

PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Protokoll

«A3 - Atomspektren - BALMER-Serie»

Martin Wolf

<martin.wolf@hrz.tu-chemnitz.de>

Betreuer: DP Emmrich

Mitarbeiter: Martin Helfrich

Datum: 24.03.2006

8:00 Uhr bis 12:00 Uhr

Unterschrift, Martin Wolf

1 Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie die Kalibrierungskurve eines Prismen-Spektrometers mit Hilfe einer Hg-Dampflampe.
2. Bestimmen Sie die Wellenlänge der Natrium-D-Linie.
3. Bestimmen Sie aus den Wellenlängen der BALMER-Serie die RYDBERG-Konstante.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Prismenspektrometer

Beim Durchgang durch ein Prisma wird ein Lichtstrahl zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Für den Fall, dass der Strahl in einem Hauptschnitt, d.h. senkrecht zur brechenden Kante, verläuft und das Prisma symmetrisch durchsetzt, tritt die kleinste Ablenkung δ auf. Die Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl wird als Dispersion $n(\lambda)$ bezeichnet. Fällt daher Licht verschiedener Wellenlängen auf ein Prisma, so wird es aufgrund der unterschiedlichen Brechzahlen verschieden stark abgelenkt. Durch Messung des Ablenkwinkels lässt sich bei bekannter Wellenlänge eine Kalibrierungskurve $\delta(\lambda)$ erstellen.

2.2 Spektrallinien und Atomhüllen

Für die Atomphysik ist das Prismenspektrometer ein wichtiges Instrument, um Kenntnisse über den Aufbau der Atomhüllen zu erlangen. Um z.B. für Wasserstoff aus dem Spektrum einer BALMER-Lampe die RYDBERG-Konstante zu ermitteln, ist die Kenntnis der Wellenlängen des Wasserstoff-Spektrums sowie der zu den jeweiligen Spektrallinien gehörenden Hauptquantenzahlen notwendig. Mit diesen Daten und der folgenden Gleichung kann die RYDBERG-Konstante für Wasserstoff experimentell bestimmt werden.

$$R = \lambda^{-1} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)^{-1} \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

λ : Wellenlänge der Spektrallinie

R : Experimentelle RYDBERG-Konstante

n_1 : Hauptquantenzahl des Grundzustandes, bei BALMER-Serie stets 2

n_2 : Hauptquantenzahl des angeregten Zustandes

R_∞ ist die RYDBERG-Konstante für einen unbewegten (unendlich schweren) Kern. Sie ergibt sich aus dem BOHR'schen Atommodell zu:

$$R_\infty = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^3 \cdot c} = 1,09737315 \cdot 10^7 m^{-1} \quad (2)$$

Berücksichtigt man die Mitbewegung des Kerns, so erhält man für Wasserstoff die korrigierte RYDBERG-Konstante R_H :

$$R_H = R_\infty \left(1 + \frac{m_e}{m_p}\right)^{-1} = 1,09677583 \cdot 10^7 m^{-1} \quad (3)$$

In der Tabelle 1 sind die Wellenlängen der stärksten Linien im Hg-Spektrum zusammengestellt.

Wellenlänge in nm	Farbe	Intensität
623,4	rot	schwach
579,1	gelb	sehr stark
577,0	gelb	sehr stark
546,0	grün	sehr stark
496,0	blaugrün	schwach
491,6	blaugrün	mittel
435,8	blau	stark
434,8	blau	mittel
433,9	blau	schwach
410,8	violett	schwach
407,8	violett	mittel
404,7	violett	stark

Tabelle 1: Wellenlängen der stärksten Linien im Hg-Spektrum

3 Durchführung des Experimentes – Messwerte

Zunächst soll mittels einer Hg-Lampe die Kalibrierungskurve des verwendeten Linienspektrometers aufgenommen werden. Eine zweite Messreihe, in der das Prisma um 180° gedreht ist, um Unebenheiten des Prismas wegkalibrieren zu können, war bei dieser Versuchsanordnung leider nicht möglich, da das Prisma nicht nur hätte gedreht, sondern auch noch horizontal verschoben werden müssen, sodass die Lichtwegstrecken vor und hinter dem Prisma bei den beiden Messreihen verschieden gewesen wären. Die Tabelle 2 zeigt die aufgenommenen Messwerte.

