

Spektroskopie

Treffpunkt:

Heinrichstraße 28, 1. OG (Seitentrakt), Raum 010H-01-0020

Betreuer:

Donato Civita *Raum 0010-05-0066 (5. OG)*
Tel: 380 – 5415
e-mail: donato.civita@uni-graz.at

Monika Schied *Raum 0010-05-0020 (5. OG)*
Tel: 380 – 5425
e-mail: monika.schied@uni-graz.at

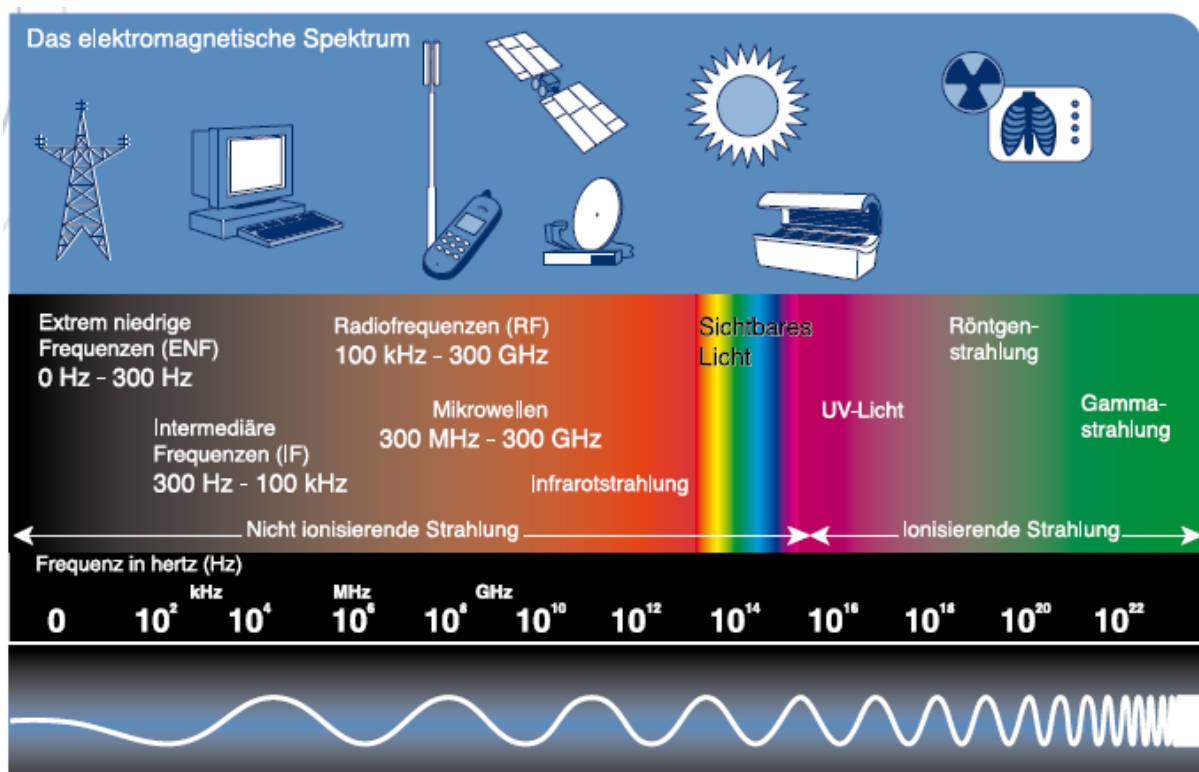
Karl-Franzens-Universität Graz

WS 2020/21

Ziele des Versuchs:

Verständnis von optischen Phänomenen wie Beugung, Brechung und Interferenz und Grundprinzipien der Spektroskopie durch Aufspaltung von Licht, elektromagnetische Strahlung und deren Wechselwirkung mit Materie. Untersuchung der optischen Eigenschaften von verschiedenen Filtern, Sonnenbrillengläsern und Sonnenöl.

