



# Physikalisches Praktikum

Wirtschaftsingenieurwesen Physikalische Technik und Orthopädietechnik  
Prof. Dr. Chlebek, MSc. M. Gilbert

## O03 Optik: Prismenspektrometer

(Pr\_EX\_O03\_Prismenspektrometer\_6, 30.8.2009)

Name	Matr. Nr.	Gruppe	Team
1.			
2.			
3.			
Protokoll ist ok	<input type="radio"/>	Datum	Abtestat
Folgende Korrekturen nötig	<input type="radio"/>		

### 1. Einleitung

Auch wenn unsere Gegenwart gern als „Atom-“ oder „Computer-Zeitalter“ bezeichnet wird, so gehört eine Großzahl moderner Technologien in den Bereich der Optik. Dazu zählen die Lasertechnik ebenso wie die Informationstechnologie oder bildgebenden Verfahren. In diesem Praktikumstermin werden Sie einen Bereich der geometrischen Optik, und zwar die Brechung und die Dispersion kennen lernen.

### 2 Theorie

#### 2.1 Brechung

Lichtstrahlen werden beim Übergang von einem durchsichtigen Material in ein anderes gebrochen (siehe Abb. 1). Dabei gilt das Snelliussche Brechungsgesetz.

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

Wenn die Strahlen unter dem Einfallswinkel  $\theta_1$  aus dem Medium mit Brechungsindex  $n_1$  (z.B. Luft) auf das Medium mit der Brechzahl  $n_2$  fallen (z.B. Glas), dann werden sie unter dem Winkel  $\theta_2$  gebrochen (siehe Abb. 1). Ein Teil des Lichtes wird unter dem Winkel  $\theta_1$  reflektiert.

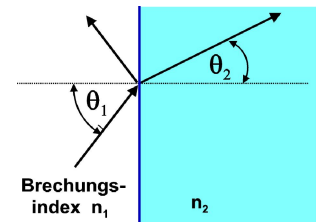
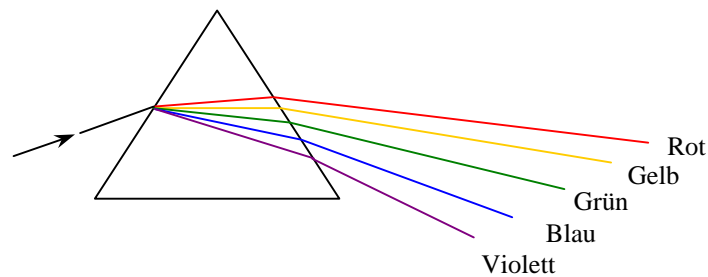


Abb. 1

Die Prozesse der Reflexion und der Brechung spielen sich an der Grenzfläche zwischen den beiden Medien ab und werden durch das Verhältnis der Brechzahlen bestimmt. Stoffe mit kleinem  $n$  nennt man optisch dünner, welche mit größerem  $n$  optisch dichter. Die Brechzahl  $n$  hängt empfindlich von der Substanz und von der Lichtwellenlänge (Farbe) ab. Dieser Effekt heißt Dispersion. Die Brechzahl von Luft ist  $\approx 1$ . Wählt man nun eine besondere geometrische Form des brechenden Mediums, z.B. eine Linse, so kann diese zur Abbildung genutzt werden, was hier aber nicht Thema sein soll.

#### 2.2 Dispersion

Beim Durchgang durch ein Prisma wird ein weißer Lichtstrahl fächerförmig aufgespalten, d.h. in Strahlen verschiedener Wellenlängen (Farben) zerlegt.



Farbe	UV	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Rot	Infrarot
Wellenlänge $\lambda$ (nm)	< 400	400	440	540	570	590	630	>800
Brechungsindex für Kronglas	> 1,54	1,535	1,525	1,520	1,519	1,518	1,515	< 1,51

Aus dem Brechungsgesetz Gl. 1 folgt, dass der Brechungswinkel der Strahlen im Prisma wellenlängenabhängig ist, weil der Brechungsindex  $n(\lambda)$  wellenlängenabhängig ist. Mit Hilfe einer speziellen Lichtquelle, einer Spektrallampe, kann die Lichtbrechung eines Prismas quantitativ untersucht werden. Ist das Prisma auf diese Weise "geeicht", ist es Möglich andere Lichtquellen zu klassifizieren und deren Farbeigenschaften messtechnisch zu erfassen. Im Versuch werden in diesem Praktikum die lichtbrechenden Eigenschaften zweier Glassorten vermessen und die Wellenlänge eines HeNe-Lasers bestimmt.

