

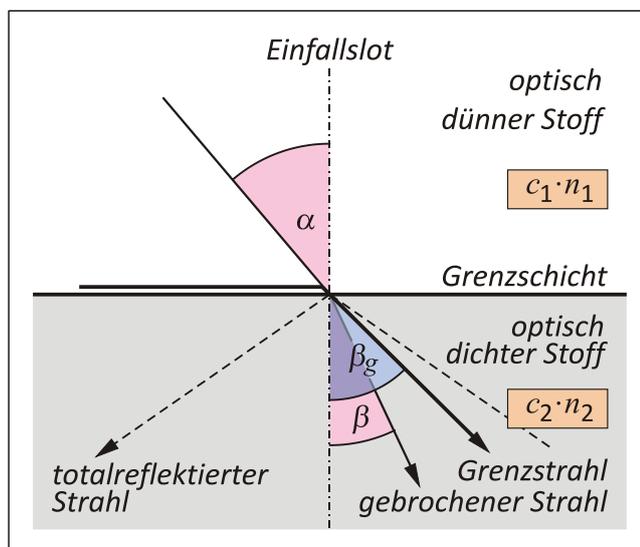
Durch Bestimmung des Winkels der minimalen Ablenkung eines Lichtstrahls wird die Brechzahl von Prismen unterschiedlichen Materials und von verschiedenen Flüssigkeiten errechnet. Zur Demonstration der Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge wird der Versuch mit monochromatischem Licht verschiedener Wellenlängen durchgeführt.

## 1. Theoretische Grundlagen

### 1.1 Brechungsindex und Dispersion

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes ist in verschiedenen Stoffen unterschiedlich groß. Ursache dafür ist, dass alle Stoffe aus geladenen Teilchen (*Atomkern und Elektronen*) aufgebaut sind, die durch die einfallende elektromagnetische Lichtwelle in Schwingungen versetzt und dadurch zum Ausgangspunkt neuer Lichtwellen werden.

Von zwei Stoffen (z.B. *Luft und Glas*) bezeichnet man den mit der größeren Lichtgeschwindigkeit als den **optisch dünneren** (*Luft*), den mit der kleineren Lichtgeschwindigkeit als den **optisch dichteren** Stoff (*Glas*). Trifft eine Lichtwelle auf die Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Stoffen, so ändert sich



**Bild 1:** Zum Snelliusschen Brechungsgesetz

ihre Ausbreitungsrichtung, sie wird gebrochen (und teilweise reflektiert). Für die Brechung einer ebenen Welle (im **Bild 1** durch Lichtstrahlen, d. h. durch ihre Flächennormalen charakterisiert) an einer ebenen Grenzfläche gilt das Brechungsgesetz von Snellius:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1)$$

Das Verhältnis  $n_1 = c_0/c_1$  ( $c_0$  Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,  $c_1$  Lichtgeschwindigkeit im Stoff 1) heißt (*absoluter*) Brechungsindex des Stoffes 1;  $n_{21}$  ist der relative Brechungsindex des Stoffes 2 gegenüber dem Medium 1.

Aus Gleichung (1) ergibt sich: geht der auf der Wellenfront senkrecht stehende Lichtstrahl vom optisch dünneren zum optisch dichteren Stoff über (z.B. *von Luft in Glas*), so wird er zum Einfallslot hin, im umgekehrten Fall vom Lot weggebrochen. Der gebrochene Strahl liegt dabei in beiden Fällen in der durch das Einfallslot und den einfallenden Strahl gebildeten Einfallsebene.

Beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Stoff ist der Brechungswinkel stets größer als der Einfallswinkel, er erreicht daher bereits bei einem Einfallswinkel  $\beta_g < 90^\circ$  den Wert  $90^\circ$ . Wird der Einfallswinkel größer als  $\beta_g$ , so wird das gesamte Licht in den dichten Stoff zurückgeworfen, es tritt **Totalreflexion** ein.  $\beta_g$  heißt daher Grenzwinkel der Totalreflexion.

