

1 Aufgabenstellung

- Adjustierung des Prismenspektrographen, der Linsen und der Prismen im Spektrographen, um ein Spektrum für alle Lichtquellen abzubilden.
- Aufnahme des Spektrums von den Verschiedenen Lichtquellen und der Probe.
- Aufnahme der Spektren der gleichen Lichtquellen mit dem Gitterspektrographen.
- Erzeugung der Dispersionskurve des Prismenspektrographen.
- Bestimmung des Auflösevermögen der beiden Spektrographen.
- Bestimmung der Wellenlänge der Jod-Absorptionsbandkanten.
- Bestimmung der Disotiationsenergie des Jodmoleküls.

2 Grundlagen

2.1 Molekulare Spektroskopie

Wenn elektromagnetische Strahlung mit einem Molekül in Wechselwirkung tritt, kann sie absorbiert, emittiert oder gestreut werden, je nach der Energie der Strahlung und den Energieniveaus des Moleküls. Die Energie der Strahlung wird durch ihre Wellenlänge oder Frequenz bestimmt, und die Energieniveaus des Moleküls werden durch seine elektronische Struktur, seine Vibrations- und Rotationsmoden bestimmt.

Die Absorption oder Emission elektromagnetischer Strahlung durch ein Molekül kann als Änderung der Intensität der Strahlung beim Durchgang durch die Probe beobachtet werden. Diese Änderung kann mit einem Spektrometer gemessen und zur Untersuchung der elektronischen Struktur und Bindung des Moleküls sowie seiner Schwingungs- und Rotationsenergieniveaus verwendet werden.

2.2 Prismenspektrograph

Ein Prismenspektrograph ist ein Spektrograph, der ein Prisma verwendet, um die elektromagnetische Strahlung in ihre einzelnen Wellenlängen oder Frequenzen zu zerlegen. Er besteht aus einer Lichtquelle, einem Prisma und einem Detektor und wird verwendet, um das elektromagnetische Spektrum einer Probe grafisch darzustellen.

Die Lichtquelle eines Prismenspektrographen ist in der Regel eine Lampe oder ein Laser, mit dem die Probe beleuchtet wird. Die Probe wird in den Strahlengang gestellt, und ein Teil der elektromagnetischen Strahlung wird von der Probe absorbiert, emittiert oder gestreut.

Das Prisma ist ein transparentes optisches Element, das aus einem brechenden Material wie Glas oder Quarz besteht. Es wird in den Weg der elektromagnetischen Strahlung gestellt und dient dazu, die Strahlung in ihre einzelnen Wellenlängen oder Frequenzen zu zerlegen. Das Prisma funktioniert, indem es die Strahlung je nach Wellenlänge oder Frequenz in unterschiedlichen Winkeln biegt. Dies führt dazu, dass sich die verschiedenen Wellenlängen oder Frequenzen der Strahlung nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz, Gleichung 1, ausbreiten und ein Spektrum bilden.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1(\lambda)}{n_2(\lambda)} \quad (1)$$

θ_1 und θ_2 bezeichnet dabei den Eintritts bzw. Austrittswinkel und n_1 und n_2 die entsprechenden Brechzahlen. Der Strahlengang durch ein Prisma ist in folgender Abbildung 1 skizziert.

