

Praktikum Materialwissenschaften I

Spektrometer und optische Eigenschaften verschiedener Lichtquellen

10. Januar 2008

Versuchsbetreuer: Oliver Ottinger

Gruppe 8:

Jonathan Griebel (j.griebel@gmx.net)

Andreas Hanauer (andi.hanauer@web.de)

Anja Habereeder (habereeder@stud.tu-darmstadt.de)

1 Einleitung

Das Ziel dieses Versuches ist es, die Emissionsspektren von verschiedenen Leuchtmitteln zu bestimmen und daraus auf ihre Funktionsweise zu schließen. Die Spektren von Glühbirne und Halogenlampe, sowie Energiesparlampe und LED (Light Emitting Diode) werden mit Hilfe eines Spektrometers untersucht. Hierbei können thermische Strahler wie die Glühbirne oder Halogenlampe und andere effizientere Methoden der Lichterzeugung, wie die LED oder Energiesparlampe anhand des Spektrums unterschieden werden.

2 Versuchsaufbau

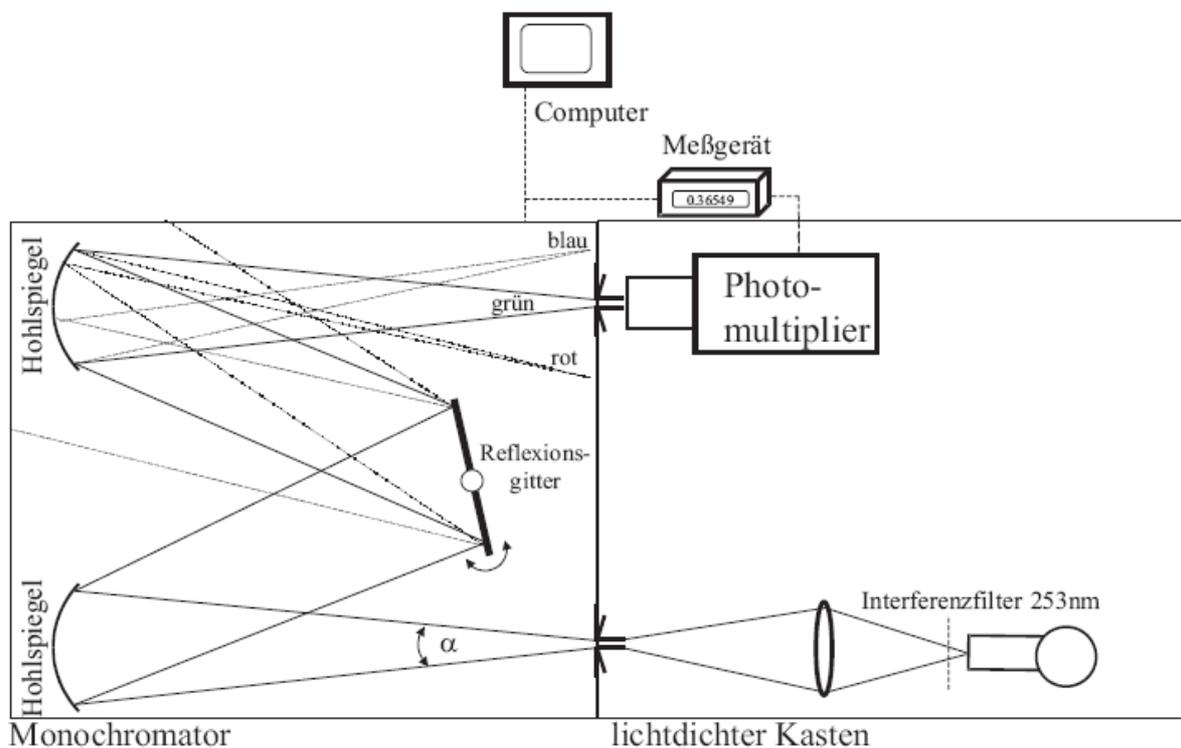


Abbildung 1 - Schematischer Versuchsaufbau des Spektrometers