λ/nm	623,4	579,1	546,0	496,0	491,6	435,8	407,8	404,7
α	$87^\circ 16'$	$87^\circ 30'$	$87^\circ 36'$	$87^\circ 55'$	$87^\circ 57'$	$88^\circ 23'$	$88^\circ 42'$	$88^\circ 46'$
α/rad	1,523	1,527	1,529	1,534	1,535	1,543	1,548	1,549

Tabelle 2: Messwerte – Kalibrierungskurve des Linienspektrometers

Nachdem die Kalibrierungskurve aufgenommen wurde, sollen aus dieser nun die gesuchten Wellenlängen bestimmt werden. Die Tabelle 3 zeigt die dazu aufgenommenen Messwerte und die daraus ermittelten gesuchten Wellenlängen.

Spektrallinie	α	α/rad	λ_{exp}/nm	λ_{theo}/nm
Na_D	$87^\circ 27'$	1,526	595	589,0
H_α	$87^\circ 10'$	1,521	555	656,3
H_β	$87^\circ 59'$	1,536	485	486,1
H_γ	$88^\circ 26'$	1,543	435	434,1

Tabelle 3: Messwerte – Gesuchte Wellenlängen

4 Auswertung

4.1 Kalibrierungskurve des Prismenspektrometers

Mit den Messwerten aus Tabelle 2 lässt sich schließlich die Kalibrierungskurve grafisch darstellen. Die Abbildung 1 zeigt diese.

