

Spektralanalyse

Aufnahme der Emissions-Spektren von Quecksilber, Natrium, Cadmium und Kalium

Mittels Monochromator, Photomultiplier und Computer haben wir die Intensitätsverteilung des Emissions-Spektrums der PL-Dampflampen mit den Elementen Hg, Na, Cd und K bestimmt und konnten ihre Emissionslinien nachweisen.

PG 268

Tutorin: Cornelia Sing

Teilnehmer:

Daniel Guyot

Diana Bednarczyk

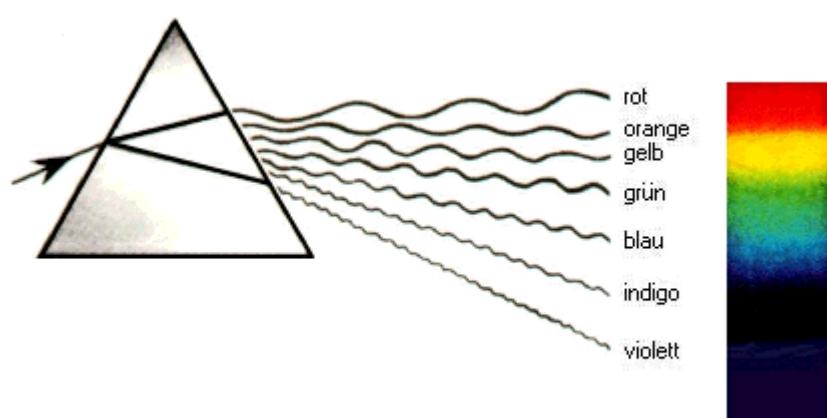
Fabian Fleischer

Heinrich Südmeyer

Inkje Döring

Ramin Torabi

René Könnecke



Inhaltsangabe

1. Einleitung	3
1.1 Die Spektralanalyse	
1.2 Das Bohrsche Atommodell	
2. Theorie	3
2.1 Das Bohrsche Atommodell	
2.2 Energiebetrachtung	
3. Aufbau	5
3.1 Geräteliste	
3.2 Versuchsaufbau und Durchführung	
3.2.1 Der Gittermonochromator	
3.2.2 Der Photomultiplier	
3.2.3 Aufbau	
3.2.4 Eichung	
3.2.5 Messung	
4. Auswertung	8
4.1 Diagramme	
4.2 Eichung	
4.3 Wellenlängen und Frequenzen der Emissionslinien	
4.4 Fehlerbetrachtung	
5. Schlussbetrachtung	12
6. Literaturverzeichnis	12

1. Einleitung

1.1 Die Spektralanalyse

Die Spektralanalyse ist eine Methode zur Untersuchung von Stoffen auf ihre chemischen Elemente durch Zerlegen des von ihnen ausgestrahlten Lichts in Spektralfarben. Dies geschieht in einem Spektralapparat. Durch die Untersuchung der Lage (qualitative Spektralanalyse) und der Stärke der Spektrallinien (quantitative Spektralanalyse) im Spektrum kann auf Vorhandensein und Konzentration der verschiedenen Elemente in der untersuchten Substanz geschlossen werden. Für die verschiedenen Spektrallinien eines Elements wurden Gesetzmäßigkeiten gefunden, die durch die Quantentheorie erklärt werden konnten. Nach Kenntnis dieser Gesetze konnte man in der Astrophysik die Zusammensetzung der Fixsternatmosphären aus den verschiedenen Elementen sowie die Entfernung und die Relativgeschwindigkeiten weit entfernter Sterngruppen und Nebel bestimmen. – Die Spektralanalyse wurde erstmals 1859 von R. Bunsen u. R. Kirchhoff durchgeführt.

1.2 Das Bohrsche Atommodell

Das von Niels Bohr entwickeltes Atommodell baut auf dem Rutherford's auf. Das Bohrsche Atommodell geht von der Vorstellung aus, dass die Elektronen eines Atoms um den Kern kreisen. Im Gegensatz zu Rutherford postulierte Bohr, dass die Elektronen nicht den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik gehorchen. Die Elektronen können sich dauernd auf diskreten Energieniveaus befinden, die einem bestimmten Abstand (r) der Kreisbahn zum Kern zugeordnet werden. Die Emission und Absorption elektromagnetischer Strahlung stellt man sich in dem Bohrschen Atommodell als Sprünge der Elektronen von einer Kreisbahn in eine andere vor, d. h. es sind nur Übergänge mit bestimmten Energiebeträgen erlaubt. Das Bohrsche Atommodell gibt, obwohl es in wesentlichen Punkten unzureichend ist, die Spektren des Wasserstoffatoms richtig wieder.