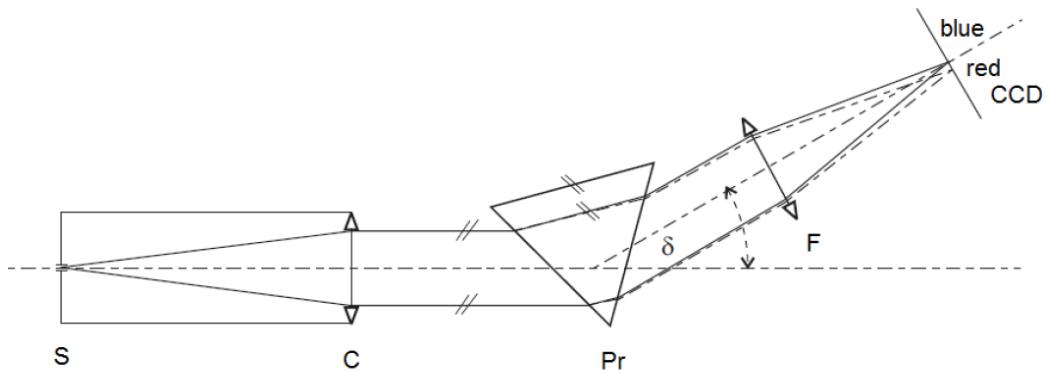


Abbildung 1: Skizzierter Strahlengang durch ein Prisma, entnommen aus [unterlagen]

- S ... Spalt
- C ... Kondensor-Linse
- Pr ... Prisma
- F ... Fokusier-Linse
- CCD ... Schirm
- δ ... Brechungswinkel

Der Detektor eines Prismenspektrographen ist in der Regel eine Kamera oder ein Aufzeichnungsgerät, mit dem die Intensität der elektromagnetischen Strahlung über einen Bereich von Wellenlängen oder Frequenzen gemessen wird. Der Detektor erzeugt ein Diagramm der Intensität der Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge oder Frequenz, das als Spektrum bezeichnet wird.

2.3 Gitterspektrograf

Ein Echelle-Spektrograf ist ein Spektrograf, der ein Beugungsgitter, das so genannte Echelle-Gitter, verwendet, um die elektromagnetische Strahlung in ihre einzelnen Wellenlängen oder Frequenzen zu zerlegen. Er besteht aus einer Lichtquelle, einem Echelle-Gitter, einem Kollimator, einer Kamera oder einem Aufzeichnungsgerät und einer Brennebene.

Bei der Lichtquelle eines Echelle-Spektrographen handelt es sich in der Regel um eine Lampe oder einen Laser, mit dem die Probe beleuchtet wird. Die Probe wird in den Strahlengang gestellt, und ein Teil der elektromagnetischen Strahlung wird von der Probe absorbiert, emittiert oder gestreut.

Das Echelle-Gitter ist ein Beugungsgitter, das aus einem transparenten optischen Element wie Glas oder Quarz besteht und mit einem periodischen Muster aus parallelen Linien versehen ist. Es wird im Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung angebracht und dient dazu, die Strahlung in ihre einzelnen Wellenlängen oder Frequenzen zu zerlegen. Das Echelle-Gitter funktioniert, indem es die Strahlung je nach ihrer Wellenlänge oder Frequenz in unterschiedlichen Winkeln, nach ??, beugt. Dies führt dazu, dass sich die verschiedenen Wellenlängen oder Frequenzen der Strahlung ausbreiten und ein Spektrum bilden.

$$d \sin \theta = n\lambda \quad (2)$$

d bezeichnet dabei den Gitterabstand, θ den Beugungswinkel, n die entsprechende Ordnung und λ die Wellenlänge. Eine schematische Skizze des Strahlengangs ist in Abbildung 2 sichtbar.