Die Lichtgeschwindigkeit hängt außer von dem Stoff, in dem sich das Licht ausbreitet, auch von der Wellenlänge ab. Diese Erscheinung bezeichnet man als **Dispersion**. Sie wird dadurch verursacht, dass die Moleküle des Stoffes, die durch die Lichtwelle in erzwungene Schwingungen versetzt werden, über eine (*oder mehrere*) optische Eigenfrequenzen verfügen. Demzufolge hängt die Größe des elektrischen

Dipolmomentes, das durch das elektrische Feld der Lichtwelle in einem Molekül induziert wird, von der Frequenz der Lichtwelle ab.

Die Brechzahlen werden für die einzelnen Farben (z.B. *Rot, Gelb, Grün usw.*) unterschieden und mit  $n_C$  (*Rot*),  $n_D$  (*Gelb*),  $n_E$  (*Grün*),  $n_F$  (*Blau*),  $n_H$  (*Violett*) bezeichnet (*C; D; E; F; H sind Buchstaben von Fraunhoferschen Linien*). Den Unterschied der Brechzahlen für Rot und Blau bezeichnet man auch als Dispersion:

$$\Delta = n_F - n_C \quad (2)$$

## 1.2 Strahlengang im Prisma

Beim Durchgang durch ein Prisma wird der Lichtstrahl zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Für den Fall, dass der Strahl in einem Hauptschnitt (*senkrecht zur brechenden Kante*) verläuft und das Prisma symmetrisch durchsetzt (**Bild 2**), tritt die **kleinste Ablenkung**  $\delta$  auf.

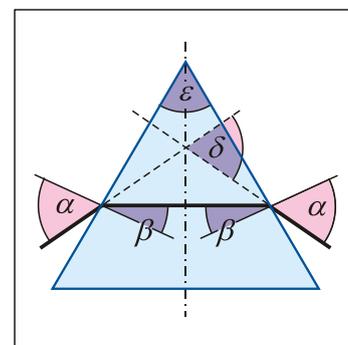
Ist  $\alpha$  der Einfallswinkel und  $\varepsilon$  der brechende Winkel des Prismas, so gilt

$$\sin \alpha = n \cdot \sin \beta \quad (3)$$

$$\beta = \frac{1}{2}\varepsilon \quad \text{und} \quad \delta = 2\alpha - \varepsilon$$

Daraus ergibt sich

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2} \cdot (\delta + \varepsilon)}{\sin \frac{1}{2} \cdot \varepsilon} \quad (4)$$



**Bild 2:** Brechung am Prisma bei symmetrischen Strahlengang

Der zur Bestimmung der Brechzahl  $n$  erforderliche Ablenkwinkel wird im Versuch ermittelt,  $\varepsilon$  gehört zu den Kenndaten des (*gleichseitigen*) Prismas.