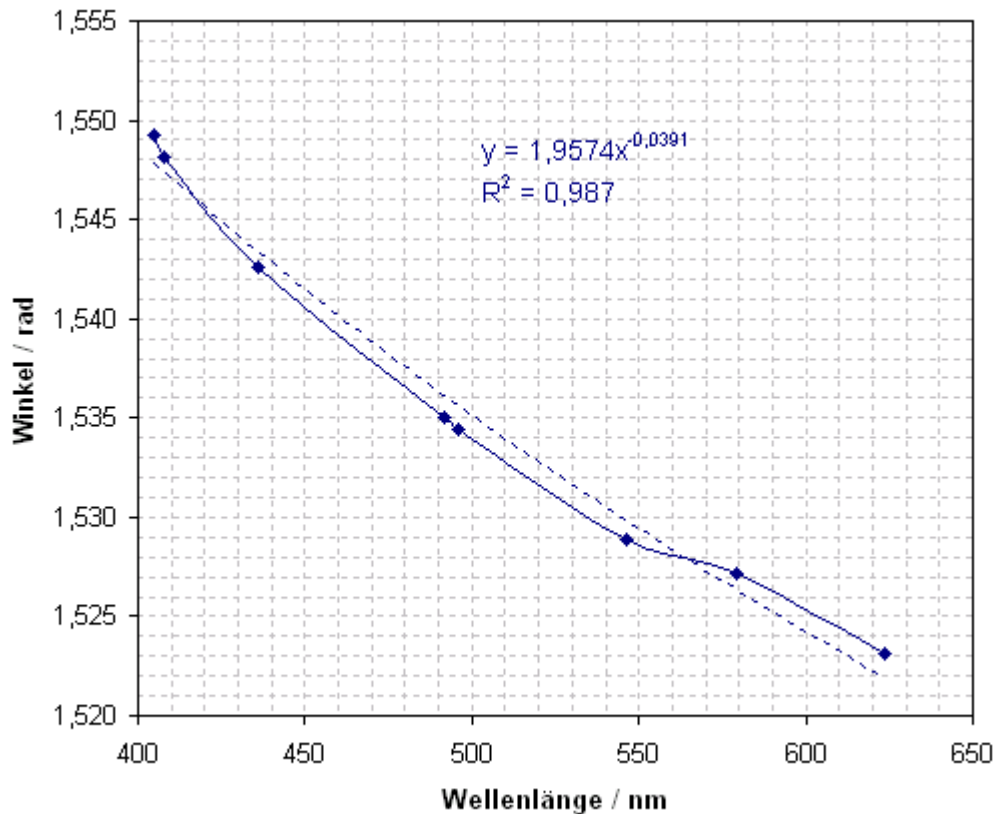


Abbildung 1: Kalibrierungskurve des Prismenspektrometers

Laut Aufgabenstellung folgt die Kalibrierungskurve einer Kurve der mathematischen Form $\alpha = a \cdot x^{-b}$. Die verwendete Regression ermittelte die Werte a und b zu $a = 1,9574$ und $b = 0,0391$.

In Abbildung 1 kann man erkennen, dass die Kurve bei ca. 550nm einen Sprung macht. Möglicherweise ist dies auf einen groben Messfehler zurückzuführen, bei dem beim Einstellen des Winkels die Winkelteilkreisscheibe, die nicht starr fixiert werden konnte, versehentlich ein wenig verrückt wurde. Berücksichtigt man die betreffenden Messwerte nicht mit, dann ergibt sich eine Kalibrierungskurve gemäß Abbildung 2. Bei dieser Kurve werden die Werte

a und b mittels Regression zu $a = 2,0153$ und $b = 0,0439$ bestimmt, was einen besseren Kurven-Fit, wie man an Hand deren Bestimmtheitsmaße R^2 sehen kann, ermöglicht.