Abbildung 1 zeigt den schematischen Versuchsaufbau des Spektrometers. Das Licht der zu untersuchenden Lichtquelle fällt innerhalb des lichtdichten Kastens auf eine Öffnung hin zum Monochromator (Jobin Yvon HR64). Der dort monochromatisierte Lichtstrahl trifft nun auf einen mit 450 Volt betriebenen Photomultiplier, welcher das Lichtsignal verstärkt und als elektrisches Signal an ein Voltmeter weiterleitet. Die dort gemessene Spannung wird von einem Computer ausgelesen, welcher auch den Monochromator steuert. Die ermittelten Daten werden mit Hilfe eines LabView Programms aufgezeichnet.

3 Auswertung

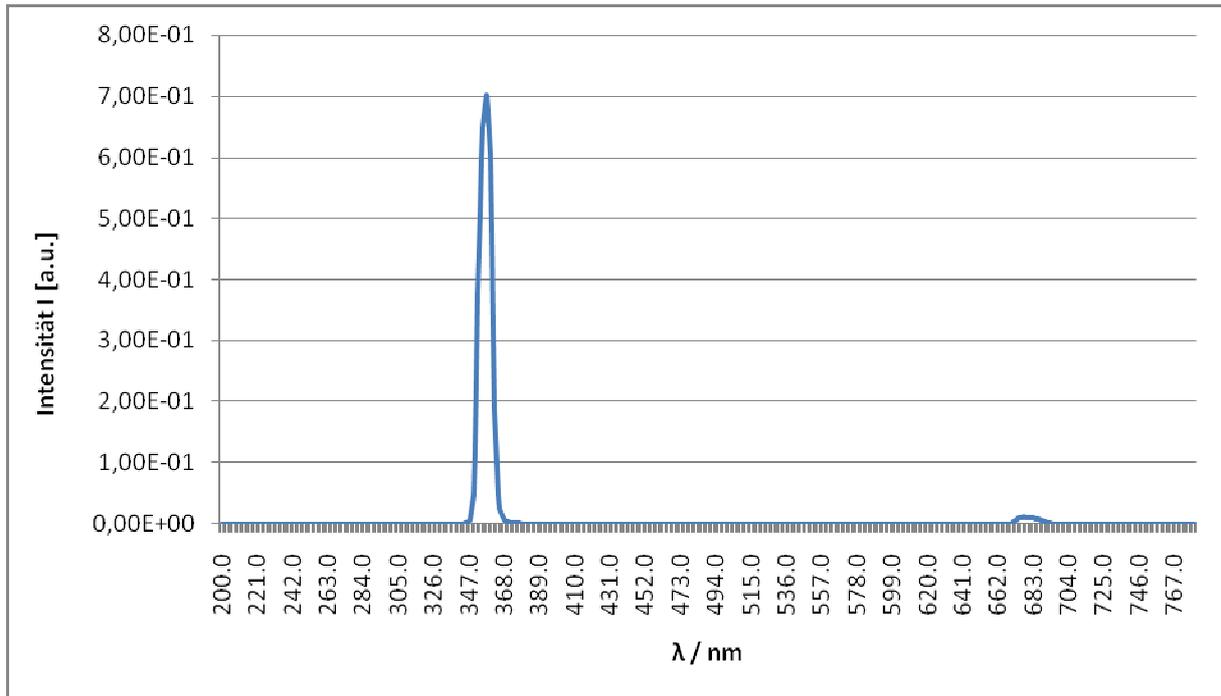


Abbildung 2 - Spektrum einer Xenonlampe mit vorgeschaltetem Interferenzfilter

Zuerst wird ein Interferenzfilter vor eine Xenonlampe gestellt, der nur für Licht mit einer Wellenlänge von etwa 350 nm durchlässig ist. Diese Messung dient als Test für die korrekte Zuordnung der Wellenlänge durch den Monochromator.