Grundlagen:



Quelle: www.infogsm.be

Elektromagnetische Strahlung

Zur elektromagnetischen Strahlung zählen Wellen aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern. Das beinhaltet sowohl Wellen im Bereich von Rundfunk, Mikrowellen, Licht bis hin zu Röntgenstrahlung. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum beträgt Lichtgeschwindigkeit und Ausbreitungsrichtung ist, wenn ungestört, geradlinig. Um diese Wellen zu beschreiben ist vor allem die Wellenlänge λ bzw. die Frequenz ν wichtig, da diese mit dieser Beziehung direkt mit der Energie verknüpft ist: $E = h\nu = hc/\lambda$ (wobei h die Planck-Konstante ist und c die Lichtgeschwindigkeit). EM-Strahlung hat sowohl Teilchen- als auch Wellencharakter. Der Wellencharakter zeigt sich unter anderem in Interferenzphänomenen, während die Teilcheneigenschaften zum Beispiel beim photoelektrischen Effekt zum Tragen kommen. Abhängig von ihrer Energie kann EM-Strahlung verschiedene Wechselwirkungen mit Materie eingehen.

Dabei werden einzelne Lichtteilchen (Photonen) von Atomen absorbiert und deren Energie steht dann zur Verfügung, um zum Beispiel ein Elektron in eine höhere Schale zu heben.

Spektroskopie ist die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung mit Materie. Abhängig von der Energie der Photonen und damit der Wellenlänge der Strahlung können zum Beispiel Informationen über die Zusammensetzung von Materie (welche Atome sind vorhanden) oder über deren Bindungen (Anregen von Schwingungen...) gewonnen werden.

Beugung/Interferenz

Einzelspalt

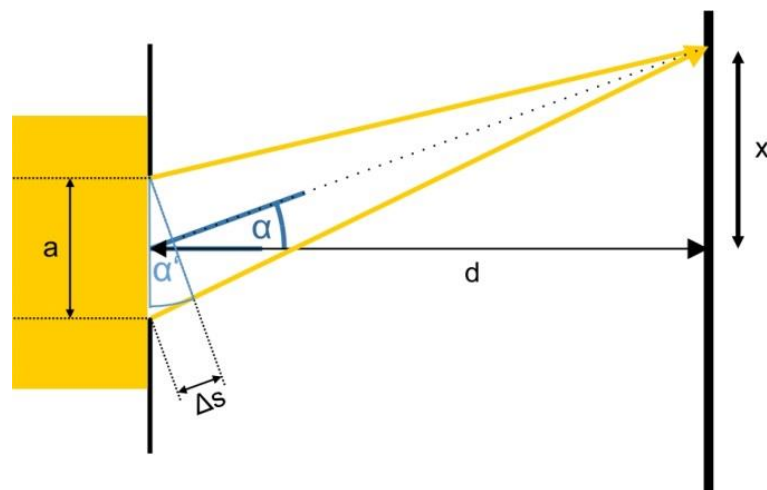


Abbildung 1: Einzelspalt. Paralleles Licht trifft auf einen Spalt der Breite a . Auf einem Schirm im Abstand d kann eine winkelabhängige Intensitätsverteilung beobachtet werden. Ein Minimum ist erkennbar wenn der Gangunterschied Δs ein Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

Trifft paralleles Licht auf einen dünnen Spalt der Breite a ergibt sich folgende Intensitätsverteilung:

$$I(\alpha) = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \right)^2$$

Das kann durch eine Kombination aus dem Huygensschen Prinzip und Interferenz erklärt werden:

Teilt man den Spalt in viele kleine Abschnitte ein, die jeweils der Ausgangspunkt einer Elementarwelle sind, bekommt man in einem gewissen Abstand vom Spalt ein Interferenzmuster. Um vollständige Auslöschung (Intensitätsminimum) zu erreichen, muss die Summe aller Elementarwellen Null sein. Dies gilt genau, wenn der

Gangunterschied Δs zwischen den Randstrahlen ein Vielfaches der Wellenlänge ist. Daher gelten für die Intensitätsminima folgende Beziehungen:

$$\tan \alpha = \frac{x}{d} \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{k\lambda}{a}$$

wobei a die Spaltbreite ist, x der Abstand zwischen der Mitte eines Minimums und der Mitte eines anderen Minimums und α der Winkel gegenüber ihnen. Für die Intensitätsmaxima gilt dagegen:

$$\tan \alpha = \frac{x}{d} \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{(2k+1)\lambda}{2a}$$