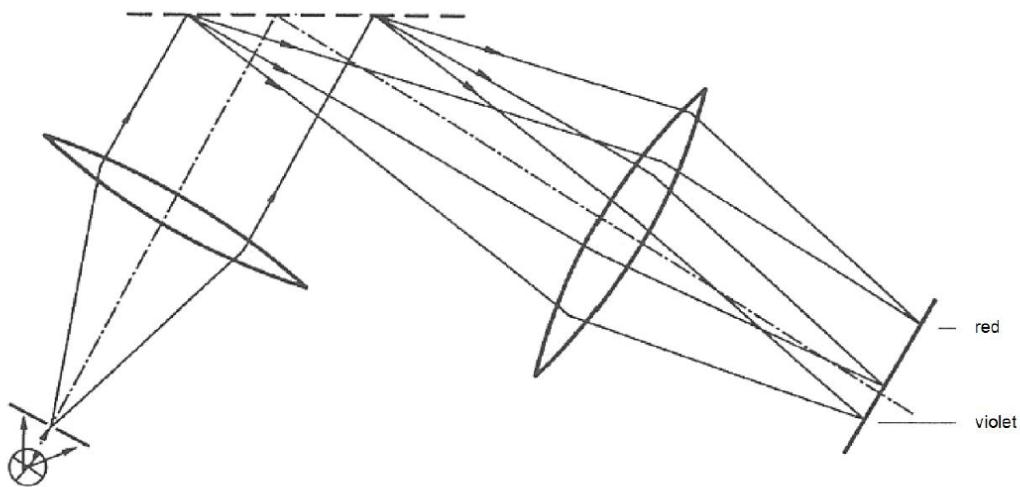


Abbildung 2: Skizzierter Strahlengang durch ein Gitter, entnommen aus [unterlagen]

Der Kollimator ist eine Linse oder ein Spiegel, der dazu dient, die elektromagnetische Strahlung zu kollimieren, d.h. zu einem parallelen Strahl zu bündeln. Der Kollimator befindet sich hinter dem Echelle-Gitter und sorgt dafür, dass die Strahlung auf die Kamera oder den Rekorder fokussiert wird.

Mit der Kamera oder dem Rekorder wird die Intensität der elektromagnetischen Strahlung über einen Bereich von Wellenlängen oder Frequenzen gemessen. Es wird ein Diagramm der Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge oder Frequenz erstellt, das als Spektrum bezeichnet wird.

Die Brennebene ist die Ebene, in der das Spektrum gebildet wird, und sie befindet sich in der Regel im Brennpunkt des Kollimators. Die Kamera oder der Rekorder wird in der Fokusebene platziert, um die Intensität der elektromagnetischen Strahlung zu messen.

3 Versuchsaufbau

3.1 Prismenspektrograph

Der Versuchsaufbau ist in folgender Abbildung 3 ersichtlich. Dabei wird die Position der Lichtquelle mit einem leeren Linsenhalter auf der optischen Bank markiert, um später beim Wechsel der Lichtquelle die selbe Position zu ermöglichen. Bei den

Linsen wir dabei versucht, den vorliegenden Lichtstrahl, so gut wie möglich, auf den Eingangsspalt des Spektrographen zu fokussieren, um eine möglichst hohe Intensität zu gewährleisten. Auch die Position, auf die die Iodzelle gestellt wird, wird mit einem leeren Linsenhalter markiert.