Die Messung ergibt einen zu erwartenden Peak bei 350 nm sowie einen dazu vergleichsweise sehr kleinen unerwarteten Peak bei 700 nm. Der Peak bei 350 nm zeigt uns die richtige Zuordnung der Wellenlänge durch den Monochromator da auch nur solches Licht in den Monochromator gelangt ist. Der zweite Peak bei 700 nm ist jedoch das Maximum zweiter Ordnung des Lichts mit 350 nm Wellenlänge. Es erscheint an der gleichen Stelle, an der das Maximum erster Ordnung von Licht mit einer Wellenlänge von 700 nm erscheinen würde, wie aus der Gleichung $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ klar ersichtlich ist.

Wir sehen also, dass dieses Messgerät nicht in der Lage ist zwischen 2λ und $2 n$ zu unterscheiden. Der Photomultiplier gibt hier also die Stärke des Hauptmaximums doppelter Ordnung (im Vergleich zum vorher gemessenen) aus, als ob es eine zweite messbare Wellenlänge gäbe, was jedoch nicht der Fall ist.

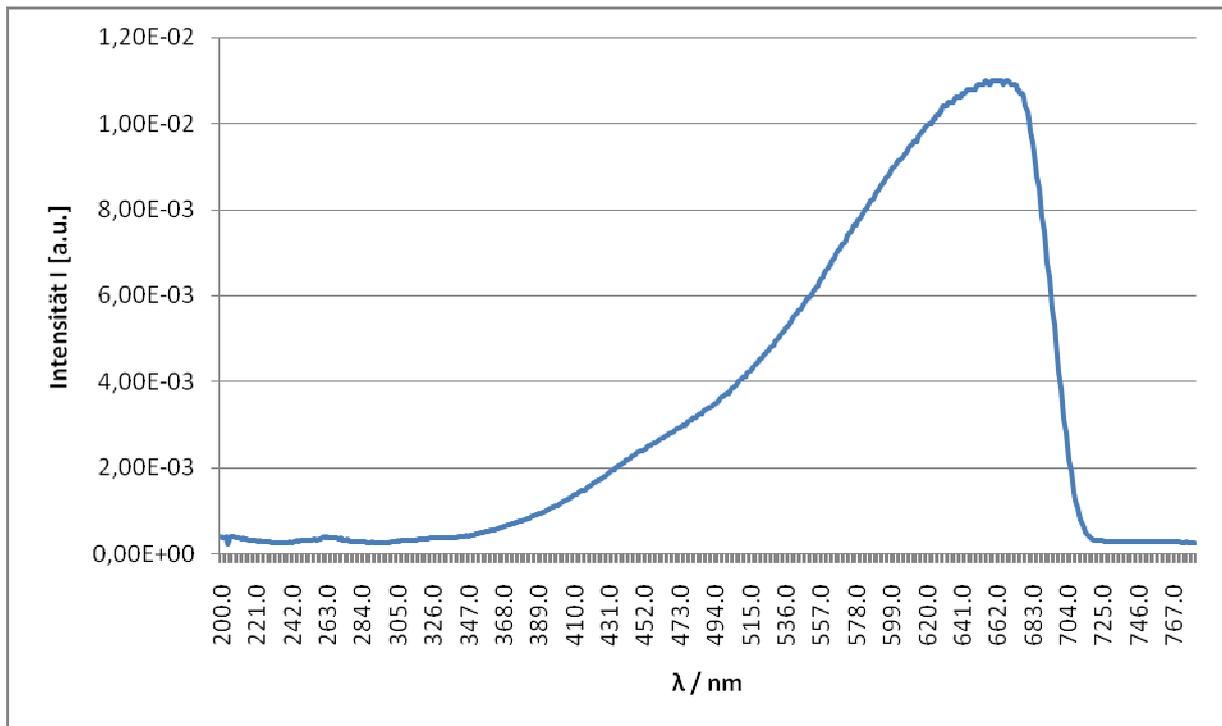


Abbildung 3 – Spektrum einer Glühbirne

