

Versuch 5.3

Prismenspektrometer

Inhaltsverzeichnis

1	Lernziele	1	5	Durchführung und Auswertung	5
2	Theorie	1	5.1	Ausrichten des Prismas	6
2.1	Das elektromagnetische Spektrum	2	5.2	Referenzmessung	6
3	Häusliche Vorbereitung	4	5.3	Untersuchung der Spektren der LEDs	7
4	Aufbau	4	6	Fehlervermeidung	7
			7	Anhang	8

1 Lernziele

- Brechung
- Elektromagnetische Wellen
- Dispersion
- Prismenspektroskopie

In diesem Versuch werden Sie mit Hilfe eines Prismenspektrometers die Lichtspektren verschiedener Leuchtdioden untersuchen.

2 Theorie

Sie finden die Theorie in einschlägigen Lehrbüchern, z.B:

- Hering [1]: Kapitel 6.1-6.2
- Giancoli [2]: Kapitel 32 (insbesondere 32.6) und Kapitel 33 (insbesondere 33.6)
- Giancoli [2]: Kapitel 24 (insbesondere 24-4)
- Jewett [5]: Chapter 35 (especially 35.5)
- Halliday [6]: Chapter 33 (especially 23-8)

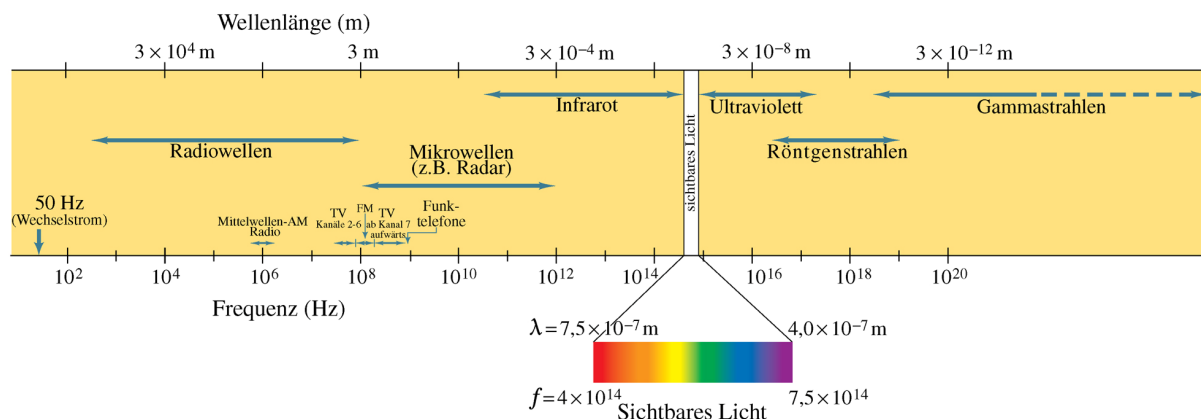


Abb. 1: Das elektromagnetische Spektrum [2]

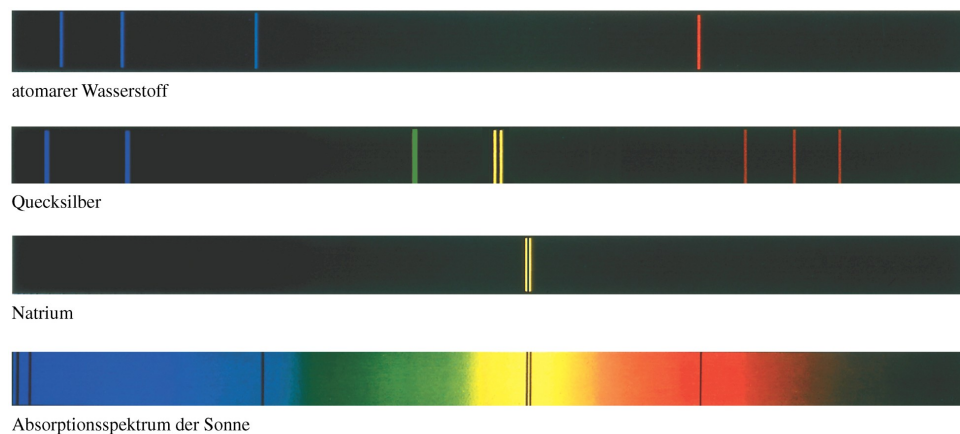


Abb. 2: Linienspektren [2]