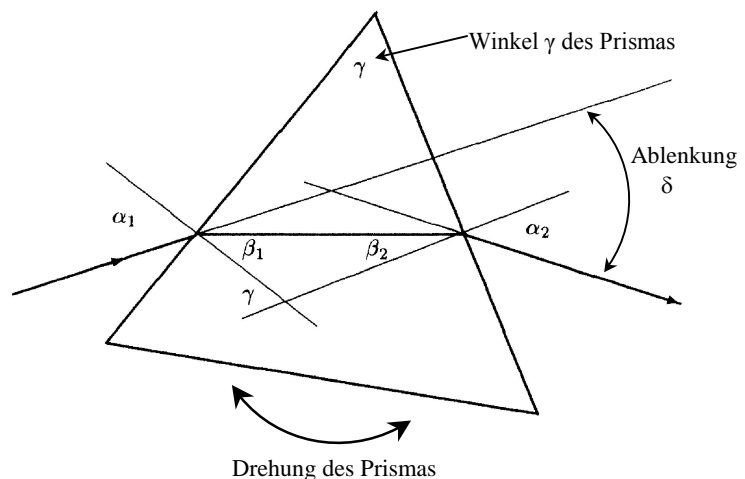
### 2.3 Herleitung des Brechungsindex $n = n(\delta)$ am Prisma zur Bestimmung von $n$

Die folgende Herleitung ist zum besseren Verständnis. Sie müssen diese nicht auswendig können. Ein optisches Prisma ist ein Körper aus lichtbrechendem Material, der von zwei Flächen begrenzt wird; sie schließen den Winkel  $\gamma$  („brechender Winkel“) ein. Die Schnittkante der Flächen ist die sogen. „brechende Kante“.

Nach dem Brechungsgesetz von Snellius gilt:

$$(2) \quad \sin(\alpha) = n \sin(\beta)$$

In der Abbildung ist der Strahlengang für ein monochromatisches Lichtbündel gegeben. Der Einfallswinkel  $\alpha_1$  ist für einen nicht-symmetrischen Strahlengang gezeichnet, so dass gilt:  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ . Die Gesamtablenkung  $\delta$  als Funktion von  $n$  ergibt sich aus der zweimaligen Anwendung des Brechungsgesetzes von Snellius. Dazu sind aus der Abbildung mit dem Satz über den Außenwinkel an einem Dreieck folgende Winkelbeziehungen zu entnehmen:



$$(3) \quad \gamma = \beta_1 + \beta_2$$

$$(4) \quad \delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) \quad \text{so dass gilt}$$

$$(5) \quad \gamma + \delta = \alpha_1 + \alpha_2$$

Für den Verlauf des Lichtstrahls in der Abbildung gilt Gleichung (6) bei Eintritt von links in das Prisma und Gleichung (7) beim Austritt rechts aus dem Prisma:

$$(6) \quad \sin(\alpha_1) = n \cdot \sin(\beta_1)$$

$$(7) \quad \sin(\alpha_2) = n \cdot \sin(\beta_2)$$

Es ist bei Gl. (7) von der Umkehrbarkeit des Lichtwegs Gebrauch gemacht. Gl. (6) und Gl. (7) werden addiert. Die Anwendung der Additionstheoreme trigonometrischer Funktionen auf diese Summe liefert:

$$2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}\right)$$

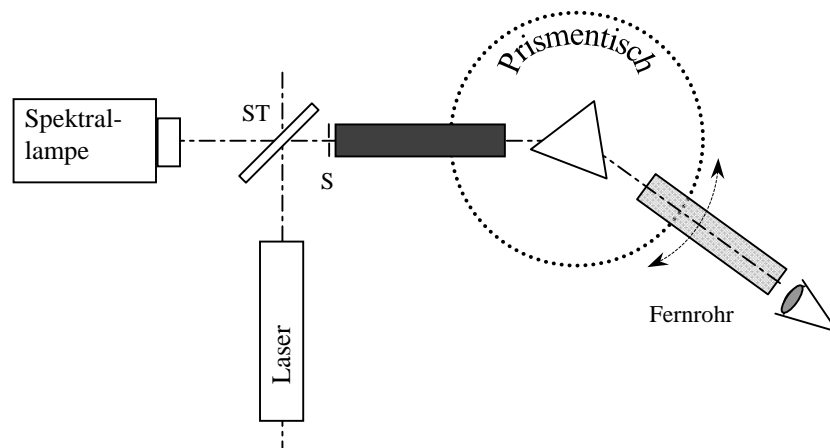
Die Bestimmung des Brechungsindex wäre mit Gl. (8) möglich, doch die Messung wird erheblich vereinfacht, wenn bei dem Minimum von  $\delta$  gemessen wird. Es ist mathematisch leicht zu zeigen, dass dieses bei  $\alpha_1 = \alpha_2$  gegeben ist. Im Versuch ist der Strahlengang bereits derart vorjustiert.

