



## Optische Messungen

In diesem Experiment werden optische Eigenschaften der zur Verfügung gestellten Proben gemessen. Ziel ist die Messung mit den zur Verfügung gestellten Geräten in der höchstmöglichen Genauigkeit durchzuführen.

Beachte: unter deinem Tisch befinden sich 2 große Wasserflaschen, die du für das 2. Experiment benötigst - du darfst diese **nicht trinken**.

In Teil A werden zwei verschiedene Methoden eingesetzt, um den Brechungsindex einer transparenten Scheibe zu messen. Die erste Methode ist eine traditionell eingesetzte, während die zweite Methode ungewöhnlich ist und ein höheres Maß an Genauigkeit ermöglicht.

In Teil B werden wir das Verhältnis zwischen der Laserwellenlänge  $\lambda$  und der Gitterkonstante  $d$  eines Beugungsgitters bestimmen mit dem Ziel ein Höchstmaß an Genauigkeit zu erzielen.

In Teil C werden wir den Brechungsindex eines regelmäßigen dreieckigen Prismas messen; auch hier wieder mit dem Ziel die höchste Genauigkeit zu erreichen.

Für die Experimente wird der Raum für 100 Minuten abgedunkelt. Die Abdunkelung beginnt 20 Minuten nach Beginn der Prüfung (bei Bedarf kannst Du eine Tischlampe verwenden). Es ist günstiger den Teil A im Dunkeln durchzuführen, aber viele der Messungen sind auch im Hellen möglich.

Du kannst die Wände deines Arbeitsplatzes als Abbildungsschirm verwenden und Klebebänder an die Wände kleben, um Markierungen anzubringen.

In diesen Experimenten verwendest du einen Diodenlaser als Lichtquelle.

### Sicherheitshinweise für Laser:

- **Schau NIEMALS direkt in den Laserstrahl!**
- In allen Experimenten ist der Laserstrahl horizontal ausgerichtet. Wenn du die Position des Laserstrahls auf einer Oberfläche misst, **stelle sicher, dass sich Dein Kopf IMMER über der Strahlhöhe befindet.**
- Richte den Laserstrahl immer auf eine den Arbeitsplatz umgebende Wand - nicht auf die Öffnung.
- Schalte den Laser mit dem dafür vorgesehenen Schalter aus, wenn du keine Messungen durchführst.

### Materialliste

Die Materialien 1-9 werden in allen Teilen der Frage verwendet, die Materialien 10-12 werden nur in einzelnen Teilen der Fragen verwendet.

Beachte: Du erhältst optisches Versuchsmaterial. Berühre die Teile nicht an den senkrechten Seiten, um Verunreinigungen zu vermeiden.

1. Lineal, 60 cm lang
2. Reiter, der sich entlang des Lineals bewegen kann
3. Laser, der auf dem Reiter montiert ist. Der Laser kann auf zwei Höhen eingestellt werden: eine niedrige Höhe (dargestellt als 3A) für Teil A und eine höhere Höhe (dargestellt als 3B) für Teil B und C. Der Ein-/Ausschalter des Lasers ist in der Abbildung als 3C dargestellt.
4. Über die Schrauben 4A und 4B kann eingestellt werden, wie stark der Widerstand gegenüber Drehbewegungen und daher wie stabil der Aufbau ist. Verwende den kleinen vertikalen Metallstab 4C um die Richtung des Lasers zu verändern. Rotiere 4C um  $180^\circ$ , um den Laser auf eine der beiden benötigten Höhen einzustellen. Drehe den Laser, nicht die Achse des Laserstrahls, da die Polarisation voreingestellt ist.