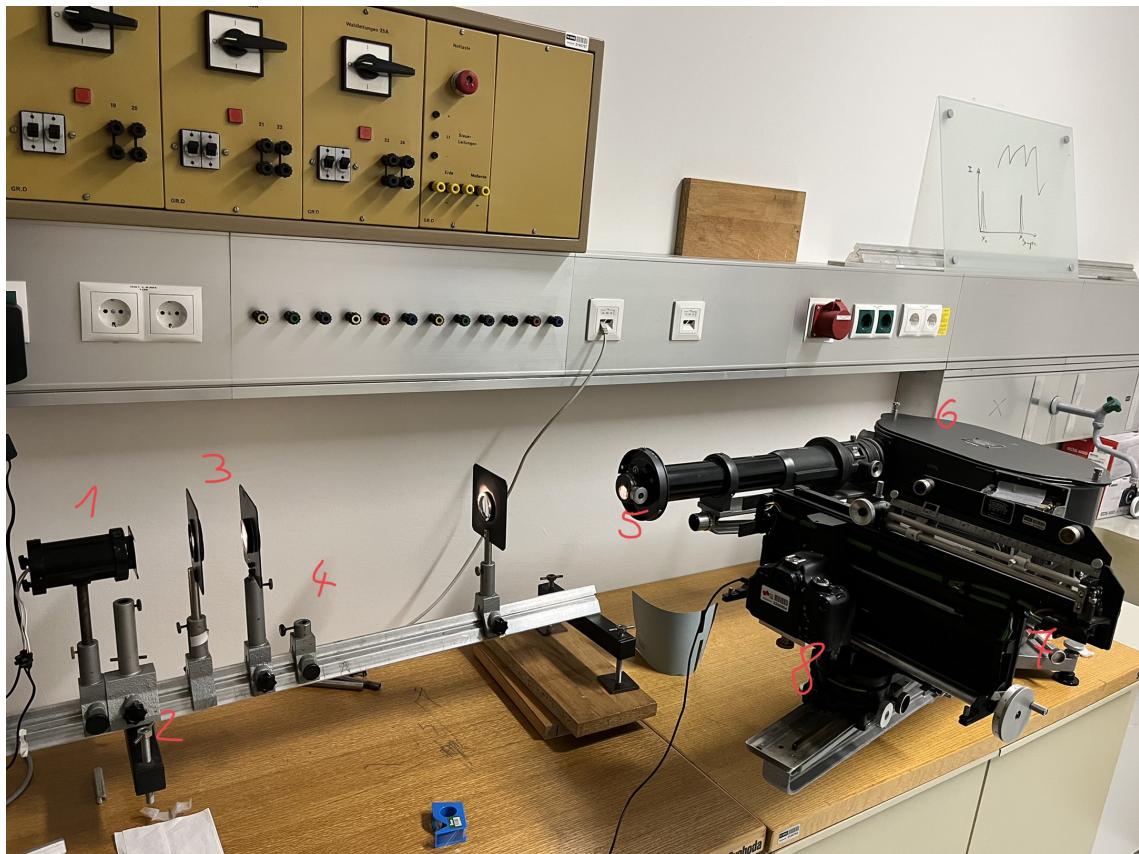


Abbildung 3: Versuchsaufbau des Prismenspektrographen

- 1 ... Lichtquelle
- 2 ... Markierung für die Lichtquelle
- 3 ... Verwendete Sammellinsen (Brennweiten: v.l.n.r. 250, 50, 120)
- 4 ... Markierung für die Iodquelle
- 5 ... Eintrittsspalt in den Spektrographen
- 6 ... Prismen in Spektrographen
- 7 ... Halterung für Kamera
- 8 ... Befestigte Kamera

Im inneren des Spektrographen müssen nun die Prismen durch vorsichtiges Verdrehen richtig eingestellt werden, sodass der eintreffende Lichtstrahl durch die 3 Prismen zur Ausgangsöffnung abgelenkt wird und dort das komplette Spektrum, in-

nerhalb des Schirms sichtbar ist. Um dies gut beurteilen zu können, wird ein Streifen Klebeband über die entsprechende Öffnung geklebt, sodass das gebrochene Licht gut sichtbar wird. Die entsprechenden Positionen der Prismen sind in Abbildung 4 sichtbar.



Abbildung 4: Anordnung der Prismen im Spektrographen

3.2 Gitterspektograph

Der Aufbau des Gitterspektrographen ist in Abbildung 5 sichtbar. Dabei wird der Sensor des Gitterspektrographen mithilfe einer passenden Halterung direkt vor die Lichtquelle gestellt.