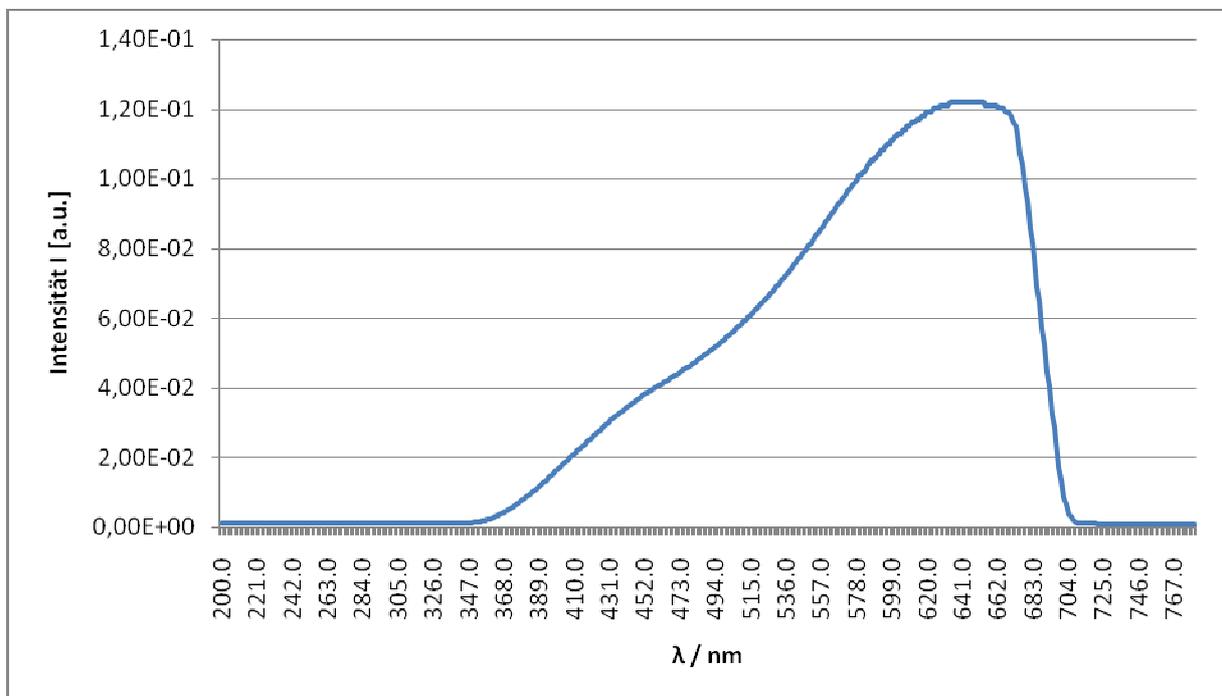


Abbildung 4 - Spektrum einer Halogenlampe

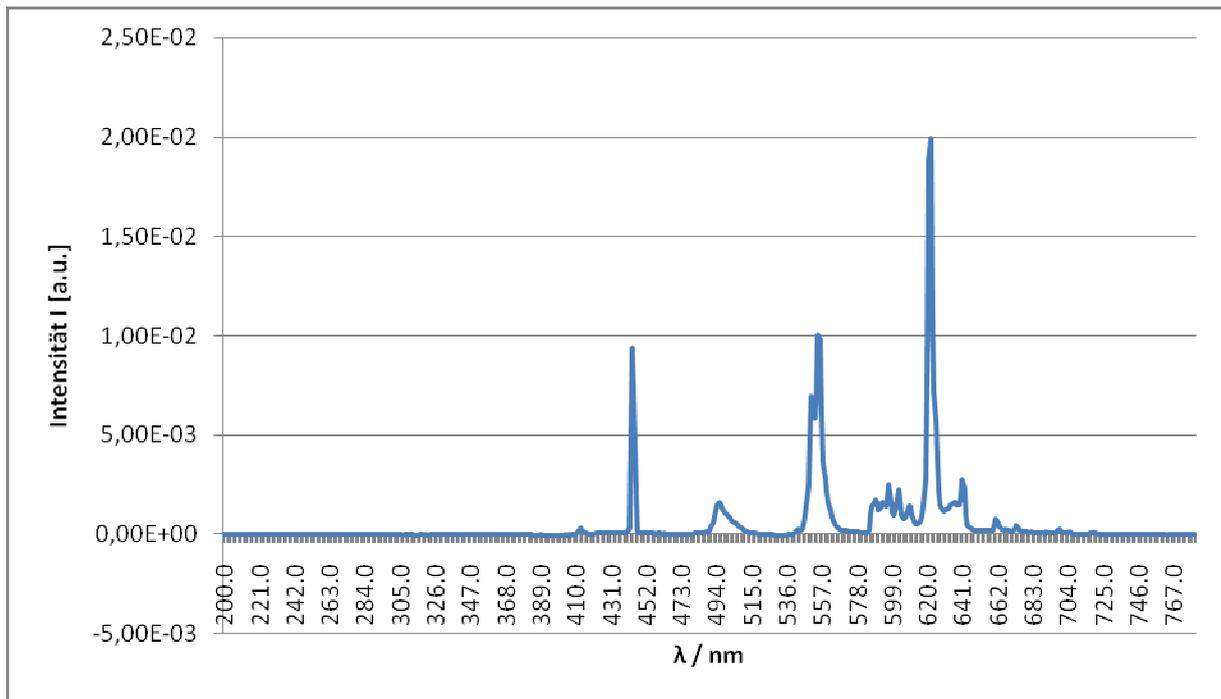


Abbildung 5 - Spektrum einer Energiesparlampe

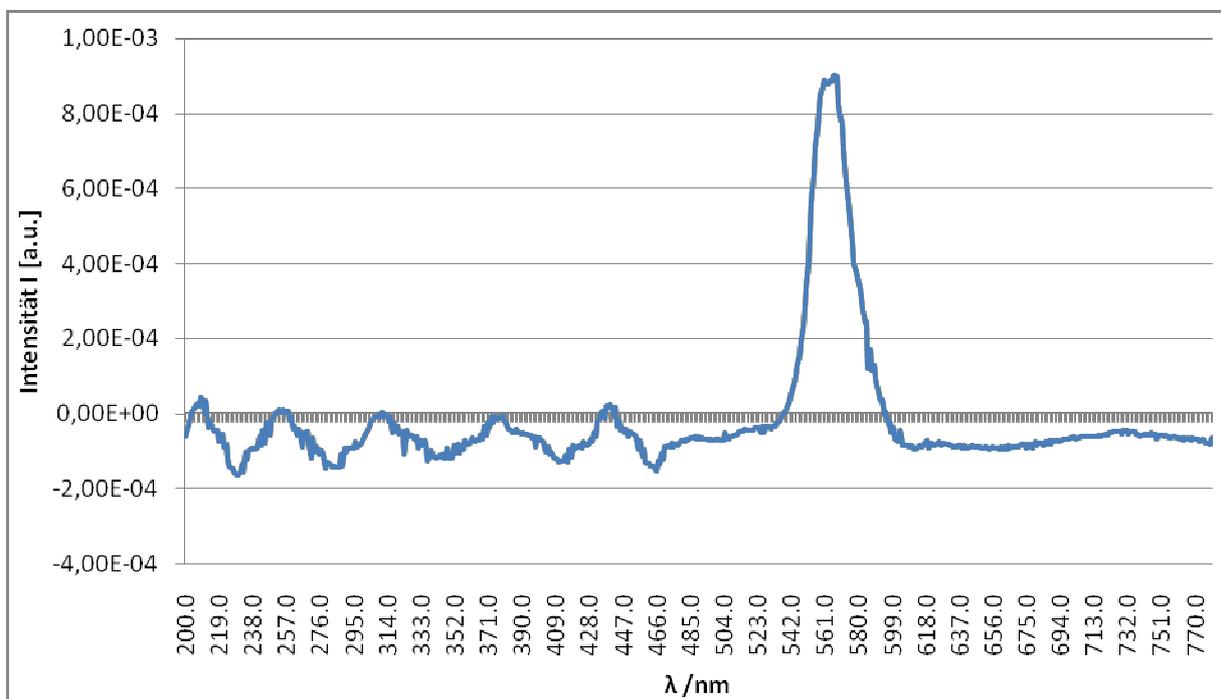


Abbildung 6 - Spektrum einer grünen LED

4 Glüh- und Halogenlampe

4.1 Grundlagen

Eine Glühlampe ist ein thermischer Strahler. Ein langer, dünner, elektrischer Leiter wird von einem hohen Strom durchflossen und damit zum Glühen gebracht. Als Leiter wird meistens Wolfram benutzt, weil es die höchste Schmelztemperatur aller Elemente besitzt. Durch das Glühen gibt der Draht Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. Dabei funktioniert er wie ein schwarzer Strahler, dessen emittierte Wellenlänge nur von der Temperatur abhängt. Das heißt je heißer der Draht ist, desto kleiner wird die Wellenlänge. Damit der Draht nicht verbrennt, ist er in einem Vakuumbehälter befestigt. Es entsteht ein kontinuierliches Spektrum, da der Draht nicht überall die gleiche Temperatur hat.