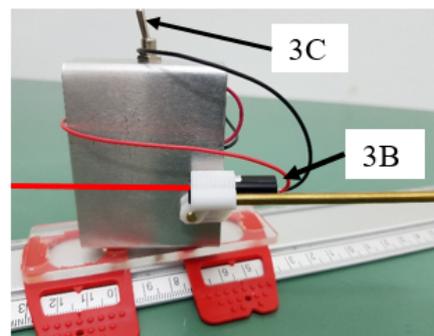
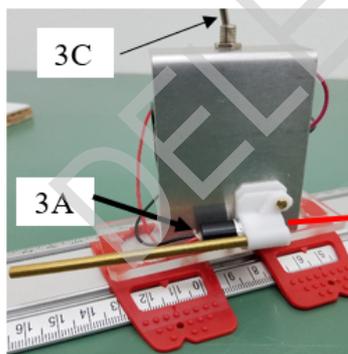
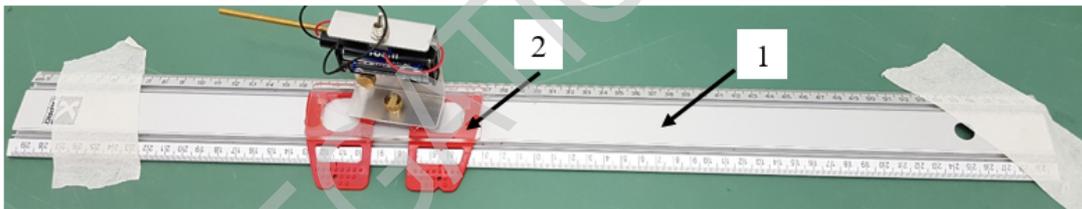
## Experiment



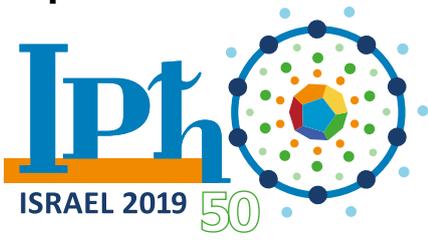
# Q1-2

Austrian German (Austria)

- Schirm: Du kannst die Wände deines Arbeitsplatzes benutzen. Gehe davon aus, dass die Wände normal aufeinander stehen.
- Eine Rolle Klebeband, die zum Befestigen von Gegenständen auf dem Tisch verwendet werden kann.
- Flexibles Maßband
- Eine Auswahl von Linealen
- Tischlampe
- Transparente Scheibe mit einem Durchmesser von 20,00 cm, befestigt auf einem Winkelmesser, der auf einen Holzsockel (für Teil A) geklebt ist. Du solltest die 4 kleinen Holzwürfel entfernen, die am Holzsockel befestigt sind.
- Pergamentpapier, das als transparenter Schirm verwendet werden kann. Dieses kann kurzzeitig an die Seite der Scheibe gehalten werden, um den Strahlenaustrittspunkt zu bestimmen ohne dabei die polierte Oberfläche der Scheibe zu verunreinigen (Teil A). Um den Strahlenaustrittspunkt möglichst genau zu bestimmen, empfiehlt es sich eine Linie auf das Papier zu zeichnen wie in der Abbildung dargestellt.
- Ein Holzstück (12A) und ein zylindrischer Halter (12B), der um seine vertikale Achse drehbar ist, um das Beugungsgitters (12C) bzw. das dreieckige Prisma (12D) zu befestigen.