Kurzzusammenfassung der Theorie¹

2.1 Das elektromagnetische Spektrum

Licht ist eine elektromagnetische Welle. Das ganze elektromagnetische Spektrum ist in Abbildung 1 dargestellt. Für das menschliche Auge sichtbar ist dabei nur ein sehr kleiner Bereich (zwischen $\lambda = 400 \text{ nm}$ und $\lambda = 750 \text{ nm}$). Nur dieser Bereich wird umgangssprachlich "Licht" genannt.

Das "weiße" Licht ist eine Mischung von verschiedenen Farben (von Rot bis Violett). In der Natur und Technik trifft man häufig auf Spektren, die nur ganz diskrete Wellenlängen enthalten. Diese diskreten Wellenlängen entsprechen jeweils einer Farbe. Im Spektrum sehen diese diskreten Wellenlängen wie einzelne Linien aus, entsprechend heißen sie *Linienspektren* (Abb. 2).

Aus der Wellenlänge λ einer elektromagnetischen Welle kann die Frequenz f mittels der Lichtgeschwindigkeit c berechnet werden:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

¹ Dies ist nur eine sehr kurze Darstellung der wichtigsten Aspekte. Die alleinige Kenntnis des Skriptes reicht nicht aus, um die Prüfung zu bestehen. Arbeiten Sie in jedem Fall mit Lehrbüchern!

Die Lichtgeschwindigkeit c in einem Medium ist geringer als die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c_0 . Das Verhältnis $\frac{c_0}{c}$ wird *Brechungsindex* $n = \frac{c_0}{c}$ genannt.

Licht, das von einem Medium mit Brechungsindex n_1 in ein Medium mit Brechungsindex n_2 eintritt, wird an der Oberfläche *gebrochen* (Abb. 3).

Die Brechung folgt dem Brechungsgesetz nach SNELLIUS:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2)$$

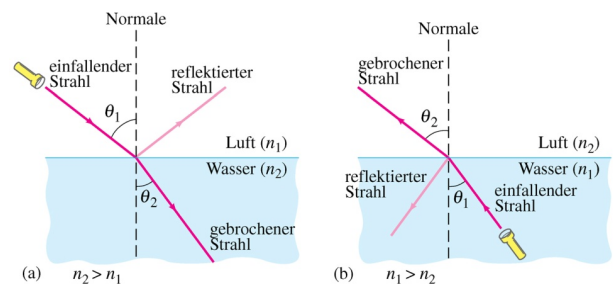


Abb. 3: Lichtbrechung an einer Oberfläche [2]

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass der Brechungsindex unabhängig von der Wellenlänge des gebrochenen Lichts ist. In der Realität ist dies jedoch nicht der Fall; im Allgemeinen hängt der Brechungsindex von der Wellenlänge ab (Abb. 4). Dies wird *Dispersion* genannt. Sie kennen diesen Effekt von einem Regenbogen. Die Regenbogenfarben entstehen durch eine unterschiedliche Brechung der verschiedenen Wellenlängen in den Wassertropfen.

In diesem Experiment lernen Sie die Dispersion an einem Glas-Prisma kennen (Abb. 5).