Eine Halogenlampe funktioniert nach demselben Prinzip, nur ist auf den Draht noch ein Halogen (Brom oder Jod) aufgetragen. Beim Glühen wird das Halogen gasförmig und bindet sich an den Restsauerstoff und an verdampfte Wolframatome, die sonst die Lampe schwärzen würden. Somit ist es möglich die Lampe kleiner zu bauen und auch einen höheren Betriebsdruck zu erreichen, weshalb weniger Wolframatome verdampfen und die Betriebstemperatur erhöht werden kann, was zu einer höheren Lichtausbeute führt. Die Halogenlampe hat auch eine höhere Lebensdauer als eine normale Glühlampe.

4.2 Temperaturbestimmung

a) Die Betriebstemperatur der thermischen Strahler kann mithilfe des Wienschen Verschiebungsgesetzes bestimmt werden.

$$T = \frac{2898 \mu\text{mK}}{\lambda_{\text{max}}} \quad (1)$$

$$\text{Glühlampe} \quad \frac{2898 \mu\text{mK}}{660 \text{ nm}} \approx 4390 \text{ K}$$

$$\text{Halogenlampe} \quad \frac{2898 \mu\text{mK}}{645 \text{ nm}} \approx 4490 \text{ K}$$

Da beide Werte weit über dem Schmelzpunkt von Wolfram ($T_{\text{Schmelz}} \approx 3700 \text{ K}$) liegen, ist die Methode der Temperaturbestimmung über das Wiensche Verschiebungsgesetz hier nicht anwendbar.

b) Eine andere Methode besteht darin, die Strahlungsdichte mit dem Planckschen Strahlungsgesetz bei zwei verschiedenen Wellenlängen zu berechnen und zu vergleichen. Dieses Verhältnis wird dann graphisch über die Temperatur aufgetragen.

$$\frac{\rho(\lambda_1)}{\rho(\lambda_2)} = \frac{(n(\lambda_1) - I_0) \cdot e}{(n(\lambda_2) - I_0) \cdot e} \quad (2)$$

Da die Strahlungsdichte gleich der Intensität n und einer unbekannten Konstante e ist, die gleich der Empfindlichkeit ist, wird das Verhältnis der Strahlungsdichte nach Planck gleich dem Verhältnis der gemessenen Intensitäten gesetzt, da sich die Empfindlichkeit herauskürzt.

I_0 ist die Intensität der Hintergrundstrahlung, die das Messergebnis verfälscht. Diese Strahlung tritt auch auf, wenn das Spektrogramm nicht ausschlägt und kann deshalb subtrahiert werden.