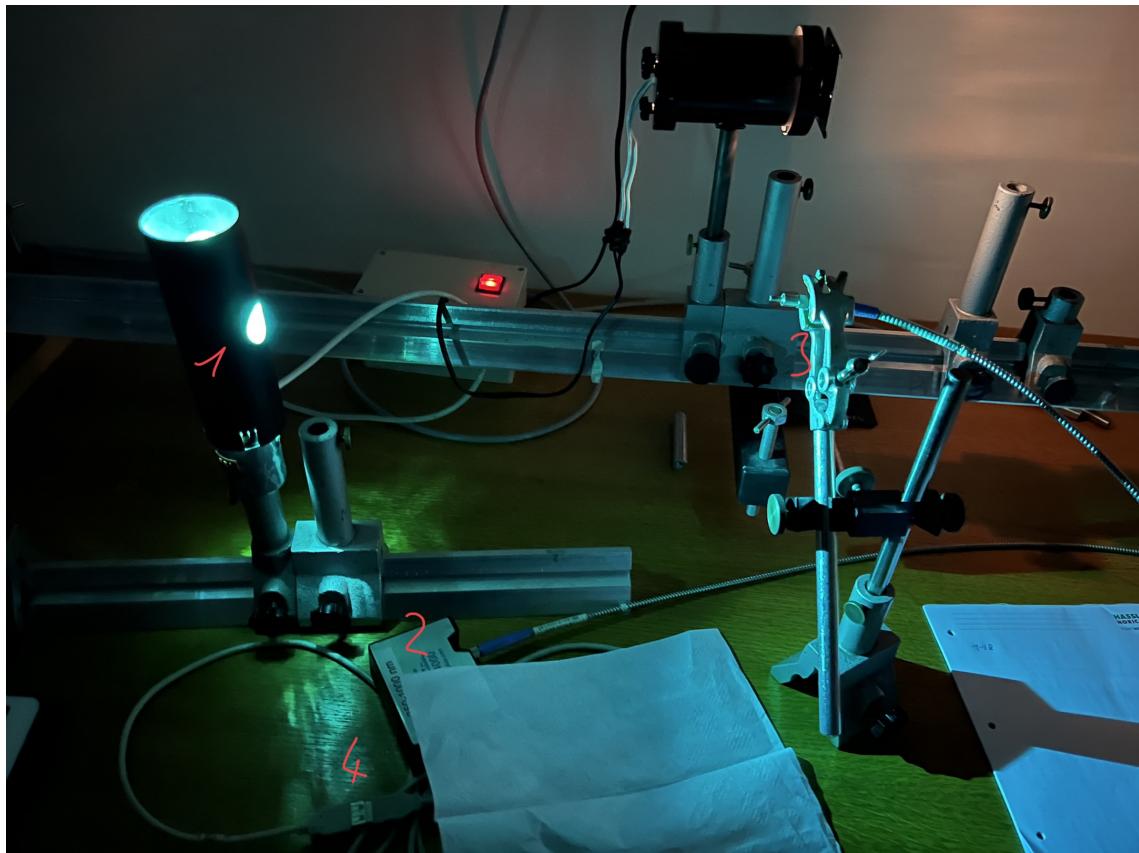


Abbildung 5: Versuchsaufbau des Gitterspektrographen

- 1 ... Lichtquelle
- 2 ... Gitterspektograph
- 3 ... Sensor der Spektrographen
- 4 ... Schnittstelle für Computer

4 Geräteliste

Für den Versuch werden die in Tabelle 1 aufgelisteten Geräte verwendet.

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerätetyp	Hersteller	Typ	Inventar-Nr	Anmerkung
Prismaspektograph	Steinheil		0153624	
Gitterspektograph	Ocean Optics	USB4000	0101417	350-1000 nm
Kamera	Canon	EOS 600D	0206884	ohne Linse
Lichtleiter	Ocean Optics	OP1000-2-UV-BX		
Hg-Dampflampe		Hg-Cd	F21	
Halogenlampe	Leybold		F4	
Iodprobe	Spindler & Hoyer		V / 154d	
Sammellinsen		f = 250, 50, 120		3 x
Optische Bank				höhenverstellbar
Linsenhalter				

5 Durchführung und Messergebnisse

5.1 Prismenspekrograph

Nachdem die Linsen und Prismen wie bereits in Abschnitt 3 angeführt, aufgebaut wurden, wird das, von der Kamera erfasste, Spektrum am Computer mit der Software betrachtet. Es ist dafür zu sorgen, dass die einzelnen Linien der Lichtquelle scharf erscheinen und eine möglichst gute Nutzung der gesamten Breite des zur Verfügung stehenden Schirms vorliegt. Dies wird durch Verstellen und anschließender Feinjustierung der Neigung und des Abstands der Kamera zum Spektographen erreicht. Um das abgebildete Spektrum sichtbar zu machen, wird ein Streifen Klebeband an der entsprechenden Stelle des Spektographen angebracht. Um dafür zu sorgen, dass kein Störlicht auf die Kamera gelangt, wird das gesamte Raumlicht abgedunkelt und ein Karton seitlich an die Kamera gehalten, um kein Licht seitlich von der Lichtquelle zu bekommen.