Doppelspalt

Trifft paralleles Licht auf einen Doppelspalt (Abstand der beiden Spalte a) ergibt sich die Intensitätsverteilung als Produkt aus der Intensität der **Einzelspalte** und des **Gitters** mit der Anzahl der Gitterlinien $N=2$:

$$I(\alpha) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \right)^2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \alpha\right)$$

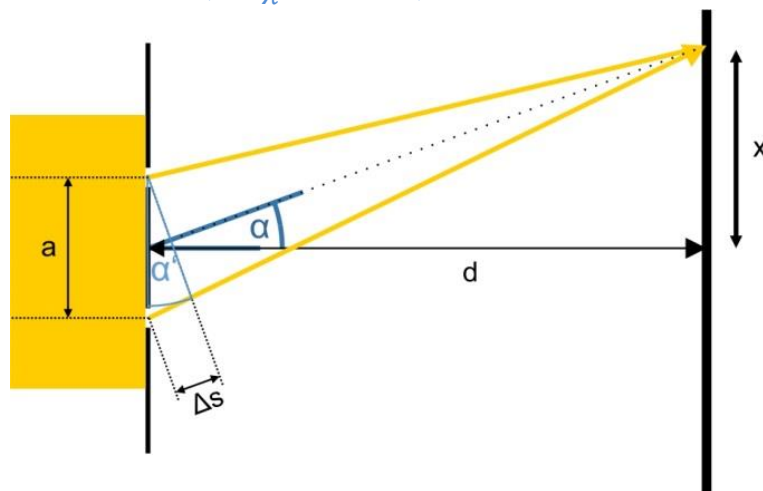


Abbildung 2: Doppelspalt. Paralleles Licht trifft auf einen Doppelspalt mit dem Abstand a zwischen den beiden Einzelspalten. Auf einem Schirm im Abstand d kann eine winkelabhängige Intensitätsverteilung beobachtet werden. Ein Maximum ist erkennbar wenn der Gangunterschied Δs ein Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

Konstruktive Interferenz, also Intensitätsmaxima, sind an den Stellen des Schirms zu finden an denen der Gangunterschied Δs zwischen den Strahlen aus den beiden Spaltenmitten ein Vielfaches der Wellenlänge ist. Daher gelten für die Maxima folgende Beziehungen:

$$\tan \alpha = \frac{x}{d} \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{k\lambda}{a}$$

wobei x der Abstand zwischen der Mitte eines Maximums und der Mitte eines anderen Maximums ist und α der Winkel gegenüber ihnen.

Dieses Interferenzbild wird eingehüllt von dem des Einzelspaltes.

Gitter

Hat man ein Gitter mit mehr als zwei Spalten ($N > 2$) ergibt sich die winkelabhängige Intensitätsverteilung wieder aus dem Produkt der Intensitätsverteilung des **Einzelspaltes** und des **Gitters**. Je größer die Zahl der Spalten N ist desto schärfer werden die Maxima:

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \left(\frac{\sin\left(\pi \frac{b}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\pi \frac{b}{\lambda} \sin \alpha} \cdot \frac{\sin\left(N\pi \frac{g}{\lambda} \sin \alpha\right)}{N \sin\left(\pi \frac{g}{\lambda} \sin \alpha\right)} \right)^2$$