## 2. Versuch

### 2.1 Vorbetrachtung

**Aufgabe 1:** Beschreiben Sie mit eigenen Worten, wie Sie die Brechzahl eines Prismas bestimmen können.

**Aufgabe 2:** Welchen Zusammenhang beschreibt das Gesetz von Snellius?

### 2.2 Versuchsdurchführung

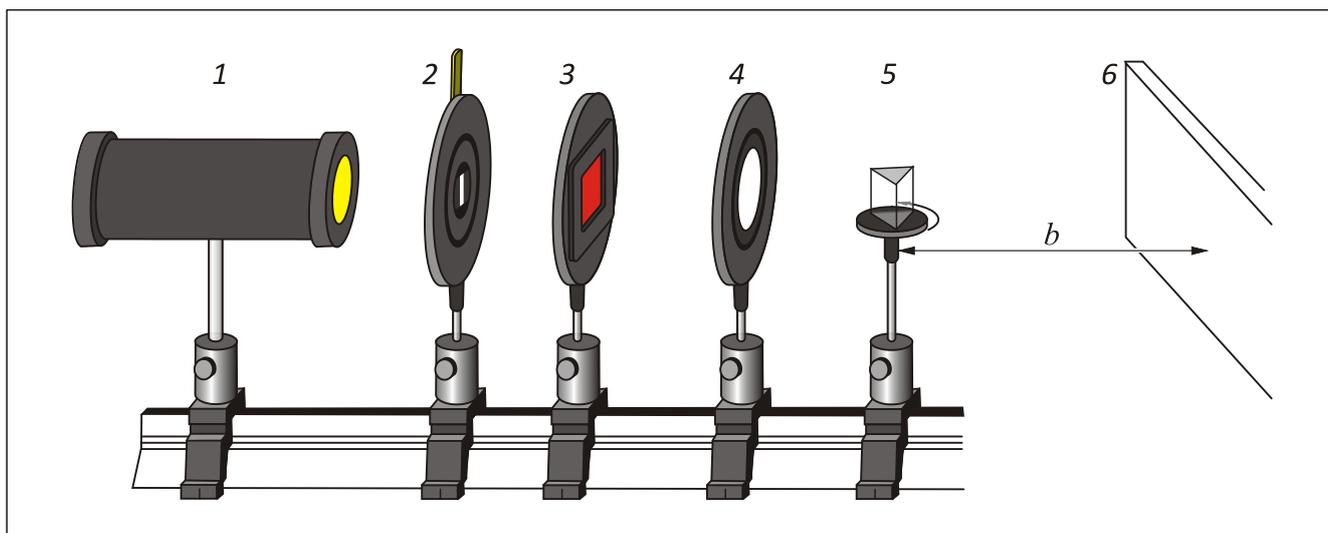
#### 2.2.1 Verwendete Geräte

Optische Bank, Lampe 6V/30W mit asphärischem Kondensator und Transformator, verstellbarer Spalt, Halter mit Federklemmen, Linse  $f=150 \text{ mm}$ , 3 Glasprismen, 3 Hohlprismen mit unterschiedlichen Flüssigkeiten, 3 Farbfilter (*blau, grün, rot*), Maßstab

### 2.2.2 Versuchshinweise

Der Aufbau erfolgt entsprechend **Bild 3** (zunächst ohne Prisma und Prismenhalter).

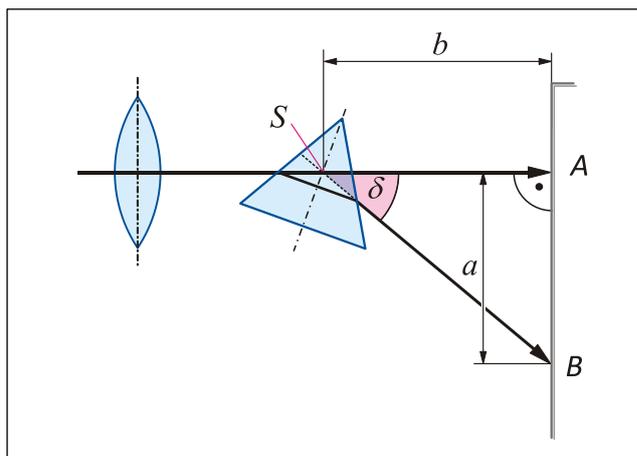
- Überprüfen Sie, ob die optische Bank parallel zur Labortischrückwand steht.
- Befestigen Sie die Experimentierleuchte (**1**) mit dem aufgesteckten asphärischen Kondensator am Anfang der optischen Bank und schließen Sie diese am Transformatorausgang **6V AC** an.
- Befestigen Sie dann den verstellbaren Spalt (**2**) vor der Leuchte, so dass dieser voll angeleuchtet wird. Setzen Sie die Abbildungslinse  $f=150\text{mm}$  (**4**) in den Strahlengang.
- Verschieben Sie die Lampe im Lampengehäuse so, dass die Glühwendel auf der Abbildungslinse abgebildet wird und parallel zum Spalt ausgerichtet ist (evtl. Papier vor die Linse halten).
- Verschieben Sie die Abbildungslinse (**4**) so, dass der Spalt scharf auf die Projektionswand (**6**) abgebildet wird.



