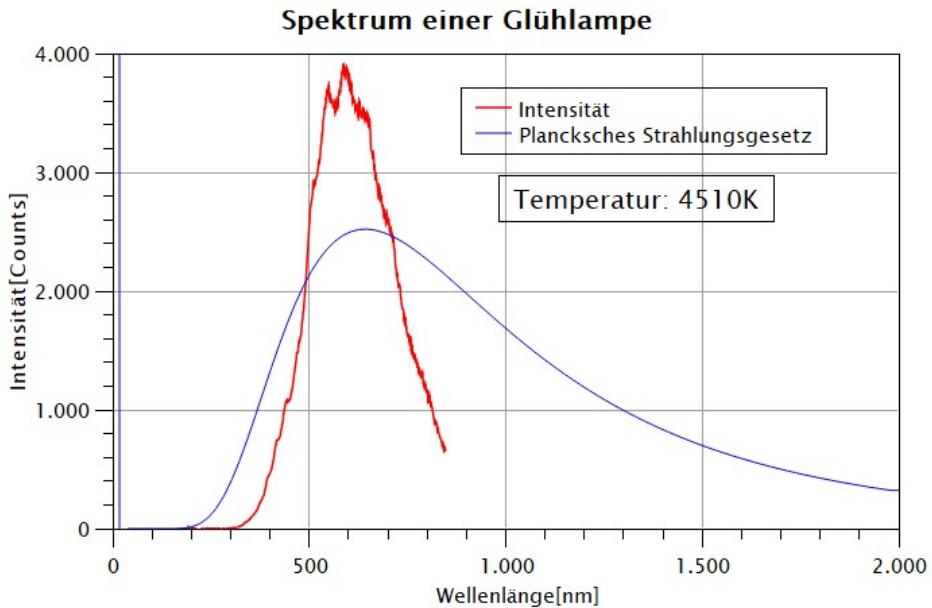


Abb. 16: Spektrum der Glühlampe mit Fit-Kurve des Planck'schen Strahlungsgesetzes

Dadurch wurde eine Temperatur von 4510 K ermittelt. Da der Glühdraht aus Wolfram mit einem Schmelzpunkt von 3695 K besteht, kann diese ermittelte Temperatur allerdings nicht korrekt sein. Dies ist auf das Fehlen der Umrechnungstabelle zurückzuführen.

Bei einer Glühlampe ist die Temperatur viel zu hoch, was zu einer sehr hohen Abwärme führt (ca. 95 %). Deshalb ist die Glühlampe als Beleuchtungsmedium nicht effizient.

Mit dem Wien'schen Verschiebungsgesetzes lässt sich leicht die Lage des Maximums des angezeigten Schwarzkörperspektrums bestimmen:

$$\lambda_{max} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}{4510 \text{ K}} \approx 643 \text{ nm} \quad (22)$$

Dies stimmt gut mit dem Diagramm überein. Umgekehrt könnte man genauso gut die Temperatur aus der Wellenlänge des Maximums berechnen. Auch das würde gut zusammenpassen.

#### 4.2.5 Erzeugung verschiedener Farbtemperaturen mit einem Glühlämpchen

In diesem Abschnitt werden drei verschiedene Spektren des vorhandenen Glühlämpchens aufgenommen, indem die Gleichspannung am Netzgerät verändert wird:

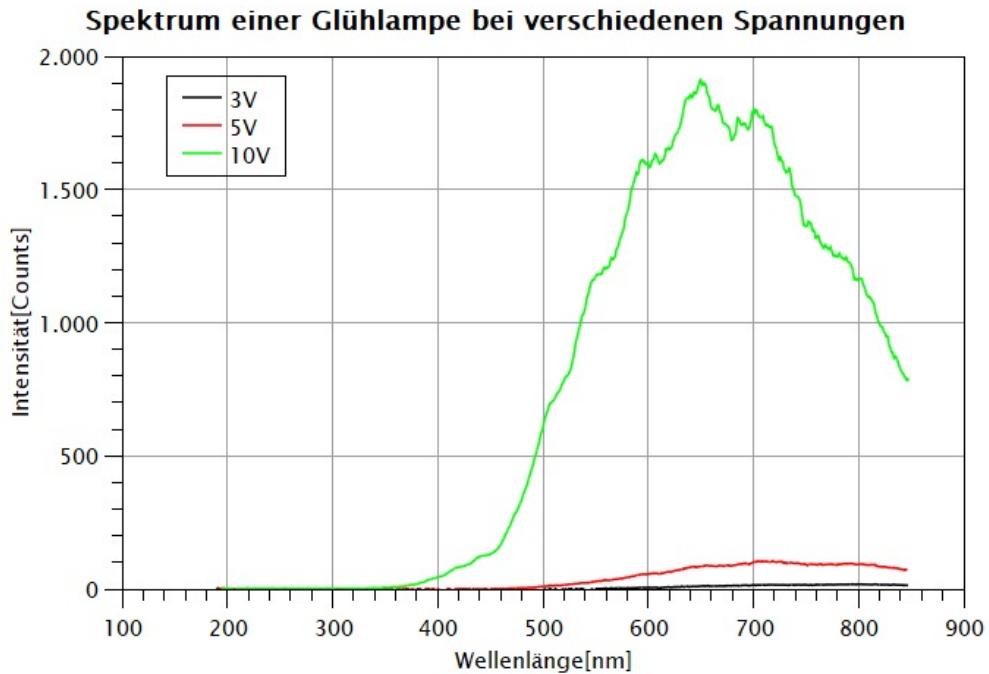


Abb. 17: Variation der Spannungswerte für das Glühlämpchen

Mithilfe von QtiPlot wurden dann folgende Farbtemperaturen ermittelt:

$$T(U = 3 \text{ V}) = 1918 \text{ K} \quad (23)$$

$$T(U = 5 \text{ V}) = 2398 \text{ K} \quad (24)$$

$$T(U = 10 \text{ V}) = 3597 \text{ K} \quad (25)$$

Die Interpolationskurven wurden der Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet. Wie zu erwarten war, wird hierbei mit zunehmender Spannung auch die Intensität größer. Dies liegt daran, da mit zunehmender Spannung  $U$  auch die Leistung  $P$  nach der Formel  $P = U \cdot I$  größer wird und somit die Intensität über den ganzen Wellenlängenbereich.

## 4.3 Auswertung des Sonnenspektrums

### 4.3.1 Bestimmung der Oberflächentemperatur der Sonne

Der Lichtwellenleiter wird so vor das Fenster gehalten, dass man das Sonnenspektrum aufnehmen kann. Es genügt also eine Aufnahme des Streulichts des „Himmels“ aufzunehmen, anstatt einen direkten Blickkontakt mit der Sonne zu haben. Da es bewölkt war, musste die Integrationszeit auf 1000 ms erweitert werden, um das Maximum der Intensität zwischen 3000 und 4000 Counts zu bekommen:

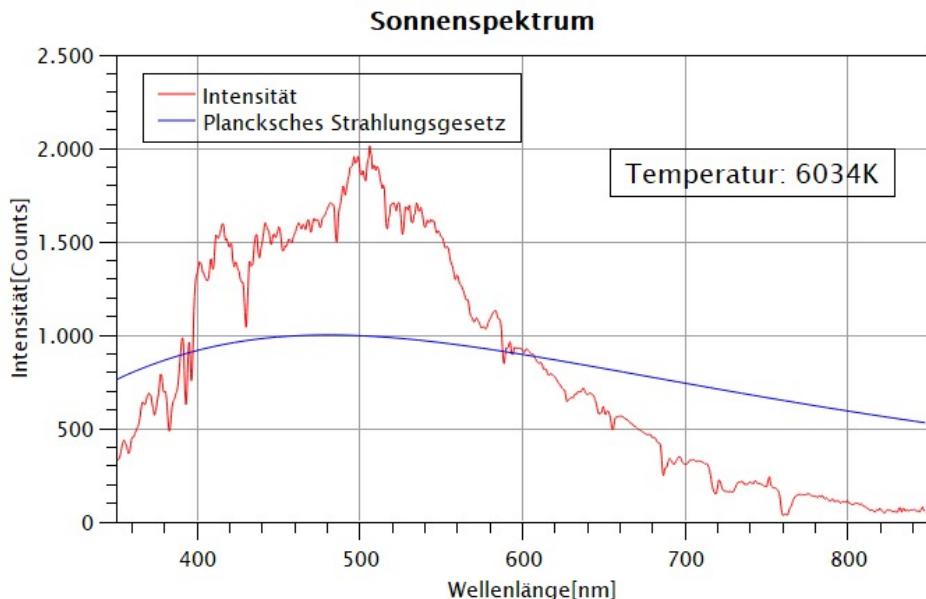


Abb. 18: Aufnahme des Sonnenspektrums mit Schwarzkörperspektrum

Durch das Einzeichnen der Fit-Kurve konnte eine Oberflächentemperatur der Sonne von 6034 K ermittelt werden. Es gibt also eine Abweichung von 4,4 % zur tatsächlichen effektiven Oberflächentemperatur von 5778 K. Dabei können Fehler wie Absorption durch die Atmosphäre oder Streuung/Absorption durch die Fensterscheibe aufgetreten sein. Vermutlich hätte man auch bei sonnigen Wetter eine bessere Auswertung erhalten. Zudem ist auch die Sonne kein idealer schwarzer Körper, wodurch die Farbtemperatur nicht exakt der effektiven Temperatur entspricht.

#### 4.3.2 Bestimmung der wichtigsten Fraunhofer'schen Linien

Bei diesem Versuchsteil werden mithilfe des Datenlesers in QtiPlot die Wellenlängen der „Einbrüche“ im Spektrum bestimmt, welche den jeweiligen Fraunhofer'schen Linien entsprechen:

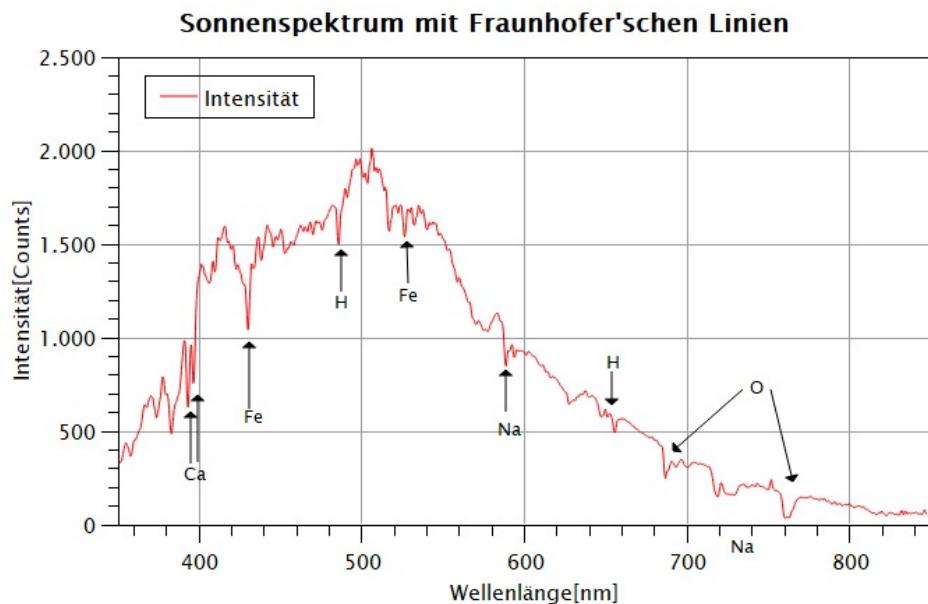


Abb. 19: Aufnahme des Sonnenspektrums mit Schwarzkörperspektrum

Damit kann die chemische Zusammensetzung der Gasatmosphäre der Sonne bestimmt werden.

## 4.4 Bestimmung chemischer Elemente

### 4.4.1 Glimmlampe in Schalterbeleuchtung

Es soll das Spektrum einer Glimmlampe im Scope-Modus dargestellt werden. Dies erhält man durch Aufnahme der Schalterbeleuchtung einer Steckdosenleiste. Es wird also der Lichtwellenleiter senkrecht über den Schalter in einem Abstand von wenigen Zentimetern justiert. Es ergibt sich folgendes Spektrum<sup>2</sup>:

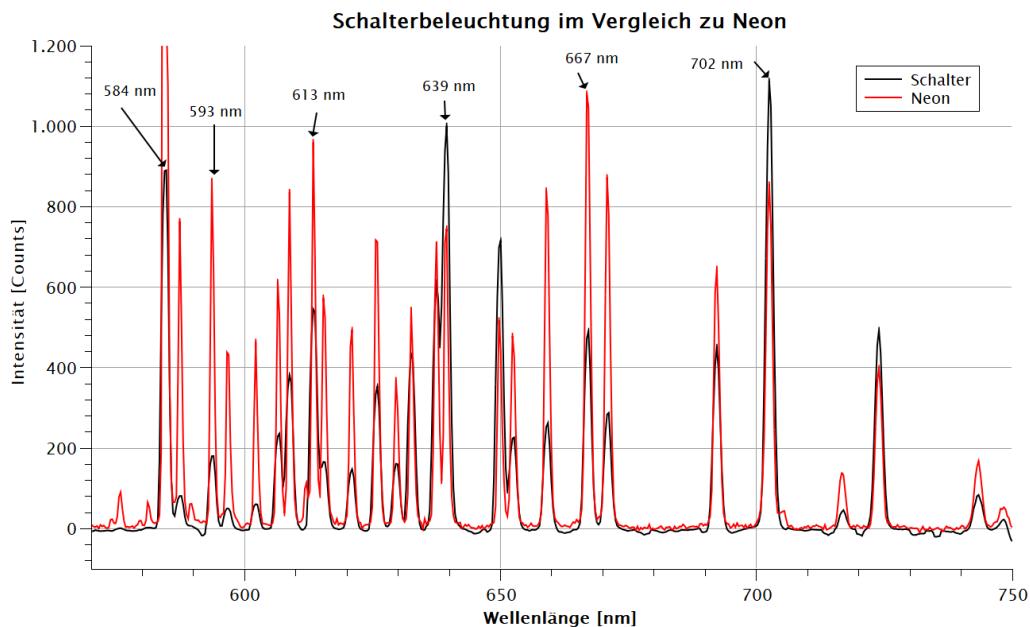


Abb. 20: Spektrum der Schalterbeleuchtung im Vergleich zum Spektrum von Neon

Vergleicht man das Spektrum der Schalterbeleuchtung mit dem Spektrum von Neon so fallen viele Ähnlichkeiten auf. Also ist das für die Strahlung verantwortliche chemische Element in der Glimmlampe Neon. Der transparent gefärbte Kunststoff des Schalters beeinflusst die Aufnahme des Spektrums insofern, dass bei den meisten Wellenlängen die Glimmlampe eine kleinere Intensität aufzeigt als Neon. Dies liegt an der Absorption von Strahlung am Kunststoff. Dadurch nimmt die Intensität ab. Bei diesem Versuchsteil ist keine Umrechnung der Daten in QtiPlot notwendig, da kein absoluter Wert für die Intensität, sondern nur die Wellenlänge der Peaks benötigt wird.

Im Gegensatz zur Auswertung mit Tabellenwerten hat dieses Verfahren den Vorteil, dass es viel schneller geht einen Blick auf zwei Graphen zu werfen als mehrere Hundert Tabellenwerte miteinander zu vergleichen. Außerdem ist ein Graph auch viel übersichtlicher, da man bei Tabellenwerten tatsächlich nur immer zwei Werte vergleichen kann aber nicht den direkten Verlauf sieht.

<sup>2</sup>Da das Spektrum bei ca. 584 nm eine Intensität von fast 3000 counts aufweist, wurde es an dieser Stelle abgeschnitten, da sonst der Rest des Diagramms sehr klein dargestellt werden würde

#### 4.4.2 Energiesparlampe

Nun wird noch das Spektrum einer Energiesparlampe aufgenommen und mit dem Spektrum von Quecksilber verglichen:

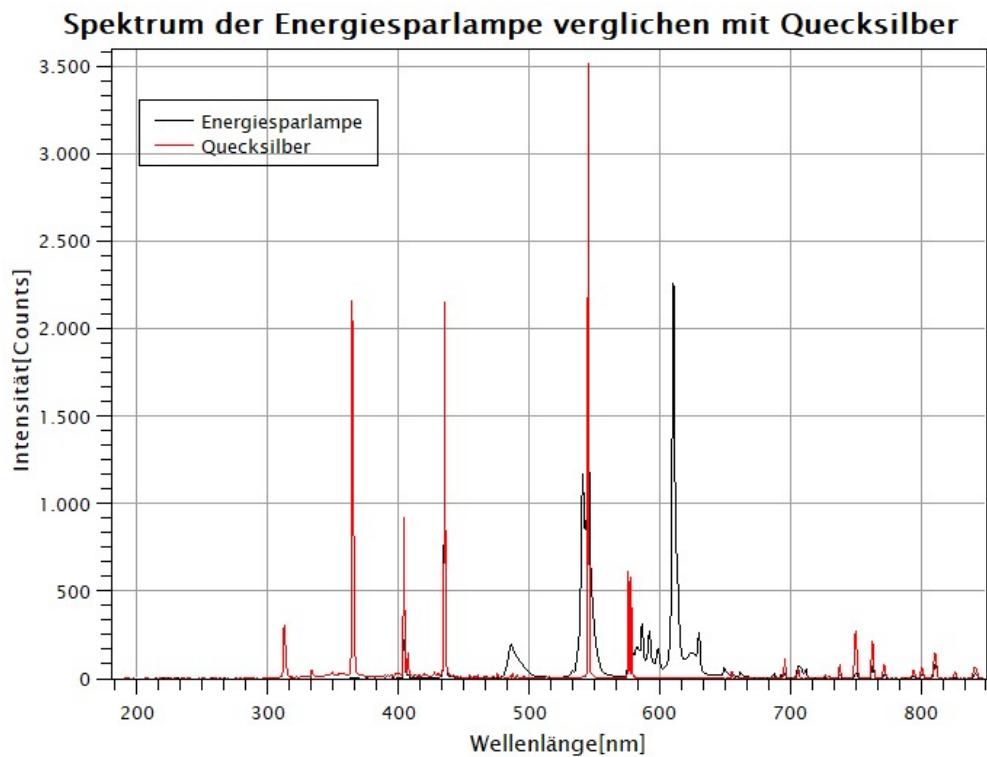


Abb. 21: Spektrum der Energiesparlampe im Vergleich zum Spektrum von Quecksilber

Auch hier fallen Ähnlichkeiten zwischen den beiden Spektren auf. So haben zum Beispiel beide bei etwa 550 nm einen Peak. Dies zeigt, dass in der Energiesparlampe Anteile von Quecksilber vorhanden sind.

## 4.5 Additive Farbmischung

Im letzten Versuchsteil soll noch das zeitlich verändernde Spektrum der vor Ort ausliegenden farbwechselnden LED Lampe im Scope-Modus betrachtet werden. In dieser Lampe wurden drei verschiedenfarbige LEDs eingesetzt. Nach den Spektren besitzen diese LEDs folgende Peak-Wellenlängen:

$$\lambda = 620 \text{ nm} \rightarrow \text{Rot} \quad (26)$$

$$\lambda = 430 \text{ nm} \rightarrow \text{Blau} \quad (27)$$

$$\lambda = 560 \text{ nm} \rightarrow \text{Gelb} \quad (28)$$

Diese aus den Peak-Wellenlängen bestimmten Farben stimmen mit den von uns beobachteten Farben der LEDs überein.

Bei Energiesparlampen erkennt man, dass aufgrund eines Farbeindrucks nicht auf die zugrundeliegenden Wellenlängen geschlossen werden kann, da das Spektrum nicht mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz eines schwarzen Körpers übereinstimmt.

Zum Schluss wird noch das Licht der drei LEDs auf eine weiße Fläche im Abstand von 10 cm gerichtet und mithilfe eines Gegenstandes ein Schatten erzeugt. Dann wird der LED-Aufbau gedreht, so dass verschiedenfarbige Schatten entstehen. Dabei fällt auf, dass die sogenannten **bunten Schatten** (Halbschatten) vor allem bei der direkten Umrandung des schwarzen Kernschattens auftreten und dabei eine Mischung der verwendeten Farben auftritt. Dies wird auch additive Farbmischung genannt.

## 5 Fazit

Dieser Versuch verschaffte mir ein deutlich besseres Bild über die Spektroskopie. Dabei wurden nochmal Elemente aus der Experimentalphysik 3 - Optik vertieft und aufgefrischt. Ich fand es sehr faszinierend, dass man durch einen solch einfachen Versuch die chemische Zusammensetzung der Sonne doch relativ gut bestimmen kann. Außerdem wurde mir bewusst, dass sich die Spektroskopie im Allgemeinen sehr gut zur Materialuntersuchung nutzen lässt. Leider konnten nicht alle Versuchsteile komplett durchgeführt werden, da die Umrechnungstabelle fehlte. Im Großen und Ganzen machte dieser Versuch aber Spaß und ist definitiv zu empfehlen.

## Literaturverzeichnis

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Farbtemperatur>.
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Gasentladungsröhre>.
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Strahldichte>.
- [4] [www.schule bw.de](http://www.schule.bw.de).
- [5] Zinth. *Optik, Lichtstrahlen- Wellen-Photonen.* 4. Auflage. Oldenbourg Verlag München, 2013.