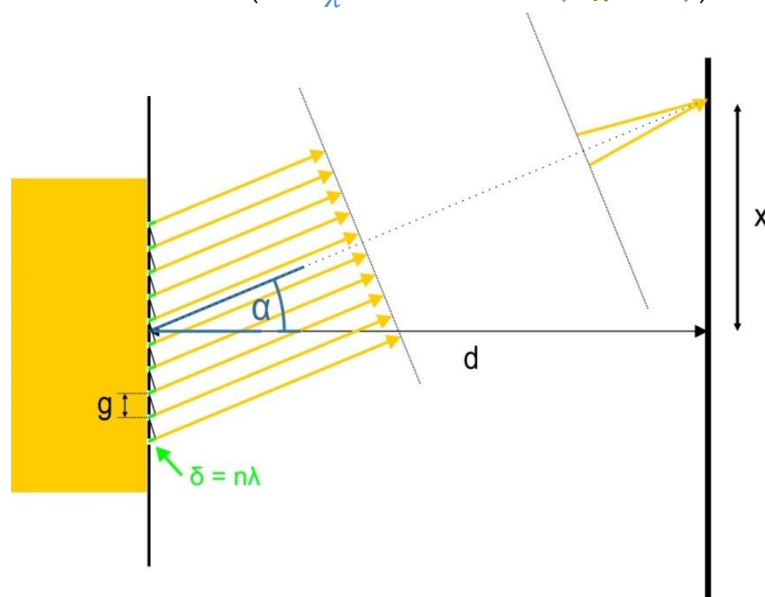


Abbildung 3: Gitter. Paralleles Licht trifft auf ein Gitter mit dem Abstand g zwischen den Einzelspalten. Auf einem Schirm im Abstand d kann eine winkelabhängige Intensitätsverteilung beobachtet werden. Ein Maximum ist erkennbar, wenn der Gangunterschied Δs ein Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

Die Intensitätsmaxima auf dem Schirm ergibt sich für folgende Beziehung:

$$\tan \alpha = \frac{x}{d} \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{k\lambda}{g}$$

wobei x der Abstand zwischen der Mitte eines Maximums und der Mitte eines anderen Maximums ist und α der Winkel gegenüber ihnen. g die Gitterkonstante (die Periode des Gitters) ist.

Einfluss von UV-Strahlung auf die Menschliche Haut

Da langwellige, niedrigenergetische Strahlung kaum Einfluss auf die menschliche Haut hat, soll hier das Hauptaugenmerk auf ultravioletter Strahlung liegen. Diese wird in mehrere Bereiche unterteilt: UV-A (315 - 380nm), UV-B (280 - 315nm) und UV-C (100 - 280nm). Von der Sonne kommende, sehr kurzwellige UV-C Strahlung gelangt nicht bis zur Erdoberfläche, da sie in den obersten Luftschichten der Erdatmosphäre absorbiert wird. Für den Einfluss auf die menschliche Haut sind daher nur die beiden anderen Bereiche relevant. Während die energiereichere UV-B Strahlung nur bis in die Oberhaut eindringen kann, gelangt die langwelligere UV-A Strahlung bis zur Lederhaut. Beide Komponenten bewirken einen gewissen Lichtschutz durch die Pigmentierung der Haut, werden aber auch für das Auftreten von Hautkrebs mitverantwortlich gemacht. Um sich in der Sonne vor diesen Strahlen zu schützen, wird meist Kleidung, Sonnencreme oder -öl verwendet.

Der Einfluss von Sonnenstrahlung auf das menschliche Auge

Auch das menschliche Auge kann durch elektromagnetische Strahlung geschädigt werden. Wie bei der Haut gilt auch hier, dass kurzwellige Strahlung eine geringere Eindringtiefe besitzt als langwellige energieärmere Strahlung. Allerdings kann eine Bestrahlung des Auges auch mit sichtbarem Licht in hoher Intensität zu dauerhaften Schäden führen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn das Auge der Strahlung eines Laserpointers ausgesetzt ist. Hierbei kann die Netzhaut unter Umständen dauerhaft verletzt werden.

BITTE BEACHTEN SIE WÄHREND DES VERSUCHS: ES IST STRENG VERBOTEN DIREKT IN EINEN DER LASERPOINTER ZU SCHAUEN BZW. DIESEN AUF DIE AUGEN EINER ANDEREN PERSON ZU RICHTEN!

Die energiereiche UV-Strahlung kann aber auch zur Schädigung der Augen führen. So wird der graue Star (Katarakt) teilweise auf eine zu hohe Belastung mit UV- und IR-Strahlung über lange Zeit hinweg zurückgeführt. Auch die sogenannte Schneeblindheit (Keratopathie), eine Schädigung der äußeren Hornhaut, wird durch starke UV-Strahlung ausgelöst.