2. Theorieteil

2.1 Das Bohrsche Atommodell

Für unseren Versuch halten wir uns an das Bohrsche Atommodell. Dies ist zwar eine vereinfachende Sichtweise des Atoms, da beispielsweise die Kernmasse nicht beachtet wird oder die Bahnkurven der Elektronen zu Kreisen idealisiert werden, aber für unsere Zwecke ist dieses Modell durchaus ausreichend.

Die Bohrschen Postulate

Das erste Postulat sagt aus, dass Atome nicht alle Energie einnehmen können, sondern nur eine Reihe von diskreten Werten. In den erlaubten stationären Energiezuständen soll das Atom nicht strahlen. Diese Energiezustände deutete Bohr als Umlaufbahnen der Elektronen um den Kern. Sie sind durch die Quantenbedingungen festgelegt.

Aus der Betrachtung des Drehimpulses L des Elektrons ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 L &= J\omega \text{ mit } J = m_e \cdot R^2 & J &= \text{Trägheitsmoment des Elektrons} \\
 &\Rightarrow L = m_e \cdot R^2 \cdot \omega & m_e &= \text{Elektronenmasse} \\
 &= m_e \cdot R \cdot v & R &= \text{Bahnradius} \\
 &:= \frac{n \cdot h}{2\pi} = n \cdot \bar{h} & \omega &= \text{Winkelgeschwindigkeit des Elektrons} \\
 && n &= \text{ganze Zahl} = \text{Hauptquantenzahl} \\
 && h &= 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \text{Planksches Wirkungsquantum} \\
 && \bar{h} &= \frac{h}{2\pi} = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \text{Drehimpulsquantum}
 \end{aligned}$$

Der Drehimpuls eines den Atomkern umlaufenden Elektrons ist ein ganzzahliges Vielfaches des Drehimpulsquantums \bar{h} .

Strahlung soll nur beim Übergang zwischen zwei stationären Zuständen emittiert oder absorbiert werden. Nach dem zweiten Postulat ergibt sich die dabei auftretende Frequenz aus der Energiedifferenz der stationären Zustände:

$$h \cdot f = W_k - W_i = \Delta W.$$

D.h. ein Elektron, das von einem höheren (kernfernen) auf ein niedrigeres (kernnahes) Energieniveau übergeht, emittiert ein Strahlungsquant der Frequenz $f = \frac{\Delta W}{h}$.

2.2 Energiebetrachtung

Potentielle Energie

Auf seiner Kreisbahn gilt für das Elektron folgendes Kräftegleichgewicht:

$$\begin{aligned}
 F_{Coulomb} &= F_{Zentr.} & F_{Coulomb} &= \text{Coulomb-Anziehung} \\
 \Leftrightarrow \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} &= \frac{m_e v^2}{R} & F_{Zentr.} &= \text{Zentrifugalkraft} \\
 && \epsilon_0 &= 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} = \text{elektrische Feldkonstante} \\
 && Z &= \text{Kernladungszahl}
 \end{aligned}$$

Nach der Quantenbedingung sollen aber nur solche Radien R erlaubt sein, auf denen der Drehimpuls mvR des Elektrons ein ganzzahliges Vielfaches von \bar{h} ist:

$$\begin{aligned}
 m_e v R &= n \bar{h} \\
 \Leftrightarrow v &= \frac{n \bar{h}}{m_e R}
 \end{aligned}$$

Eingesetzt ins Kräftegleichgewicht liefert

$$\begin{aligned}
 \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} &= \frac{m_e n^2 \bar{h}^2}{m_e^2 R^3} \\
 \Leftrightarrow R_n &= n^2 \frac{4\pi\epsilon_0 \bar{h}^2}{Z m_e e^2}
 \end{aligned}$$

folglich ergibt sich die potentielle Energie W_{Pot} zu

$$W_{Pot} = -F_{Coulomb} \cdot R_n = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R_n} = -\frac{Z^2 m_e e^4}{4\epsilon_0 n^2 \bar{h}^2}$$