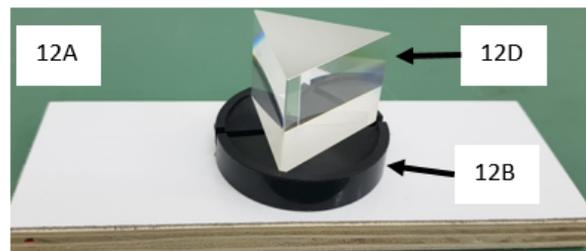
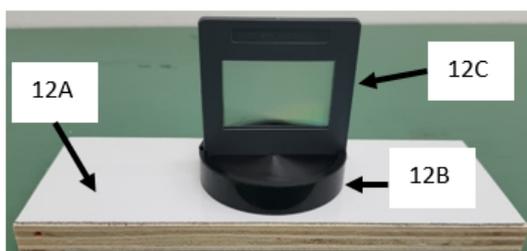
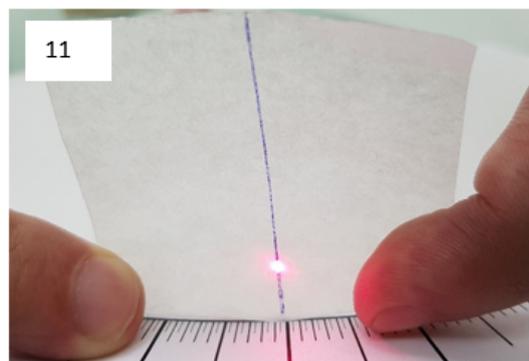
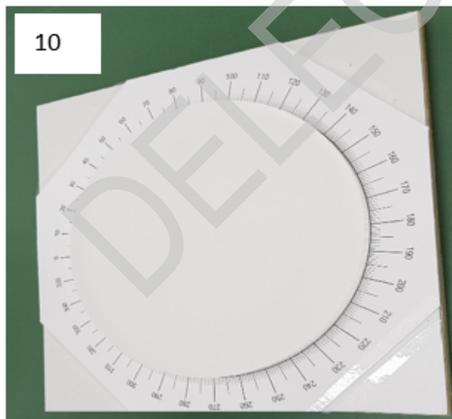
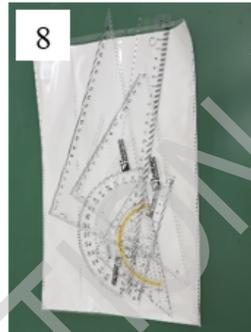
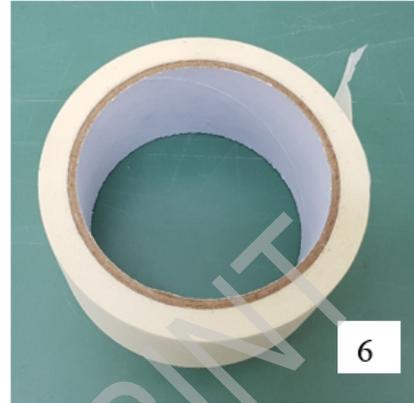
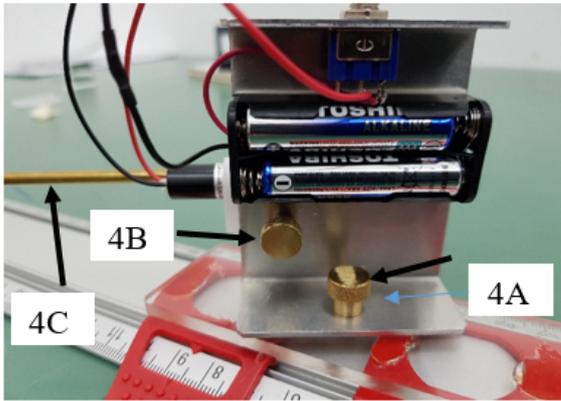


# Experiment



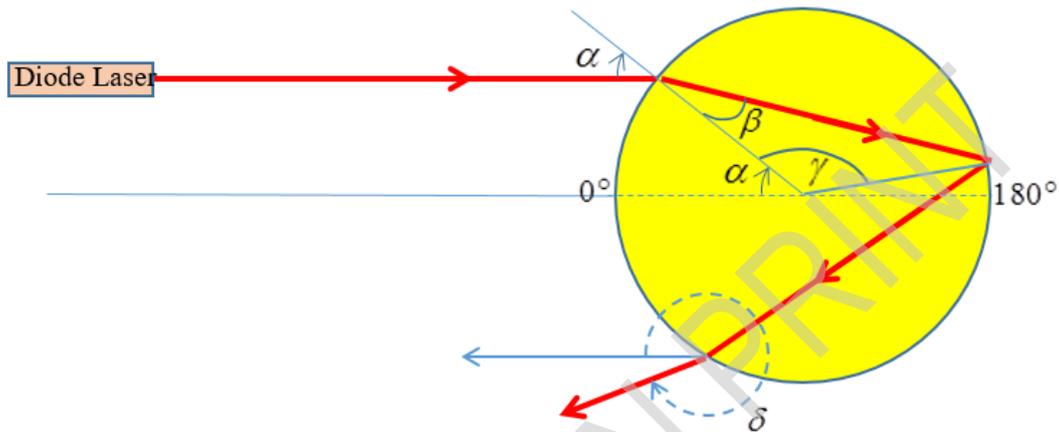
# Q1-3

Austrian German (Austria)



## Teil A: Der Brechungsindex einer Scheibe (5,5 points)

In diesem Teil bestimmen wir den Brechungsindex einer transparenten Scheibe. Dabei wird der Pfad eines Lichtstrahls, der an der Scheibe gebrochen und in der Scheibe reflektiert wird, beobachtet.