Auf diesem Verfahren beruht die Messung von  $n$  am Prismenspektrometer; man erhält mit Verwendung der in Gl. (3) und Gl. (4) angegebenen Winkelbeziehungen für  $n=n(\delta)$ :

$$(8) \quad n = \frac{\sin\left(\frac{\gamma + \delta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

## 2.4 Versuchsaufbau - Strahlengang

Um die Lichtspektren zweier Lichtquellen (Spektrallampe, Laser) simultan messen zu können, werden mit Hilfe eines Strahlteilers ST beide Strahlen überlagert und gelangen so gemeinsam zum Eintrittsspalt S des eigentlichen Spektrometers.



Das Licht wird anschließend kollimiert (parallele Strahlen) und auf die Basisfläche des Prismas projiziert. Im Prisma wird das Licht wellenlängenabhängig gebrochen und die Gesamtablenkung  $\delta$  kann mit Hilfe des Fernrohrs vermessen werden.

## 2.5 Spektrallampe und Laser – besondere Lichtquellen

Praktisch verwendet man Lichtquellen, die nur Licht bestimmter Wellenlängen emittieren. Ein Laser ist eine Monochromatische Lichtquelle und emittiert demnach Licht mit genau einer Wellenlänge. Die im Praktikum verwendeten Spektrallampen sind Gasentladungslampen. Sie bestehen aus einem mit Gas gefülltem Glasrohr an dessen äußeren Enden je eine Elektrode sitzt. Wird zwischen diesen eine Spannung angelegt, so werden die wenigen, natürlich vorhandenen freien Ladungsträger beschleunigt. Durch Stöße geben die Ladungsträger ihre kinetische Energie an die Gasatome ab und regen diese zum Leuchten an. Diese Energieaufnahme erfolgt indem die gebundene Elektronen der Atome in energetisch höher gelegene Schalen angehoben werden. Die Atome emittieren danach durch Rekombination dieser angeregten Elektronen in tiefere Schalen Licht bestimmter, definierter Wellenlängen (Spektrallinien). Im Versuch befinden sich Cadmium- (Cd) und Quecksilberatome (Hg) im Glaskolben der Lampe.

### 3 Versuchsdurchführung

Das Spektrometer ist bereits vorjustiert. Das bedeutet, dass die Bedingung  $\alpha_1 = \alpha_2$  bereits erfüllt ist. Der Winkel der „brechenden Kante“ ist mit  $\gamma = 60^\circ$  gegeben. Um das Spektrum zu vermessen muss das Fernrohr also nur nach einer Seite geschwenkt werden.

Es wird so eingestellt, dass die Spektrallinien im Sichtfeld liegen. Dann wird das Fernrohr arretiert und mit dem Feintrieb des Fernrohrs wird das Fadenkreuz mit den einzelnen Spektrallinien zur Deckung gebracht und jeweils der Winkel an der Skala des Goniometers (mit Nonius!) abgelesen.

- 3.1. Messen Sie den Ablenkungswinkel  $\delta$  für die verschiedenen Wellenlängen der Spektrallampe (CdHg) sowie den Winkel für die Wellenlänge des HeNe-Lasers. Notieren Sie sich den jeweiligen Farbeindruck und die relative Intensität der Linien. Ordnen Sie den gemessenen Winkeln für die CdHg-Eichlampe die entsprechenden Wellenlängen zu.
- 3.3 Achtung: Der Winkel der Gesamtablenkung  $\delta$  muss errechnet werden, da die Nullposition des Prismenwinkels nicht  $0^\circ$  ist! Um die Nullposition zu ermitteln wird *nach* der Messung das Prisma entfernt und der Lichtspalt des Spektrometers direkt anvisiert.
- 3.4 Bitten Sie den Betreuer das Prisma zu wechseln und neu zu justieren. Wiederholen Sie die Messung mit einem Prisma einer anderer Glassorte.