Weil nicht das gesamte Spektrum mit einem Foto aufgezeichnet werden kann wird zunächst bestimmt, wie groß der erfasste Bereich ist. Dazu wird zunächst die Kamera mithilfe der entsprechenden Kurbel so lange bewegt, bis der rote Peak gerade am rechten Rand des Bildschirms verschwindet. Nun wird die Kamera, unter Bestimmung der entsprechenden Distanz, solange weiterbewegt, bis sich diese rote Linie am linken Rand des Bildschirms befindet. Dadurch wird die Distanz des aufgezeichneten Spektrums bestimmt. Nun wird auf diese Art das gesamte Spektrum aufgezeichnet, welches schließlich Bild für Bild zusammengesetzt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass das Spektrum immer von beiden Lichtquellen und der Iodprobe festgehalten wird, bevor die Kameraposition verschoben wird. Weil bei den verschiedenen

Farbeindrücken unterschiedliche Helligkeiten vorliegen, muss auch immer der Kontrast neu eingestellt werden. Ein Bild eines Teils des Spektrums in entsprechenden Computerprogramm ist symbolisch in folgender ?? sichtbar.

Um den Versuch reproduzieren zu können, sollte exakt der gleiche Spektrograph verwendet werden. Alle abgelesenen und eingestellten Werte sind in folgender Tabelle 2 ersichtlich. Weil die Messwerte nicht immer klar von der entsprechenden Skala ablesbar waren wurde dies bei den Unsicherheiten berücksichtigt und in der Tabelle in der entsprechenden Spalte vermerkt.

Tabelle 2: Abgelesene Einstellungen

- f_i ... Brennweite der i-ten Sammellinse in mm
- f_k ... Brennweite des Kollimators
- SP ... Spaltbreite des Eingangsspalts
- x ... Entfernung der Kamera
- N_{Pi} ... Neigung des i-ten Prismas (nicht in °)
- N_{PT} ... Neigung des Tisches in °
- N_{PK} ... Neigung der Kamera in °

Bezeichnung	Messwert	Anmerkung zur Unsicherheit
f_1	250 mm	Implizit gegeben
f_2	50 mm	Implizit gegeben
f_3	120 mm	Implizit gegeben
f_k	$(141,6 \pm 0,1) \mu\text{m}$	Skala
SP	$(80 \pm 1) \mu\text{m}$	Mikrometerschraube
x	$(43,2 \pm 0,1) \text{ mm}$	Skala
N_{P1}	(65 ± 2)	Geschätzt mit Entfernungsmessung
N_{P2}	$(10,5 \pm 0,5)$	Abgelesen auf entsprechender Skala
N_{P3}	$(6,5 \pm 0,2)$	Abgelesen auf entsprechender Skala
N_{PT}	$(10,88 \pm 0,02)^\circ$	Skala
N_{PK}	$(20 \pm 5)^\circ$	Augenmaß

5.2 Gitterspektograph

Um das Spektrum mithilfe des Gitterspektrographen zu analysieren, wird der Aufbau aus Abschnitt 3 in den Strahlengang der entsprechenden Probe gestellt. Der Computer wird über die entsprechende Verbindung angeschlossen und das Auswertungsprogramm gestartet. Bei der genauen Position des Sensors wird dabei darauf geachtet, dass die verzeichneten Peaks möglichst groß werden, diese aber nicht saturieren. Ein Ausschnitt dieser Einstellungen im Programm ist dabei symbolisch in ?? sichtbar.

6 Auswertung

6.1 Dispersionskurve des Prismenspektrographen

6.2 Auflösevermögen

6.3 Wellenlänge der Jod-Absorptionsbandkanten

6.4 Disotiationsenergie des Jodmoleküls

7 Diskussion

7.1 Prismenspektrograph

Allgemein ist die Benutzung des Prismenspektrographen sehr aufwändig, weil die Justierung der Linsen und Prismen sehr viel Zeit in Anspruch nimmt. Auch ist die Aufnahme des Spektrums, welches sich aus mehreren Einzelbildern zusammensetzt, klar zeitintensiver.