Eine schematische Darstellung des Experiments

### Definitionen und Symbole:

$\alpha$	Der Einfallswinkel zwischen einfallendem Strahl und Scheibe
$2\Delta\alpha$	Die Unsicherheit des Einfallswinkels $\alpha$ (wegen der Aufweitung des einfallenden Laserstrahls)
$\beta$	Der Brechungswinkel in der Scheibe
$\gamma$	$= 180^\circ - 2\beta$
$n$	Der Brechungsindex des Scheibenmaterials
$N$	Die Anzahl wie oft der Lichtstrahl den Rand der Scheibe trifft bevor dieser aus der Scheibe an die Luft tritt (In dieser Skizze ist $N = 3$ .)
$\delta$	Der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl in umgekehrter Orientierung und dem austretenden Strahl - gemessen im Uhrzeigersinn (In dieser Skizze ist $\delta$ für $N = 3$ eingezeichnet.)
$2\Delta\delta$	Die Aufweitung (durch Streuung) des Winkels $\delta$

Man kann zeigen, dass die Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\delta$  folgendermaßen zusammenhängen:

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta) . \quad (1)$$

Du kannst diese Formel ohne deren Herleitung verwenden.

Befestige das Lineal am Tisch mit Hilfe des Klebebandes, um den Einfallswinkel des Laserstrahls einstellen zu können. Stelle den Laser so ein, dass du den Einfallswinkel leicht messen kannst. Befestigen ebenfalls die Scheibe am Tisch, indem du das Klebeband an den Ecken des Holzsockels und am Tisch anbringst. Stelle die Neigung mit Hilfe des Metallstabes 4C ein.



Der Laser kann auf zwei verschiedene Höhen eingestellt werden: die niedrige Höhe für Teil A und die höhere Höhe für Teil B und C. Der Laser wurde im Voraus so abgestimmt, dass der einfallende Strahl s-polarisiert ist (eine Polarisation, bei der die Reflexion höher ist). **Ändere nicht die Polarisation des einfallenden Strahls** (drehe den Laser nicht um die Achse des Strahls)!

**A.1** Zeichne eine Skizze des Versuchsaufbaus, die das Lineal mit dem Schieberegler, die Scheibe und dem Weg des Laserstrahls zeigt. Kennzeichne den Einfallswinkel  $\alpha$ .  
Führe eine Messreihe für Winkel  $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$  durch: notiere in Tabelle 1  $\alpha, \Delta\alpha, \delta, \Delta\delta$ .  
Hinweis: Zum Messen von  $\delta$  ist es einfacher  $\delta/2$  direkt auf der Scheibe zu messen. 1.0pt

**A.2** Verwende die Messungen aus A.1 und zeichne einen geeigneten Graphen, aus welchem du den Brechungsindex  $n$  und den zugehörigen Fehler  $\Delta n$  ablesen kannst. Solltest Du dafür weitere Größen berechnen müssen, füge die berechneten Werte in die leeren Spalten von Tabelle 1 ein. Bestimme  $n$  und  $\Delta n$ . 1.0pt

**A.3** Zeichne einen Graphen für  $\delta$  als Funktion von  $\alpha$  basierend auf den Daten von A.1. Kennzeichne für jeden Messpunkt die Werte für  $\Delta\delta$  und  $\Delta\alpha$  mittels Fehlerbalken. Führe eine zusätzliche Messung durch, um das minimale  $\delta$  und das entsprechende  $\alpha$  präzise zu finden. Kennzeichne diese als  $\delta_{\min}$  und  $\alpha_{\min}$ .  
Um diesen Punkt möglichst genau zu bestimmen, kannst du die Wände deines Arbeitsplatzes als Schirm für den austretenden Strahl verwenden. 0.5pt

## Eine weitere Methode zur Bestimmung des Brechungsindex

In diesem Abschnitt wirst du eine alternative Methode zur Bestimmung des Brechungsindex entwickeln, die sehr genaue Ergebnisse liefert. Obwohl in diesem Abschnitt Messungen mit höchstmöglicher Genauigkeit gefordert sind, **brauchst du keine Fehlerberechnungen durchführen**. Dennoch müssen Gleichungen, die zur Berechnung der Ergebnisse verwendet werden, im Detail angeführt werden. Schreibe diese in die Antwortbögen.