### 5 Zur Vorbereitung:

- Was bedeuten die Begriffe: monochromatisch, Atomspektrum, Temperaturspektrum?
- Welche Frequenz bzw. Wellenlänge hat die elektromagnetische Strahlung eines Handys, das sichtbare Spektrum und Röntgenstrahlung?
- Was ist Dispersion?
- Wie ist der Brechungsindex  $n$  definiert?
- Wie lautet das Brechungsgesetz?

#### 4. Auswertung

4.1 Erstellen Sie eine Tabelle und ordnen Sie den gemessenen Winkeln für die Spektrallampe die entsprechenden Wellenlängen zu.

Rechnen Sie mit Gl. 8 die gemessenen Winkel in die entsprechen Brechungsindizes um.

4.2 Zeichnen Sie die berechneten Kurven  $n(\lambda)$  für die beiden Glassorten in *ein* Diagramm (die Messpunkte können hier mit einem Kurvenlineal verbunden werden).

Um welche Glassorten handelt es sich?

4.3 Tragen Sie die Brechungsindizes für die Linie des HeNe-Lasers in die Diagramme ein und ermitteln Sie die Wellenlänge des Lasers. Wie genau können Sie diese bestimmen?

4.4 Welche Glassorte ist für das Spektrometer besser geeignet?

Wie groß ist das Auflösungsvermögen des Prismenspektrometers?

#### Betriebsanweisung für Spektrallampen Piko 9 / 60V



Im Versuch werden Hg-, bzw. CdHg-Spetrallampen verwendet. Die Lampen werden mit einem Vorschaltgerät (Drossel) betrieben. Lehrlaufspannung: 230V

Brennspannung :15-60 V AC. Die Spektrallampen emittieren Licht in einzelnen definierten Wellenlängen  $>253$  nm. Ein Schutzglas am Lampengehäuse absorbiert einen Großteil, der schädlichen UV-Strahlung  $< 330$  nm.

- Betreiben Sie die Lampen nur so, wie in der Praktikumsanleitung beschrieben.
- Das Licht der Lampen enthält Strahlungsanteile, die gefährliche Verletzungen der Augen verursachen können. **Sehen Sie niemals direkt in die Lampe!**
- Verändern Sie nicht den Aufbau der Spektrometeranordnung. Wenn Sie den Eindruck haben, die Lichtausbeute der Lampe ist zu gering, wenden Sie sich an Ihren Betreuer.
- Das Gehäuse der Spektrallampe wird heiß, - nicht berühren.
- Wechseln Sie die Lichtquelle nur unter Aufsicht des Betreuers.
- Die Spektrallampe frühestens 30 Minuten nach dem Abschalten wieder eingeschaltet werden.
- Die Anschlusskabel der Lampen nicht am Vorschaltgerät ausstecken



### **Betriebsanweisung für HeNe-Laser LSK 3R mit Linsenvorsatz**

Im Versuch werden HeNe-Laser der Laserschutzklasse 3R verwendet. Die Laser werden mit einem Vorschaltgerät (Hochspannungsquelle) betrieben.

Betriebsspannung : 1500 V DC. 1.5 mA max. Der Laser emittiert rotes Licht mit einer Wellenlänge von 632 nm.

- Der Laserstrahl ist aus Sicherheitsgründen mit einer fest montierten Linse aufgeweitet. Entfernen Sie auf keinen Fall den Linsenvorsatz.
- Blicken Sie niemals direkt in den Laserstrahl. Lenken Sie den Laserstrahl nicht durch reflektierende Gegenstände aus seinem vorgegebenem Strahlengang
- Innerhalb des Versuchsaufbaus darf nur der an der fest eingebauten Glasscheibe reflektierte Anteil des Lichtes in das Spektrometer und damit zum Beobachter gelangen.
- Verändern Sie nicht den Aufbau der Spektrometeranordnung. Wenn Sie den Eindruck haben, die Lichtausbeute des Lasers ist zu gering, wenden Sie sich an Ihren Betreuer.
- Wechseln Sie Lichtquellen nur unter Aufsicht des Betreuers. Die Anschlusskabel des Lasers nicht am Vorschaltgerät ausstecken