Daher gelten im Allgemeinen sehr strenge Vorschriften für die Transmission von Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als 400nm. Es wird empfohlen, dass die Absorption in dem Bereich von UV-B/C (100nm - 315nm) zwischen 99,99% und 100%

liegt und im Bereich von UV-A (315nm - 380nm) zwischen 99,50% und 100% um das Auge wirksam zu schützen. Sonnenbrillen die diese Anforderungen erfüllen, werden mit dem Zertifikat UV 400 gekennzeichnet.

Lambert-Beer'sches Gesetz

Die Abschwächung der Intensität von EM-Strahlung beim Durchgang durch ein bestimmtes Medium ist abhängig von der Konzentration der aktiven Substanz und deren Schichtdicke.

$$E_{\lambda} = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d,$$

Wobei E_{λ} die Extinktion, I_0 die Intensität des einfallenden Lichts und I die Intensität des transmittierten Lichts. ε_{λ} ist der Extinktionskoeffizient, c die Konzentration und d die Schichtdicke des durchstrahlten Körpers.

Hiermit kann man auch die Transmission ($T = \frac{I}{I_0}$) mit der Konzentration der verwendeten Substanz und der Schichtdicke in Beziehung setzen.

Weiterführende Literatur:

- Atkins & de Paula, Physikalische Chemie, Kapitel 13
- Moore, Physikalische Chemie, Kapitel 13
- Kuchling, Taschenbuch der Physik, Kapitel 25 – 27
- Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 3: Optik
- W. Walcher, Praktikum der Physik
- Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. I
- Berkeley Physik Kurs, Bd. 6, Physik im Experiment

Aufgaben:

Teil I (im Labor):

1. Bestimmen Sie die Wellenlänge des grünen und des roten Laserpointers.
2. Erzeugen Sie paralleles weißes Licht.
Bestimmen Sie die Anzahl der Linien des Gitters aus der Position des Lichtes einer Farbe/Wellenlänge. Achten Sie auf mögliche Fehler der Messung.
3. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Filter 1-3.

Teil II (online):

4. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Filter 1-3.
5. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Sonnenbrillen 1-4.
6. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften von Sonnenöl.

Geräte:

Teil I: Die Messungen der Aufgaben 1-3 werden mit Hilfe einer optischen Schiene durchgeführt. Weiterhin stehen mehrere Lichtquellen (Grüner und roter Laserpointer, sowie eine Taschenlampe) und optische Bauelemente (Linsen, Spalte, Lochblende, Doppelspalt, Gitter, Filter, Schirm ...) zur Verfügung.

Teil II: Der zweite Teil dieses Versuchs wird mit dem AvaSpec 2048-2, einem Gitterspektrometer im Czerny-Turner-Aufbau, durchgeführt. Hier kann eine Lösung, ein Filter oder das Glas einer Brille eingesetzt werden und es wird die Transmission gemessen.

Versuchsdurchführung und Auswertung:

zu Teil 1:

1. Interferenz

Licht besitzt sowohl Teilchen als auch Welleneigenschaften. Wenn eine flache Wellenfront auf einen Doppelspalt trifft, entsteht auf einem Schirm ein Interferenzmuster. Wählt man monochromatisches Licht der Wellenlänge λ und einen Doppelspalt mit der Spaltbreite b und dem Spaltabstand a ergibt sich im Abstand d auf einem Schirm ein Muster von Maxima und Minima. Diese ergeben sich aus der Überlagerung der beiden gebeugten Wellen.

→ Beleuchten Sie den Doppelspalt mit dem roten Laserpointer und beobachten Sie das entstehende Beugungsmuster. Bestimmen Sie die Werte d (Distanz Doppelspalt – Schirm), x (Distanz zwischen den Maxima) und k (Beugungsordnung) und berechnen Sie hieraus die Wellenlänge des

Laserpointers. Beachten Sie dabei auftretende Fehler und machen Sie eine ausführliche Fehlerrechnung. Sie erhalten die Messwerte für den grünen Laserpointer von den Versuchsleitern.

2. Paralleles Licht – geometrische Optik

Für viele Experimente ist paralleles Licht nützlich oder notwendig. Arbeitet man mit Sonnenlicht, kann man davon ausgehen, dass dieses parallel ist. Eine künstliche Lichtquelle muss jedoch extra so eingestellt werden, dass eine flache Wellenfront das optische Instrument trifft.