**A.4** Baue deine weiteren Überlegungen auf den Eigenschaften des Graphen aus A.3 auf. Wähle den optimalen Winkel, um Messungen zur Bestimmung des Brechungsindex durchzuführen. Schreibe jene Gleichung an, mit welcher man den Brechungsindex durch die entwickelte Methode erhält. 0.7pt

**A.5** Gehe von der in A.4 entwickelten Methode aus. Führe für  $N = 3$  die notwendigen Messungen aus, um den Brechungsindex mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. 0.8pt

- Erstelle eine Skizze, in der die Scheibe und der Strahlengang eingezeichnet sind. Kennzeichne darin die Größen, die du gemessen hast.
- Dokumentiere die Messungen, die du durchgeführt hast.
- Analysiere deine gemessenen Daten und berechne den Brechungsindex der Scheibe  $n$  mit höchstmöglicher Genauigkeit. Du kannst bei Bedarf die zusätzlich zur Verfügung gestellten Graphen-Seiten verwenden.

- A.6** Wiederhole die Vorgehensweise, die du in Aufgabe A.5 durchgeführt hast, für  $N = 4$  und  $N = 5$  (Es ist nicht notwendig den Aufbau und den Strahlengang zu zeichnen.): 1.5pt
- Dokumentiere die Messungen für  $N = 4$ .
  - Analysiere deine gemessenen Daten für  $N = 4$  und berechne den Brechungsindex der Scheibe  $n$  mit höchstmöglicher Genauigkeit.
  - Dokumentiere die Messungen für  $N = 5$ .
  - Analysiere deine gemessenen Daten für  $N = 5$  und berechne den Brechungsindex der Scheibe  $n$  mit höchstmöglicher Genauigkeit.
  - Bilde den Mittelwert des Brechungsindex  $\langle n \rangle$  aus den Ergebnissen für  $N = 3, N = 4$  und  $N = 5$ .

### Teil B: Die Parameter eines Beugungsgitters (2,5 Punkte)

In diesem Teil sind keine Fehlerrechnungen gefordert.

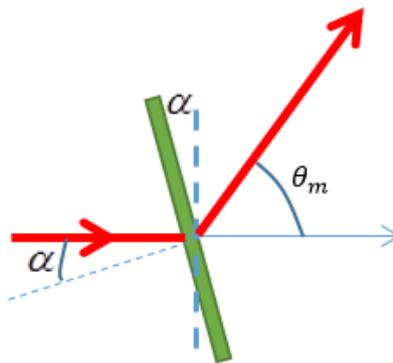
In diesem Teil bestimmen wir das Verhältnis  $\lambda/d$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des Lasers und  $d$  die Gitterkonstante (Abstand zwischen benachbarten Spalten) ist.

Wenn ein Laserstrahl durch ein Beugungsgitter hindurchtritt, ist der Winkel  $\theta_m$  zwischen der Einfallrichtung des Strahls und der Richtung, in der eine maximale Intensität (der  $m$ . Ordnung) erreicht wird, gegeben durch:

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

mit

$m$	Beugungsordnung - Ordnung des Beugungsmaximums
$\alpha$	Einfallswinkel des Strahls auf das Gitter
$\theta_m$	Winkel zwischen der ursprünglichen Richtung des einfallenden Strahls und der Richtung zum Maximum $m$ . Ordnung
$d$	Gitterkonstante - der Abstand der Mittelpunkte benachbarter Spalten





Hohe Beugungsordnungen ermöglichen eine bessere Differenzierung unterschiedlicher Wellenlängen. Daher reduziert eine genaue Messung mit einer hohen Beugungsordnung den relativen Fehler in der Größenordnung von  $\lambda/d$ .

Um die Höhe des Lasers zu ändern, gehe folgendermaßen vor: Löse die Schraube 4B und drehe den Laser samt Aufhängung um  $180^\circ$  (um die horizontale Achse senkrecht zur Strahlrichtung) in die Position, die in 3B dargestellt ist. Mit dieser Einstellung kannst Du die Aufgaben in den Teilen B und C ausführen. Zur Feinabstimmung des Lasers verwende den Metallstab 4C. Der Laser soll in der Höhe so ausgerichtet sein, dass Du Messungen mit dem Beugungsgitter durchführen kannst. Der Laserstrahl soll senkrecht zum Schirm ausgerichtet sein. Stelle das Beugungsgitter in den Schlitz der dafür vorgesehenen Halterung 12B. Auf dem Beugungsgitter befindet sich ein Aufkleber: Das Gitter muss mit dem Aufkleber in Richtung Laser platziert werden (der Aufkleber muss sich oben befinden). Jedes Gitter hat eine eindeutige ID, die sich auf dem Aufkleber befindet. **Schreibe die ID des Gitters in das dafür vorgesehene Feld im Antwortbogen.**