Beim Betrachten des Spektrums aus ?? wird klar ersichtlich, dass die Linien durch diverse Abbildungsfehler eine leichte Krümmung aufweisen. Besonders stark ist dieser Effekt bei den niedrigeren Wellenlängen, was sich durch die höhere Energie erklären lässt. Für die Auswertung wurde dadurch nur ein schmaler Bereich aus der Mitte genommen, um die Werte nicht durch diese Krümmung zu verfälschen. Die schärfe der Kamera wurde auf den gelbe Doppellinie bei fokussiert, da diese besonders signifikant für die Lichtquelle ist.

7.2 Gitterspektrograph

Der Vorteil des Gitterspektrographen liegt vor allem in der einfachen Handhabung. So muss dieser nur angeschlossen werden und liefert sofort einen Intensitätsverlauf. Jedoch wird kein Spektrum erzeugt. Auch ist darauf zu achten, dass die erzeugt Grafik nicht übersättigt ist, was zu einem Fehler führen würde.

Im Bezug auf die Genauigkeit des Gitterspekogaphen sei angemerkt, dass dessen letzte Kalibrierung im Jahr 2008 stattgefunden hat, was darauf schließen lässt, dass eine erneute Kalibrierung die Genauigkeit verbessern könnte.

7.3 Auflösevermögen

Die erhaltenen Werte der Auflösevermögen sind in folgender ?? gegenübergestellt.

Ein Vergleich dieser Werte zeigt klar, dass der Prismenspektrograph eine deutlich höhere Auflösung hat. Dies wird auch bei der qualitativen Betrachtung der entsprechenden Bilder sichtbar.

7.4 Disotiationsenergie des Jodmoleküls

Die erhaltenen Werte für die Disotiationsenergie sind in folgender ?? dem Literaturwert gegenübergestellt.

Der Literaturwert ist also in beiden Fehlerintervallen enthalten. Der erhaltene Wert des Prismenspektrographen liegt jedoch deutlich näher am Literaturwert. Auch ist dessen Unsicherheit kleiner.

8 Zusammenfassung

Zunächst lässt sich feststellen, dass die Handhabung des Gitterspektrographen deutlich einfacher und vor allem schneller geht. Die erhaltenen Ergebnisse des Prismenspektrographen sind jedoch genauer am Literaturwert und haben auch eine geringere Unsicherheit. Weiters liegt auch eine bessere Auflösung vor. Wodurch sich der Zeitaufwand insgesamt lohnt. Es sei jedoch auch angemerkt dass sich die Untersuchung von Lichtquellen durch den Prismenspektrographen nur für Lichtquellen eignet, die leicht zum Spektrographen gebracht werden können, da dieser aufgrund seiner Größe und des Justierungsaufwands nur sehr schwer bewegt werden kann.

8.1 Spektren

Im Rahmen dieses Praktikums wurden die Spektren einer Hg-Lampe, einer Halogenlampe und einer Jodprobe, sowohl mit einem Prismenspektrographen als auch mit einem Gitterspektrographen bestimmt. Die erhaltenen Spektren sind in den ersichtlich.

8.2 Auflösevermögen

Die erhaltenen Werte für die Auflösevermögen sind in folgender ?? ersichtlich.

8.3 Wellenlänge der Jod-Absorptionsbandkanten

8.4 Disotiationsenergie des Jodmoleküls

Die erhaltenen Werte für die Disotiationsenergien sind in folgender ?? ersichtlich.

Abbildungsverzeichnis

1	Skizzierter Strahlengang durch ein Prisma	2
2	Skizzierter Strahlengang durch ein Gitter	4
3	Versuchsaufbau des Prismenspektrographen	5
4	Anordnung der Prismen im Spektrographen	6
5	Versuchsaufbau des Gitterspektrographen	7

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	8
2	Abgelesene Einstellungen	9