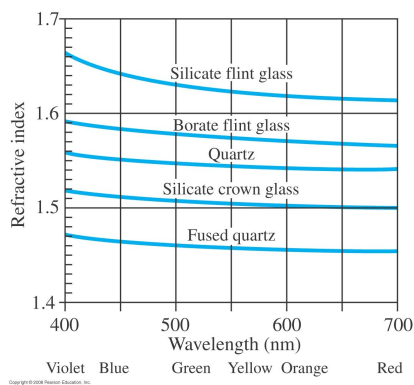


Abb. 4: Dispersion [2]

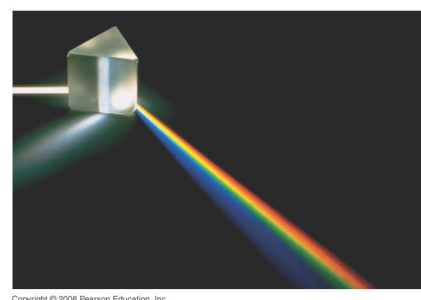


Abb. 5: Dispersion bei einem Prisma [2]

3 Häusliche Vorbereitung

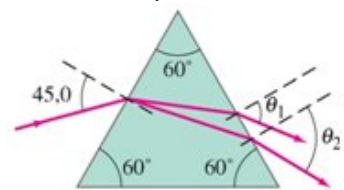
1. Erarbeiten Sie sich die vollständige Theorie und ein vollständiges Verständnis der physikalischen Zusammenhänge mit Hilfe verschiedener Lehrbücher!
2. Bringen Sie mittels geeigneter Bücher in Erfahrung, wie eine LED funktioniert.
3. Warum emittiert eine Gasentladungslampe (i.A.) kein kontinuierliches Spektrum, sondern ein Linienspektrum?
4. Ein paralleles Bündel von Lichtstrahlen, das die beiden Wellenlängen $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$ und $\lambda_2 = 650 \text{ nm}$ enthält, tritt in ein Prisma mit dem Einfallswinkel 45° ein (siehe Zeichnung).

Unter welchen Winkeln θ_1, θ_2 treten die beiden Wellenlängen wieder aus?

Brechungsindizes:

$$n(\lambda_1) = 1,643$$

$$n(\lambda_2) = 1,617$$



5. Welches Glas aus Abbildung 4 ist für die Verwendung in einem Prismenspektrometer am besten geeignet (warum)?
6. In Abbildung 8 ist das Bild eines Nonius dargestellt. Verifizieren Sie anhand des Fotos, dass der Winkel $47^\circ 38'$ beträgt.

4 Aufbau

Sie arbeiten in diesem Versuch mit einem Goniometer, dies ist ein Gerät zur Winkelmessung. Die wichtigsten Komponenten sind:

- 1 Fernrohr
- 2 Einstellschraube für Schärfe
- 8 Feststellschraube für Prismentisch
- 9 Feststellschraube für Teilkreisscheibe
- 10 Teilkreisscheibe
- 11 Feineinstellung für Fernrohr-Drehung
- 12 Feststellschraube für Fernrohr
- 13 Nonien
- 14 Ableselupen
- 19 Verstellbarer Spalt
- 20 Mikrometerschraube zur Spaltverbreiterung
- 21 Spaltrohr
- 22 Tisch für das Prisma

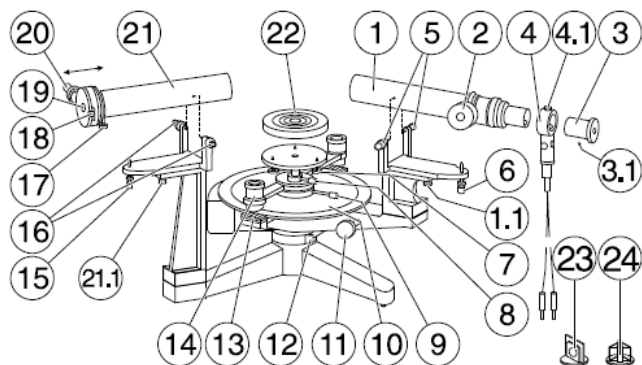


Abb. 6: Das Goniometer [531]