Kinetische Energie

$$W_{kin} = \frac{1}{2} m_e v_n^2 = \frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0 n^2 h^2} \quad \text{mit } v_n = \frac{Zn\bar{h}}{m_e R_n} = \frac{Zm_e e^2}{2\epsilon_0 nh}$$

$$\Rightarrow W_{kin} = -\frac{1}{2} W_{pot}$$

Gesamtenergie

Für die Gesamtenergie erhält man

$$W_n = W_{pot} + W_{kin} = W_{pot} - \frac{1}{2} W_{kin} = \frac{1}{2} W_{pot} = -\frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$$

Einsetzen der Konstanten ergibt

$W_n = \frac{13,605 eV}{n^2} \cdot Z^2$, die Gesamtenergie des Elektrons auf verschiedenen Bahnen ist als umgekehrt proportional dem Quadrat der Bahnzahl.

Frequenz des emittierten Lichts

Die Frequenz der Spektrallinien, die beim Übergang eines Elektrons von Bahn n_1 zur Bahn n_2 emittiert werden, ergibt sich zu

$$f(n_1, n_2) = \frac{\Delta W}{h} = \frac{W_{n_2} - W_{n_1}}{h} = \frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right).$$

3. Aufbau

3.1 Geräteliste

Gerät	PL-Inventarnummer
1. Gittermonochromator	PL 716 b
2. Photomultiplier	PL 715 a
3. Spektrallampen (Hg, Na, K, Cd)	PL 736 b
4. Halterung für die Spektrallampen	PL 711 b
5. Drossel für die Spektrallampen	PL 711 b
6. Spektral-Filter (440 nm, 578nm)	
7. Netzgerät 30 V, 2,5 A	PL 031 b
8. Optische Bank	
9. Linse ($f = 150$ mm)	
10. Monochromator-Ansteuerung	
11. PC mit LabView	

3.2 Versuchsaufbau und Durchführung

3.2.1 Der Gitter-Monochromator

Um die Spektrallinien der einzelnen Lampen aufzeichnen zu können, musste das zu untersuchende Licht zuerst aufgespalten werden, um jeweils für die einzelnen Wellenlängen λ die Intensität I bestimmen zu können.

Hierzu nutzten wir den Gitter-Monochromator, dem folgendes Funktionsprinzip zugrunde liegt:

Das durch einen dünnen Spalt einfallende Licht wird an einem drehbaren Gitter reflektiert und dabei stark gebeugt. Durch die unterschiedlich starke Beugung von Lichtstrahlen verschiedener Wellenlängen wird das eingefallene Licht aufgefächert. Auf den Austrittsspalt fällt jetzt nur noch ein kleiner Spektralbereich des Mischlichtes, so dass das ausfallende Licht als Licht einer Wellenlänge idealisiert werden kann.

Wird das Gitter über einen Schrittmotor bewegt, so treffen die vom Gitter kommenden Lichtstrahlen je nach Wellenlänge zeitabhängig auf diesen Spalt und es kann bei gleichmäßiger Drehung des Gitters die Lichtintensität abhängig vom Drehwinkel des Gitters gemessen werden. Man erhält so ein typisches Linienspektrum.

An den von uns verwendeten Monochromator (MC) ließ sich die Monochromator-Ansteuerung des PL-Computers anschließen, die über LabView zu steuern war und eben dieses gleichmäßige Drehen möglich machte.

3.2.2 Der Photomultiplier

Da das Licht vom MC aufgrund der sehr weiten Auffächerung nur von sehr geringer Intensität war, mussten wir es vor der eigentlichen Intensitätsmessung noch verstärken.

Das geschah mittels des Photomultipliers (PM), dem folgendes Funktionsprinzip zugrunde liegt:

Wenn ein Metall ein Elektron, das aus dem Vakuum kommt, „einsaugt“, wird dabei im Prinzip ebenso viel Energie frei, wie nötig ist, um ein anderes Elektron auszulösen. Zum Ersatz der Energieverluste muss das auftreffende Elektron aber etwas kinetische Energie W mitbringen, um ein Sekundärelektron auslösen zu können. Das Sekundäremissionsvermögen hängt also stark von W ab. Schnelle Elektronen können mehrere Sekundärelektronen freisetzen.