**Bild 3:** Versuchsaufbau

**Aufgabe 1:** Bestimmung des Brechungsindex **dreier** gleichseitiger Prismen unterschiedlichen Materials in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes

- Markieren Sie mit dem Marker die **Position A** auf der Projektionswand (**6**) des scharf abgebildeten Spaltbildes.
- Stecken Sie den Prismenhalter auf den entsprechenden Platz (**5**) der optischen Bank. Die Abstandsweite  $b$  zur Projektionswand beträgt  $b=(75, 55, 35)\text{ cm}$ .
- Positionieren Sie das erste Prisma auf dem Prismenhalter und suchen Sie den Winkel der minimalsten Ablenkung auf der Projektionswand durch Drehung des Prismenhalters.
- Stecken Sie nun den Rahmenhalter (**3**) mit dem Rotfilter ein, markieren Sie die **Position B** und bestimmen Sie die **Abstandsweite  $a$**  entsprechend **Bild 4**.



**Bild 4:** Bestimmung des minimalen Ablenkungswinkels

- Wiederholen Sie die Messung für die Abstandsweite  $a$  mit den **zwei anderen Farbfiltern** (grün, blau).
- Führen Sie die Messungen für die anderen zwei Glasprismen durch.
  
- Wiederholen Sie die komplette Messung für die anderen Abstandsweiten  $b=(55 \text{ und } 35)\text{cm}$ .

**Aufgabe 2:** Bestimmung der Dispersion **dreier** unterschiedlicher Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes

- Wiederholen Sie die Messungen analog zur **Aufgabe 1**.
- Ermitteln Sie dabei wieder die Abstandsweite  $a$  mit jeweils **drei Farbfiltern** in **drei Variationen** der Abstandsweite  $b$  für **die mit Flüssigkeiten** gefüllten Hohlprismen.

## 2.3 Versuchsauswertung

**Aufgabe 1:** Bestimmung des Brechungsindex **dreier** gleichseitiger Prismen unterschiedlichen Materials in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes

- Berechnen Sie die Winkel  $\delta$  für die drei Glasprismen und alle drei Farbfiler, sowie daraus den Brechungsindex  $n$  nach Gleichung (4).

**Aufgabe 2:** Bestimmung der Dispersion **dreier** unterschiedlicher Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes

- Berechnen Sie die Winkel  $\delta$  für die drei Hohlprismen und alle drei Farbfiler, sowie daraus die Dispersion  $n$  nach Gleichung (4).

**Aufgabe 3:** Bestimmung der Messunsicherheit

- Bestimmen Sie die maximale Messunsicherheit (*bei der verwendeten Messmethode*) für die ermittelten Brechzahlen bzw. die ermittelten Dispersionen unter Abschätzung der Abweichungen der Messgrößen  $a$  und  $b$  beispielhaft.
- Welche Einzelmessungen sind mit der größten, welche mit der kleinsten Messunsicherheit verbunden?
- Wie groß ist die Dispersion  $\Delta$  (Gleichung (2))? Schätzen Sie durch einen Vergleich ihrer Messwerte mit den Tabellenwerten ab. Um welche Materialien könnte es sich handeln?

**Anmerkung:**

*Willebrord van Roijen Snell (auch Willebrordus Snel van Royen oder Snellius; \* 13. Juni 1580 in Leiden, Spanische Niederlande; † 30. Oktober 1626 ebenda), war ein niederländischer Astronom und Mathematiker. Er ist bekannt für die Entwicklung des optischen Brechungsgesetzes, nach ihm als snelliussches Brechungsgesetz bezeichnet. Auch die Erfindung der Triangulation wird ihm zugeschrieben. Er gebrauchte den Namen Snellius für wissenschaftliche Veröffentlichungen.*