Aus dem Spaltrohr trifft der Lichtstrahl der externen Lichtquelle auf das Prisma, das auf dem Prismentisch (22) platziert wird. Mit dem Fernrohr (1) kann der veränderte Lichtstrahl (ge-

brochen, dispergiert) untersucht werden. Dazu ist die gesamte Fernrohrmechanik um den Prismentisch herum drehbar (11,12). Auf der Teilkreisscheibe (10) ist eine Gradskala aufgebracht, die eine Ablesung von $30'$ (30 Winkelminuten = 0.5°) erlaubt. Der Nonius (13) besitzt eine Teilung von einer Winkelminute. Mit Hilfe der Ableselupen (14) können Winkel minutengenau abgelesen werden. Abbildung 8 zeigt den Blick durch eine Ableselupe (14) und die Berechnung des Winkels aus den abgelesenen Werten.



Abb. 7: Das Spektrometer

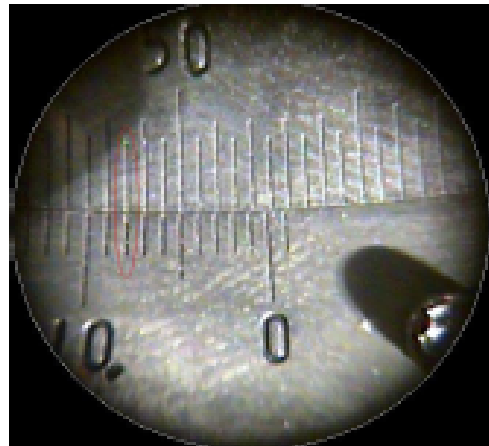


Abb. 8: Der Nonius
Der Nonius zeigt einen Winkel von $47^\circ 38'$

5 Durchführung und Auswertung

Ihre Aufgabe besteht darin, die von Leuchtdioden (LEDs) emittierten Spektren mittels der Prismenspektroskopie zu untersuchen. Es sollen folgende Wellenlängen für verschiedene Leuchtdioden bestimmt werden

- minimale Wellenlänge
- Wellenlänge der hellsten Stelle (dominante Wellenlänge)
- maximale Wellenlänge

Dazu bestimmen Sie die Winkel, bei denen diese Wellenlängen nach dem Austritt aus dem Prisma beobachtet werden können.

Wie können Sie nun von dem, mit dem Goniometer gemessenen, Winkel auf die Wellenlänge schließen? Eine Möglichkeit wäre (wie in der Vorbereitungsaufgabe) einen rechnerischen Zusammenhang zwischen Winkel und Wellenlänge zu erstellen. Die damit ermittelten Ergebnisse wären jedoch recht ungenau (überlegen Sie warum!). Wir wählen daher hier einen (in der Technik oft verwendeten) anderen Weg:

Bevor Sie mit der eigentlichen Messung beginnen, erstellen Sie eine Referenzkurve, d.h. eine Kurve aus der Sie ablesen können, welche Wellenlänge zu einem bestimmten Winkel gehört. Dazu vermessen Sie zuerst ein Linienspektrum, von dem die Lagen der Linien (also deren Wellenlängen) bekannt sind. Sie erstellen mit diesen Daten ein Diagramm (Wellenlänge über Winkel).

In der folgenden Messung der Leuchtdioden können Sie dann anhand des gemessenen Winkels und der Referenzkurve auf die gesuchte Wellenlänge schließen.