→ Wählen Sie aus den vorhandenen optischen Instrumenten (optischer Spalt, Lochblende, Sammellinse, Zerstreuungslinse, Gitter, Prisma...) diejenigen aus, die nötig sind, einen parallelen Lichtstrahl weißen Lichts zu erzeugen und ordnen Sie diese auf der optischen Bank richtig an. Überprüfen Sie ständig die Ausbreitung des Lichtstrahls mit Hilfe eines weißen Blatts Papier.

Im vorangegangenen Aufgabenteil 1 wurde klar, dass die Beugungsmaxima für verschiedene Wellenlängen an verschiedenen Punkten liegen. Diesen Effekt kann man nutzen um weißes Licht in seine spektralen Bestandteile aufzuspalten. Wegen der höheren Transmission verwenden wir in diesem Aufgabenteil ein Gitter statt eines Doppelspaltes, wobei der grundlegende Prozess der gleiche bleibt.

→ Bestimmen Sie die Anzahl der Linien des Gitters mit der Aufschrift 530 mm^{-1} aus der Position des Lichts einer beliebigen Farbe/Wellenlänge. Begründen Sie Ihre Wahl. Beleuchten Sie hierzu das Gitter mit parallelem weißem Licht und bestimmen Sie die Werte d und x . Wiederholen Sie die Messung von x mehrmals (abwechselndes Messen der Distanzen) und bilden Sie den Mittelwert. Berechnen Sie hieraus die Gitterkonstante. Achten Sie auf mögliche Fehler der Messung und machen Sie eine ausführliche Fehlerrechnung. Sie erhalten die Messwerte für das andere Gitter (Aufschrift: 1000 mm^{-1}) von den Versuchsleitern.

3. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Filter 1-3.

→ Bringen Sie nacheinander einen grünen und einen roten Filter in den Strahlengang ein und bestimmen Sie den Bereich, in dem kein Licht mehr durch die Filter transmittiert wird. Spielt es eine Rolle, ob der Filter vor oder nach dem Gitter in den Strahlengang gehalten wird? Wiederholen Sie mehrmals die Messung von x (abwechselndes Messen der Distanzen) und bilden Sie den Mittelwert. Berechnen Sie hieraus die Absorptionskante (Grenzwellenlänge). Achten Sie auf mögliche Fehler der Messung und machen Sie eine ausführliche Fehlerrechnung. Sie erhalten die Messwerte für den blauen Filter von den Versuchsleitern.

zu Teil II

Dieser Versuchsteil kann aufgrund der aktuellen Situation leider nicht vor Ort durchgeführt werden. Sie erhalten online eine detaillierte Beschreibung des Versuchsablaufs. Sämtliche Messdaten werden ebenfalls zur Verfügung gestellt.

4. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Filter 1-3.
 - Messen Sie die Abschwächung der Intensität durch die Filter 1-3 mithilfe des Spektrometers. Nehmen Sie zur Kalibrierung des Spektrometers zuerst ein Dark-Spektrum (kein Licht kommt in das Spektrometer) und ein Referenz-Spektrum (das komplette Licht aus den beiden Strahlungsquellen kommt in das Spektrometer) im Scope-Modus auf. Schalten Sie dann in den Transmissionsmessmodus. Nehmen Sie die Transmission aller Filter auf und zeichnen Sie diese in einen Graphen (UV und sichtbarer Bereich). Geben Sie jeweils einen Wert für die durchschnittliche Transmission an. Bestimmen Sie außerdem graphisch (aus dem Graphen, nicht aus der Tabelle) die Wellenlängen, für die die Transmission unter 20% sinkt und die Position und Breite (Halbwertsbreite – FWHM) eventuell auftretender Peaks. Geben Sie nach ausführlicher Fehlerrechnung eine Genauigkeit Ihrer Ergebnisse an.

5. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften der Sonnenbrillen 1-4.
 - Messen Sie die Abschwächung der Intensität durch die Brillengläser mithilfe des Spektrometers (UV/VIS). Zeichnen Sie die Transmission aller Gläser in einen Graphen. Bestimmen Sie jeweils einen Wert für die durchschnittliche Transmission im UV-Bereich (250-400 nm) und im sichtbaren Bereich (400-750 nm). Bestimmen Sie außerdem graphisch die Wellenlängen für welche die Transmission unter 20% sinkt und die Position und Breite (FWHM) eventuell auftretender Peaks. Erklären Sie die Färbung der Gläser durch die Messungen. Vergleichen Sie die einzelnen Messungen. Alle Sonnenbrillen erfüllen laut Beschreibung beim Kauf das Zertifikat UV 400. Prüfen Sie, ob das gerechtfertigt ist. Geben Sie nach ausführlicher Fehlerrechnung eine Genauigkeit Ihrer Ergebnisse an.

6. Bestimmen Sie die Transmissionseigenschaften von Sonnenöl.
 - Wählen Sie eines der Sonnenöle im Labor aus, lösen dieses in Isopropanol und messen Sie die Abschwächung der Intensität mithilfe des Spektrometers. Füllen Sie Ihre Lösung für die Messung in eine Küvette und vergleichen Sie die Transmissionseigenschaften mit denen der Sonnenbrillen. Bestimmen Sie jeweils einen Wert für die mittlere Transmission im UV-Bereich (250-400nm) und im sichtbaren Bereich (400-750nm). Bestimmen Sie außerdem die Wellenlängen für welche die Transmission unter 20% sinkt und die Position und Breite (FWHM) eventuell auftretender Peaks. Welche Referenzmessungen sind nötig, um eine

qualifizierte Aussage treffen zu können? Geben Sie nach ausführlicher Fehlerrechnung eine Genauigkeit Ihrer Ergebnisse an.

Protokoll:

Das Protokoll soll aus folgenden Teilen bestehen:

1. **Abstract**
2. **Einleitung**
3. **Ergebnisse: Beschreibung der Messungen und Darlegung der Messergebnisse.**

Notwendige Abbildungen:

- Transmissionsmessungen der Filter.
- Transmissionsmessungen der Brillen.
- Transmissionsmessungen des Sonnenöls.

Wünschenswerte Abbildungen:

- Photographie der Beugungsmuster der Laserpointer.
- Photographie der Gitterspektren mit/ohne Filter.

Notwendige Ergebnisse:

- Wellenlängen der beiden Laserpointer.
- Gitterkonstante des Beugungsgitters.
- Begründung für die Wahl der Farbe/Wellenlänge zur Bestimmung der Gitterkonstante.
- Position der Absorptionskanten der Filter aus den Messungen auf der optischen Bank.
- Position der Absorptionskanten der Filter aus den Messungen mit dem Spektrometer.
- Vergleich der Position der Absorptionskanten aus beiden Messungen.
- Durchschnittliche Transmission der Filter.
- Ist die Position des Filters relevant? Begründen Sie!
- Position und Breite auftretender Peaks in den Transmissionsspektren der Filter.
- Wellenlängenbereiche der Filter, in denen die Transmission unter 20% fällt.
- Durchschnittliche Transmission der Brillen im UV- bzw. im sichtbaren Bereich.
- Position und Breite auftretender Peaks im Transmissionsspektrum der Brillen.
- Wellenlängenbereiche der Brillen, in denen die Transmission unter 20% fällt.
- Erfüllen die Brillen die UV 400-Norm?

- Durchschnittliche Transmission des Sonnenöls im UV- bzw. im sichtbaren Bereich.
- Position und Breite auftretender Peaks im Transmissionsspektrum des Sonnenöls.
- Wellenlängenbereiche des Sonnenöls, in denen die Transmission unter 20% fällt.
 - Jeweils mit Angabe des Fehlers!

4. Diskussion

5. Zusammenfassung

6. Literaturverzeichnis

7. Anhang: Mitschrift/Laborbuch, ausführliche Fehlerrechnung

Die während des Versuchs (manuell) aufgezeichnete Mitschrift ist vom Betreuer zum Ende der Versuchsdurchführung zu unterschreiben und zu kopieren und darf anschließend nicht mehr verändert werden!

BEACHTEN SIE ALLGEMEINE SCHUTZBESTIMMUNGEN

IM UMGANG MIT LASERN!