Genau das nutzt man im PM aus, um geringe Lichtintensitäten bis herab zu einzelnen Photonen nachzuweisen. Das Licht löst aus der Photokathode Elektronen aus, diese werden durch eine Spannung von einigen 100 V bis zur nächsten Elektrode

(Dynode) beschleunigt, wo jedes mehrere Sekundärelektronen auslöst usw., bis nach mehreren (oft 10 und mehr) Verstärkungsstufen ein gut messbarer Strom entsteht, welcher proportional zur Intensität des eingefallenen Lichts ist.

Diesen Strom konnten wir durch die MC-Ansteuerung messen lassen und die Daten an den Computer übermitteln. So erhielten wir unter LabView ein Diagramm, welches die Lichtintensität über der Wellenlänge darstellte.

Aus der Intensitätsverteilung über der Wellenlänge ließ sich dann auf die Spektrallinien der untersuchten Spektrallampe schließen.

3.2.3 Aufbau

Für das zu untersuchende Element setzten wir die entsprechende Spektrallampe in die Halterung ein und schlossen an diese die Drossel an.

Das ausgestrahlte Licht lenkten wir über eine Linse in den MC, an den sich der PM unmittelbar anschloss und das vom MC kommende Licht verstärkte.

Die Messung nahmen wir im Bereich von 250 – 749 nach der Einteilung des MCs vor. Dies entsprach 8000 Messwerten in Zeitintervallen von 10 ms am Computer, der uns diese als den durch Lichteinfall verursachten Strom des PM über dem Drehwinkel des MC-Gitters und damit der Wellenlänge des Lichtes darstellte.

Zusätzlich legte LabView noch eine Textdatei mit den Daten sämtlicher Messpunkte an, so dass wir zur Bestimmung der Maxima unserer Kurven nicht ungefähre Werte an den Skalen ablesen mussten, sondern direkt der Messwerttabelle entnehmen konnten.

3.2.4 Eichung

Zur Eichung unserer des MCs wählten wir zuerst die Quecksilber-Spektrallampe aus und justierten vor dem MC-Einlass Farbfilter mit bekannter Wellenlänge. Diese Filter waren speziell für die Hg-Spektrallinien gedacht und ließen nur eine der Emissionslinien der Quecksilbers hindurch.

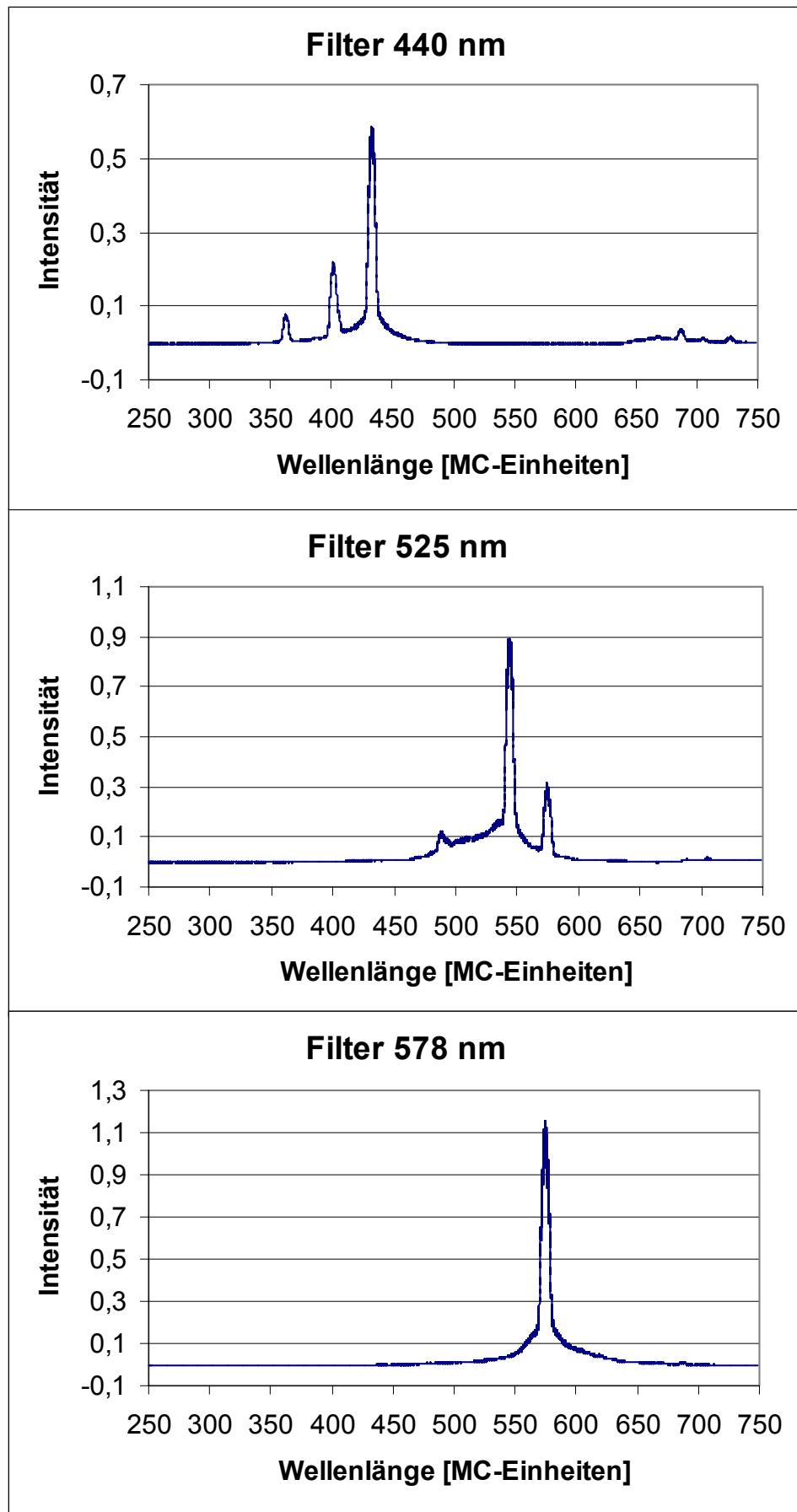
Aus dem Einsatz von zwei Farbfiltern mit Durchlässigkeit von Licht der Wellenlänge 440 nm und 578 nm erhielten wir so drei Intensitätsmaxima mit bekannter Wellenlänge, durch die wir den Zusammenhang zwischen Messpunkt und der einfallender Wellenlänge bestimmten konnten.