Die Durchführung im Detail

5.1 Ausrichten des Prismas

1. Entfernen Sie das Prisma vom Prismentisch.
2. Schließen Sie den Spalt und beleuchten Sie den Spalt mit der Helium-Spektrallampe. Stellen Sie das Fernrohr so ein, dass sie geradewegs in das Spaltrohr sehen. Öffnen Sie den Spalt soweit, dass Sie ihn als schmalen, leuchtenden Strich sehen können. Stellen Sie nun das Fernrohr so ein, dass sich der Spalt mit der vertikalen Linie des Fadenkreuzes deckt. Sollte der Spalt gegenüber dem Fadenkreuz verdreht sein, so richten Sie das Spaltrohr neu aus (Punkt 3.2.2 auf der ausliegenden Bedienungsanleitung des Spektrometers). Fixieren Sie das Fernrohr mit der Feststellschraube (12).
3. Drehen Sie die Teilkreisscheibe auf $0^\circ 0' 0''$.
4. Stellen Sie das Fernrohr jetzt auf $48^\circ 0' 0''$. Stellen Sie das Prisma auf den Prismentisch und drehen Sie diesen so lange, bis Sie die rote Linie des Helium-Spektrums im Fernrohr sehen können (vgl. Häusliche Vorbereitung). Suchen Sie durch Drehen am Prismentisch die Stellung der minimalen Brechung bei der die Linie mit der größten Wellenlänge (i.A. Rot) am rechten Rand erscheint (evtl. ist es dazu notwendig das Fernrohr nachzuführen).
5. Sie haben damit das Prisma korrekt ausgerichtet. Fixieren Sie den Tisch mit Schraube (8).

5.2 Referenzmessung

1. Nutzen Sie das Linienspektrum der Helium-Lampe, um die Referenzkurve zu erstellen. Diese Referenzkurve ermöglicht Ihnen später, den Zusammenhang zwischen dem gemessenen Winkel und der gesuchten Wellenlänge herzustellen.
2. Beleuchten Sie den Spalt mit Helium-Licht und verdunkeln Sie (falls noch nicht geschehen) den Raum. Sie sollten jetzt mehrere Spektrallinien sehen. Stellen Sie das Fernrohr auf die Spektrallinie mit der größten sichtbaren Wellenlänge ein. Stellen Sie sicher, dass der Spalt nur so groß eingestellt ist, dass der Hintergrund der Spektrallinien noch schwarz erscheint. Fixieren Sie das Fernrohr (Feststellschraube (12)) und stellen Sie die Teilkreisscheibe auf $0^\circ 0' 0''$.
3. Legen Sie eine Wertetabelle mit den Spalten "Farbe", "Brechung $\theta/^\circ$ " und "Wellenlänge λ/nm " an. Der erste Eintrag in die Tabelle lautet "rot", "0". Die zugehörige Wellenlänge entnehmen Sie dem Referenzspektrum im Anhang dieses Dokumentes (Tabelle 1).
4. Lösen Sie nun die Feststellschraube für das Fernrohr wieder und stellen Sie das Fernrohr auf die jeweils nächste Spektrallinie, deren Wellenlänge im Anhang angegeben ist, ein. Lesen Sie die Winkel ab und tragen Sie diese Daten ebenfalls in die Tabelle ein. Passen Sie ggf. die Öffnung des Spalts an, um ein Überstrahlen durch die hellen Linien zu vermeiden.
5. Wie genau können Sie das Fadenkreuz auf eine Spektrallinie einstellen und wie genau ist der abgelesene Wert am Nonius? Nutzen Sie dies für die Angabe der Messunsicherheit.
6. Fertigen Sie aus den Messdaten ein Diagramm an (Abszisse: Brechungswinkel θ , Ordinate: Wellenlänge λ) Zeichnen Sie auch die Messunsicherheit der Winkels als Fehlerbalken ein. Approximieren Sie die Messpunkte durch ein Polynom geeigneten Grades. Wählen Sie den kleinsten Grad, der alle Messpunkte im Rahmen der Messunsicherheiten beschreibt.

Dies ist Ihre Referenzkurve. Sie können damit für jeden gemessenen Brechungswinkel θ die entsprechend gebrochene Wellenlänge λ ermitteln. Bitte beachten Sie, dass die Referenzkurve

nur für Ihren Aufbau und den untersuchten Wellenlängenbereich Gültigkeit besitzt. Sollten Sie das Prisma verschieben oder eine Wellenlänge außerhalb des Bereichs untersuchen, können Sie die Referenzkurve nicht mehr verwenden.

5.3 Untersuchung der Spektren der LEDs

1. Tauschen Sie die Helium-Lampe gegen eine LED aus.
2. Erstellen Sie eine weitere Tabelle und analysieren Sie das Spektrum der LED. Messen Sie jeweils die Winkel für
 - die minimale Wellenlänge,
 - die Wellenlänge der hellsten Stelle (dominante Wellenlänge) sowie
 - die maximale Wellenlänge.