Das berechnete Verhältnis der Intensitäten kann nun dafür verwendet werden um die Temperatur abzulesen.

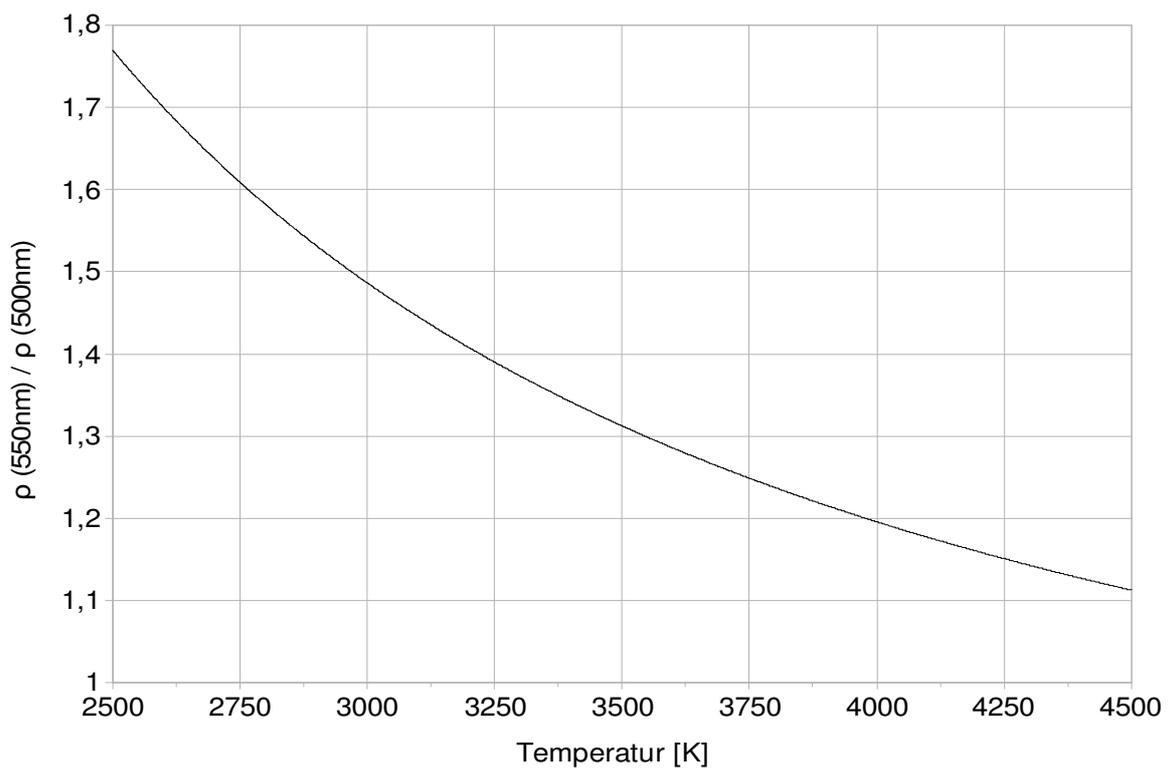


Abbildung 7 - Theoretische Planckkurve für das Verhältnis von $\rho(550\text{nm}) / \rho(500\text{nm})$

4.2.1 Glühlampe

$$I_0 = 2,5 \cdot 10^{-4} \quad \frac{5,96 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-4}}{3,69 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-4}} = 1,65$$

Durch Ablesen des Verhältnisses an der Kurve ergibt sich eine Temperatur von ungefähr 2680 K. Diese Temperatur stimmt mit den Literaturwerten (2600 K – 3000 K)¹ sehr gut überein.

4.2.2 Halogenlampe

$$I_0 = 7 \cdot 10^{-4} \quad \frac{8,09 \cdot 10^{-2} - 7 \cdot 10^{-4}}{5,4 \cdot 10^{-2} - 7 \cdot 10^{-4}} = 1,5$$

Hier wird für das Verhältnis eine Temperatur von ungefähr 2970 K aus dem Graph abgelesen. Auch dieser Wert passt mit dem Literaturwert (etwa 3000 K)² gut zusammen.