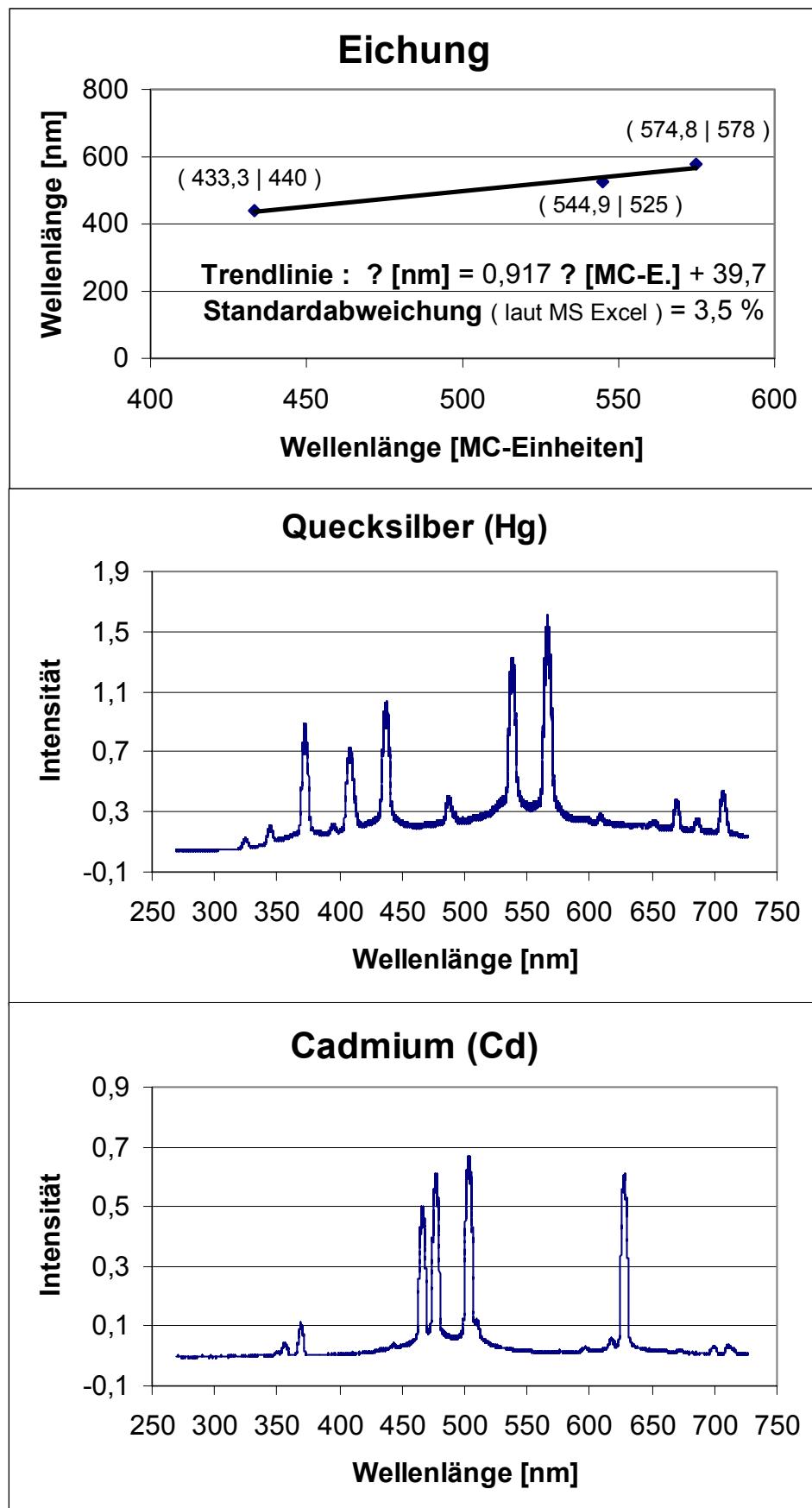
3.2.5 Messung

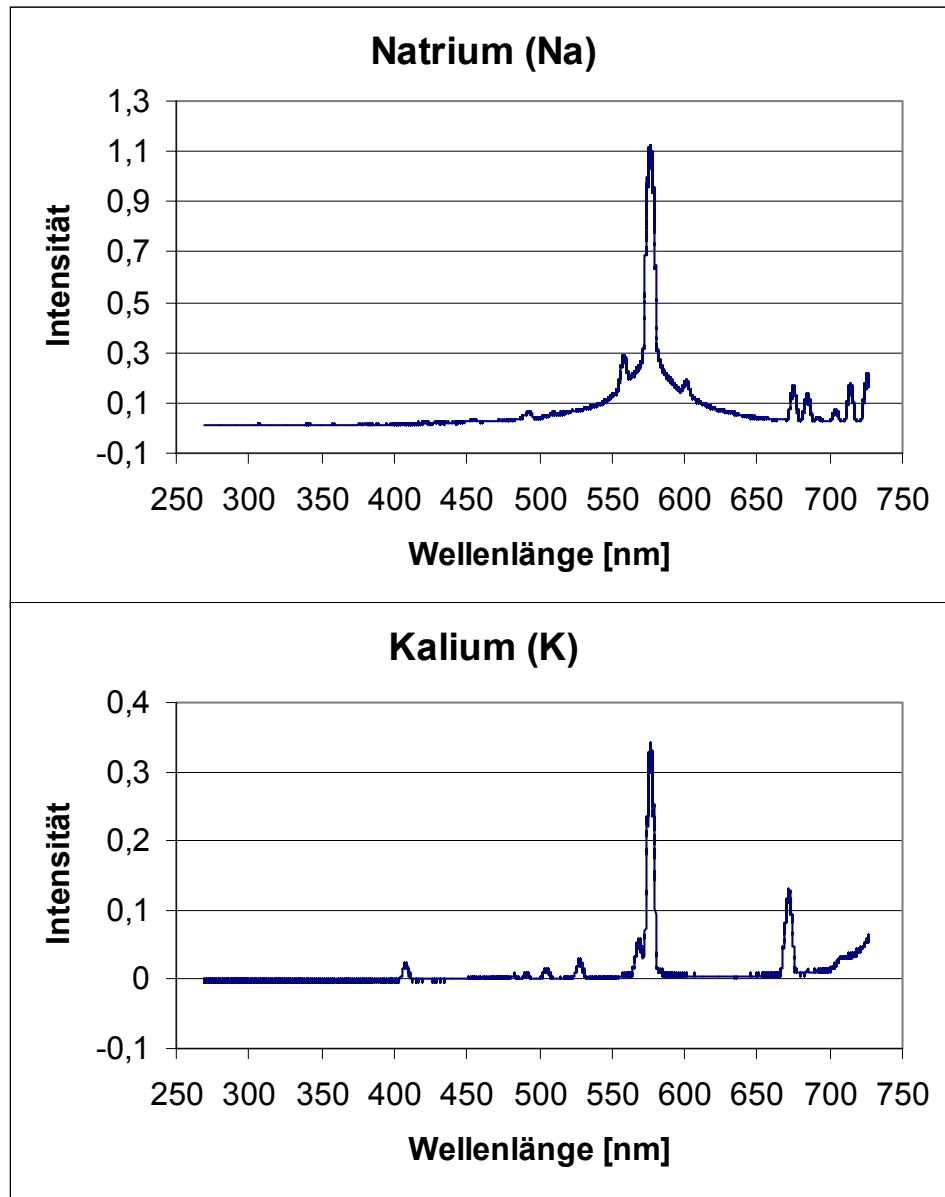
Nach dem Eichen nahmen wir die Emissions-Spektren von Quecksilber (Hg), Natrium (Na), Cadmium (Cd) und Kalium (K) auf, indem wir die entsprechenden Spektrallampen in unseren Versuchsaufbau einsetzten.