Führen Sie jede Winkelmessung mindestens zweimal unabhängig voneinander durch (neu einstellen und ablesen). Am besten geschieht das durch zwei verschiedene Personen. Ermitteln Sie daraus die Messunsicherheit U_θ der gemessenen Winkel.

3. Ermitteln Sie mit Hilfe der Referenzkurve aus den gemessenen Winkeln die entsprechenden Wellenlängen λ inklusive Messunsicherheit U_λ . Das kann mit zwei verschiedenen Methoden erfolgen:

grafisch: Zeichnen Sie in ein Diagramm mit der Referenzkurve die gemessenen Winkel θ einschließlich Messunsicherheit U_θ ein. Bestimmen Sie grafisch die entsprechende Wellenlänge $\lambda \pm U_\lambda$.

rechnerisch: Geben Sie die Funktion der Referenzkurve $\lambda(\theta)$ explizit im Bericht an. Bestimmen Sie für alle Spektrallinien der Referenzmessung die Abweichung zwischen theoretischer Wellenlänge (siehe Tabelle 1) und Ihrer Fit-Funktion. Die maximale Abweichung ist ein Maß für die Fit-Güte U_{fit} der Referenzkurve. Benutzen Sie nun diese experimentell gefundene Funktion der Referenzkurve, um mittels des linearen Fehlerfortpflanzungsgesetzes $\lambda \pm U_\lambda$ zu berechnen. Wie geht die Fit-Güte U_{fit} ein?

Klären Sie mit Ihrem Betreuer, welche Methode Sie anwenden sollen!

4. Vergleichen Sie Ihre Messwerte mit den Herstellerangaben.
5. Wiederholen Sie die Messungen für eine zweite LED.

Anmerkungen

Wie sie sicher schon gemerkt haben, besitzt das Spektrometer etliche Justierschrauben. Wir bitten Sie höflich, nur diejenigen Einstellungen vorzunehmen, die für das Experiment nötig sind. Eine komplette Justage des Spektrometers muss sehr sorgfältig erfolgen und benötigt einige Arbeitsstunden. Sicher haben Sie auch so schon genug zu tun...

6 Fehlervermeidung

- Sie messen die Winkel in Grad, Minuten und Sekunden. Für Ihre Kurve benötigen Sie aber Dezimalwerte. Wie rechnen Sie um?

- Zeichnen Sie die Referenzkurve direkt während der Messung und bestimmen Sie aus der Referenzkurve direkt während des Experiments die Wellenlängen. So können Sie grobe Fehler sofort erkennen.
- Verwechseln Sie niemals *Beugung* und *Brechung*. Dies sind zwei ganz unterschiedliche Effekte.

7 Anhang

Farbe	λ/nm	Intensität
rot	706,5	schwach
rot	667,8	stark
gelb	587,6	sehr stark
türkis	504,8	schwach
türkis	501,6	stark
türkis	492,2	mittel
blau	471,3	mittel
blau	447,1	stark
blau	438,8	schwach
violett	412,1	sehr schwach
violett	402,6	sehr schwach
violett	388,9	sehr schwach

Tabelle 1: Spektrallinien der Helium Lampe

Literatur

- [1] E. Hering, *Physik für Ingenieure*. Berlin [u.a.]: Springer, 2004.
- [2] Giancoli, Douglas C. *Physik*. München: Pearson, 2006 (3. Auflage)
- [5] Jewett, John W. *Physics for scientists and engineers with modern physics*. Belmont, Calif.: Thomson / Brooks/Cole, 2008.
- [6] Halliday, David and Resnick, Robert. *Fundamentals of physics extended*. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
- [7] Breithaupt, Jim. *Physics*. Palgrave foundations. Basingstoke: Palgrave MacMillian, 2010.
- [531] LEYBOLD Instruction Sheet No. 467 23