4.3 Vergleich der Ergebnisse

In a) lagen die ermittelten Temperaturen weit über dem Schmelzpunkt des Materials. In b) liegt der Wert nahe am Literaturwerte. Das zeigt, dass der ermittelte Wert für λ_{\max} nicht stimmen kann. Er müsste weit im Infrarotbereich liegen, was auch der Fall ist, da von einer Glühlampe viel Wärmestrahlung ausgeht. Es wurde aber mithilfe der Steigung unserer Messgraphen und der Planckschen Strahlungsgleichung die wahre Temperatur ermittelt.

Der Aufbau und die Komponenten des Spektrometers sind daher nicht für Infrarotlicht geeignet. Das kommt daher, dass der Photomultiplier unterhalb einer gewissen Energie des Lichts nicht mehr so stark reagiert.

Auch die Hintergrundstrahlung und Ungenauigkeiten in der Messapparatur führen zu einem Fehler.

¹ Quelle: <http://www.cwaller.de/deutsch.htm?lichtquellen.htm~information>

² Quelle: <http://www.leuchtmittel-onlineshop.de/shop/files/Halogenlampen.pdf>

5 Leuchtdiode

5.1 Funktionsweise

Leuchtdioden bestehen aus zwei aufeinandergedruckten Halbleiterschichten, deren eine p- und die andere n-dotiert ist. Durch die Dotierungen befinden sich in der n-dotierten Halbleiterschicht Elektronen auf einem Energieniveau kurz unterhalb des Leitungsbandes und können durch Aufnahme eines geringen Energiebetrages in das Leitungsband wechseln.

Die p-Dotierung der zweiten Halbleiterschicht erzeugt ein Energieniveau nahe oberhalb des Valenzbandes. Elektronen, die auf dieses Niveau angeregt werden, hinterlassen im Valenzband Löcher.

Wird zwischen den beiden Schichten eine Spannung angelegt, so rekombinieren an der Grenzfläche der beiden Schichten die Elektronen des Leitungsbandes mit den Löchern des Valenzbandes. Die Energiedifferenz der beiden Zustände wird in Form von elektromagnetischer Strahlung frei. Sie entspricht in etwa der Bandlücke des Halbleiters und ist daher ein Charakteristikum.

5.2 Bestimmung der Bandlücke des Halbleiters

Das Intensitätsmaximum des Emissionsspektrums liegt bei ca. 567 nm. Die Energie der Bandlücke wird allgemein in Elektronenvolt angegeben.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,62606876 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{567 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 1,602176462 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,187 \text{ eV}$$

Für die ermittelte Wellenlänge ergibt sich eine Bandlückenenergie von 2,187 eV.

6 Leuchtstofflampe (Energiesparlampe)

6.1 Funktionsweise

Leuchtstofflampen basieren auf dem Prinzip der Gasentladung.

Die an der Glühkathode emittierten Elektronen werden durch ein elektrisches Feld beschleunigt. Stoßen sie auf Quecksilberatome, so kommt es zur Ionisation. Beim Elektroneneinfang der Hg-Atome wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung

frei. Die Röhren der Leuchtstofflampe sind mit einer speziellen Beschichtung versehen, welche die UV-Strahlung in sichtbares Licht umwandelt. Ist die Beschichtung, wie meist beabsichtigt, kein Reinstoff, so kommt es zu Lichtemissionen mit mehreren Frequenzen.

6.2 Additive Farbmischung

Durch die Wahl der Beschichtung und der daraus folgenden additiven Farbmischung können unterschiedliche Farbeffekte erzeugt werden. Im durchgeführten Versuch wurden Intensitätsmaxima bei den Wellenlängen von 444 nm, 555 nm und 622 nm gemessen. Die drei Wellenlängen entsprechen blauem, grünem und orangenem Licht. Durch additive Farbmischung ergibt sich aus den drei Wellen annähernd weißes Licht.