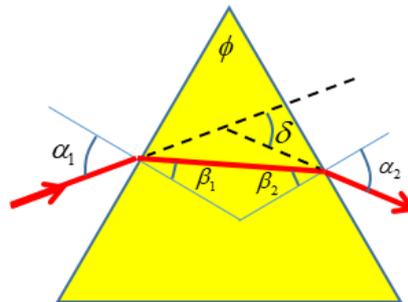
In diesem Teil könnte es sich als nützlich erweisen, eine ähnliche Idee wie im 2. Teil von Teil A zu verwenden.

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>B.1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeichne auf dem Antwortbogen eine Skizze des Aufbaus. Kennzeichne in der Skizze den Laser (von oben), das Beugungsgitter, den Strahlengang des Lasers und die Punkte, an denen der Strahl auf den Schirm auftrifft. Benenne in der Skizze die Größen, die du misst.</li> <li>• Führe Messungen für <math>m = 1</math> aus. Schreibe die Messwerte auf und leite daraus das Verhältnis <math>\lambda/d</math> ab.</li> <li>• Führe Messungen für <math>m = 2</math> aus. Schreibe die Messwerte auf und leite daraus das Verhältnis <math>\lambda/d</math> ab.</li> </ul> | 0.7pt |
|------------|---|-------|

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>B.2</b> | <p>Ermittle das Verhältnis <math>\lambda/d</math> für höhere Beugungsordnungen (<math>m &gt; 2</math>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstelle im Antwortbogen zwei Skizzen des Aufbaus für <math>m = 3</math> und <math>m = 4</math>. Kennzeichne in der Skizze den Laser (von oben), das Beugungsgitter, den Strahlengang des Lasers und die Punkte, an denen der Strahl auf den Schirm auftrifft. Benenne in der Skizze die Größen, die du misst.</li> <li>• Führe Messungen für jede der beiden Beugungsordnungen <math>m = 3</math> und <math>m = 4</math> aus. Schreibe die Messwerte für jedes <math>m</math> auf und leite daraus das Verhältnis <math>\lambda/d</math> ab.</li> </ul> | 1.8pt |
|------------|---|-------|

## Teil C: Brechungsindex eines dreieckigen Prismas (2,0 Punkte)

Du hast ein annähernd gleichseitiges dreieckiges Prisma. Die drei Flächen sind eben und hochglanzpoliert. Die Winkel des Prismas können von  $60^\circ$  abweichen, aber nicht um mehr als  $0,7^\circ$ . Du musst diese Winkel nicht messen. Das Ziel dieses Abschnitts ist es, den Brechungsindex des Materials, aus dem das Prisma besteht, zu bestimmen. Um den Fehler des Brechungsindex zu verringern, ist es möglich, die kleinen Abweichungen in den Winkel des Prismas zu korrigieren. Dazu kann die Kleinwinkelnäherung verwendet werden ( $\sin x \approx x$ ,  $\cos x \approx 1$  wenn  $x$  in Radianten gemessen wird). In diesem Abschnitt **ist eine Fehlerbetrachtung erforderlich**. Die Abbildungen zeigen das Beispiel eines Strahls, der an einer Fläche in das Prisma ein- und an der nächsten Fläche wieder austritt.



Um die höchste Genauigkeit zu erlangen, wähle eine geeignete Position für den Laser im gegebenen Aufbau.

Lege das Prisma in die dafür vorgesehene Halterung 12B.

- C.1** Im symmetrischen Fall  $\alpha_1 = \alpha_2$ , gilt die folgende Beziehung für ein gleichseitiges Prisma:  $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$ . 0.4pt
- Entwickle eine Methode zur Bestimmung des Brechungsindex des Prismas, die die höchste Genauigkeit aufweist.
  - Führe im Antwortbogen im Detail die Formeln an, die du zur Berechnung des Brechungsindex verwendest.

- C.2** 1.6pt
- Halte in den Antwortbögen die Größen und Werte, die du gemessen hast fest (inkl. Fehler).
  - Berechne den Brechungsindex des Prismas und dessen Fehler für die Wellenlänge des hier verwendeten Lasers.