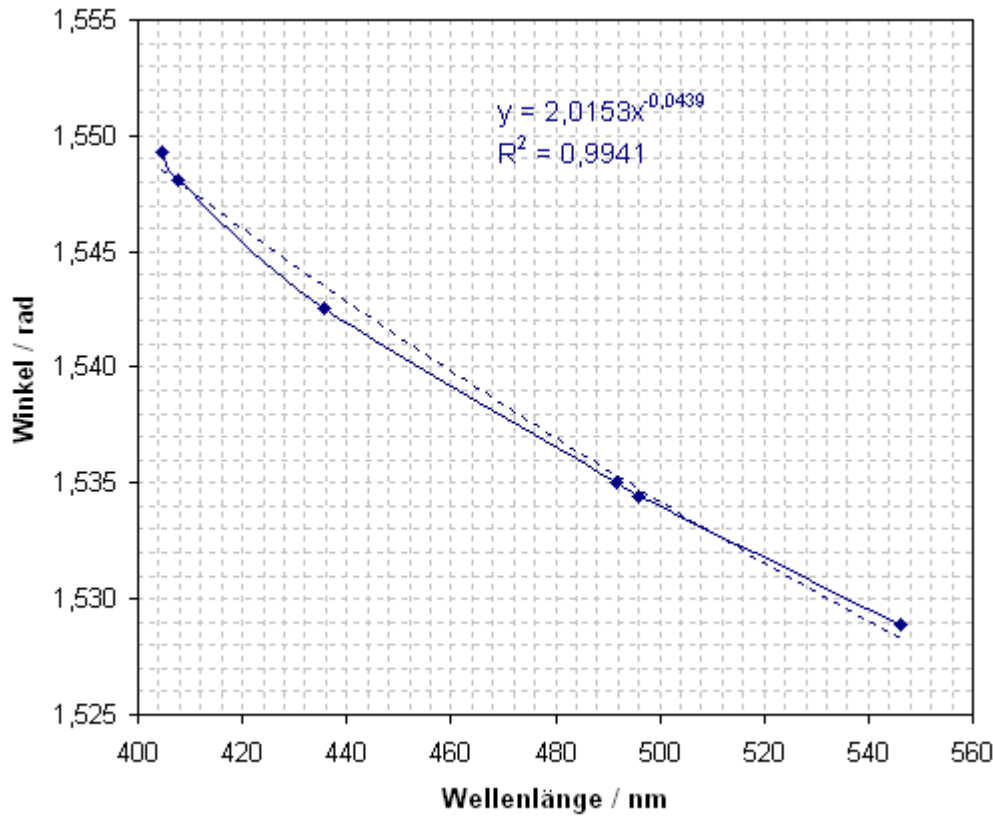


Abbildung 2: Kalibrierungskurve des Prismenspektrometers mit Messfehlerberücksichtigung

Wie man aus Tabelle 3 erkennen kann, konnten die gesuchten Wellenlängen mittels der Kalibrierungskurve trotz gemachten Messfehler gut reproduziert werden. Der gemachte grobe Messfehler wirkt sich hier nicht aus, da die Winkel der Kalibrierungskurve stets relativ zueinander und nicht absolut zu einem bestimmten Bezugspunkt gemessen wurden. Die Kalibrierungskurve ist demzufolge nur zwischen den Sprungpunkten nicht aussagekräftig.

4.2 Bestimmung der RYDBERG-Konstante R_H

Mit den experimentell bestimmten Wellenlängen aus Tabelle 3 läßt sich schließlich für die jeweilige Wellenlänge nach Gleichung 1 die RYDBERG-Konstante bestimmen. Die eigentliche RYDBERG-Konstante ergibt sich dann schließlich aus dem arithmetischen Mittel der Einzelwerte. Die Tabelle 4 zeigt die damit ermittelten RYDBERG-Konstanten.

Spektrallinie	λ/nm	$R_H/10^7\text{m}^{-1}$	$\overline{R_H}/10^7\text{m}^{-1}$
H_α	555	1,0992366	1,0978612
H_β	485	1,0996564	
H_γ	435	1,0946907	

Tabelle 4: RYDBERG-Konstanten der BALMER-Serie

Es zeigt sich, dass die RYDBERG-Konstante bei diesem Versuch auf bis zu 3 Stellen genau bestimmt werden konnte. Dass der Wert von $R_H = 1,09677583 \cdot 10^7\text{m}^{-1}$ nicht ermittelt werden konnte, liegt daran, dass mittels der Kalibrierungskurve stets kleinere Wellenlängen abgelesen werden und diese dann im Reziproken in die Berechnung der RYDBERG-Konstante gemäß Gleichung 3 eingehen, sodass die ermittelte RYDBERG-Konstante stets größer ist, als die in der Literatur angegebene.

5 Fehlerbetrachtung

Bei den durchgeführten Messungen wird der Fehler vor allem durch die Justierung des Prismenspektrometers, dessen Auflösungsvermögen und der Einteilung der Winkelskala bestimmt. Dabei stellte sich heraus, dass die Einteilung der Winkelskala in Bogenminuten teilweise nicht fein genug war, um die noch aufzulösenden Einzelspektrallinien unterscheiden zu können. Bei der Bestimmung der Wellenlängen mittels der Kalibrierungskurve kommt dann der wahrscheinlich größte Fehleranteil durch Regressionsfehler hinzu.

6 Zusammenfassung

Zum Schluss sollen die Ergebnisse des Experimentes noch einmal in übersichtlicher tabellarischer Form zusammengefasst werden. Die Tabelle 5 zeigt dies.

Spektrallinie	λ_{exp}/nm	λ_{theo}/nm
Na_D	595	589,0
H_α	555	656,3
H_β	485	486,1
H_γ	435	434,1
RYDBERG-Konstante	$R_{exp}/10^7\text{m}^{-1}$	$R_{theo}/10^7\text{m}^{-1}$
Wasserstoffatom	1,0978612	1,09677583

Tabelle 5: Zusammenfassung – Experimentergebnisse