4. Auswertung

4.1 Diagramme







4.2 Eichung

Zur Eichung wurde für die drei verwendeten Farbfilter die jeweils herausgefilterte Wellenlänge über die MC-Einheit der maximalen Intensität aufgetragen.

Durch die so erhaltenen Punkte legten wir mit MS Excel eine Ausgleichsgerade, zu der uns Excel gleich den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge in nm und der Skala des MCs lieferte, sowie einen Wert für die Standartabweichung der Geraden.

Mit dem nun bekannten Zusammenhang konnten wir die restlichen Diagramme in $\lambda[\text{nm}]$ skalieren.

4.3 Wellenlängen und Frequenzen der Emissionslinien

Aus unseren Tabellen bzw. Diagrammen ließen sich folgende Emissionslinien bestimmen:

Element	Wellenlänge [nm]	Frequenz [10^{12} Hz]
Quecksilber (Hg)	328 346 373 * 397 409 438 489 539 567 611 671	914 866 804 755 733 684 613 556 529 491 447
Natrium (Na)	496 559 577 602 676 686 706 716	604 536 520 498 443 437 425 419
Cadmium (Cd)	359 370 467 478 504 620 629	835 810 642 627 595 484 477
Kalium (K)	410 508 529 573 577 672	731 590 567 523 520 446

* Fettdruck : besonders hohe Intensität

4.4 Fehlerbetrachtung

Folgende Fehler könnten im Rahmen des Versuchs aufgetreten sein:

- Abweichungen zwischen der auf den Farbfiltern angegebenen Filter-Wellenlänge und der tatsächlich gefilterten
- nicht genau linearer Durchlauf des Monochromators
- Austrittslicht des Monochromators ist nicht genau kohärent

Genannte Fehlerquellen wurden bereits in unsere Eichung berücksichtigt, indem wir eine Standartabweichung für die Ausgleichsgerade angegeben haben.

Die Standartabweichung beträgt 3,5 %.

5. Schlussbetrachtung

Ein Vergleich von Theorie und Messergebnissen muss hier aufgrund von Zeitmangel leider noch ausbleiben, wird aber nachgeholt.

Daher ist auch noch nicht genau zu sagen, ob der Versuch wirklich ein Erfolg war, die Fehlerabschätzung lässt dies aber erhoffen.

Der Aufbau hat sich unserer Ansicht nach bewährt, insbesondere der Einsatz des PL-Computer ist zu empfehlen, auch wenn dies eine gewisse Einarbeitungszeit verlangt. Ist man jedoch einmal mit dem Computer vertraut, so lassen sich Messreihen mit einer großen Zahl von Messpunkten durchführen, deren Werte zudem nicht analog aus einem x-y-Diagramm abgelesen werden müssen, sondern in Form einer vom Computer erstellten Tabelle gegeben sind. Dies erhöht insbesondere die Genauigkeit der Auswertung.

6. Literaturverzeichnis

W. Demtröder, *Experimentalphysik 2. Elektrizität*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 1994

H. Vogel, *Gerthsen Physik*, 18. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

L. Kusch, *Tafelwerk mit mathematischen und naturwissenschaftlichen Formeln und Tabellen*, Cornelsen Verlag Berlin 1993