

## Aufgaben 10      **Optische Instrumente** **Auge**

### Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten und in einer Gruppe diskutieren können.
- den anatomischen Aufbau eines Auges kennen.
- die Bildentstehung bei einem Auge verstehen.
- den Vorgang der Akkomodation kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, was der Nahpunkt und die deutliche Sehweite sind.
- die Phänomene Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, wie Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit mit Hilfe von Brillen bzw. Kontaktlinsen korrigiert werden können.
- die Abbildungsgleichungen für sphärische Oberflächen und dünne sphärische Linsen bei der Bildentstehung am Auge anwenden können.
- die Gleichung für die Lateralvergrößerung des Bildes bei einer dünnen sphärischen Linse bei der Bildentstehung am Auge anwenden können.

### Aufgaben

- 10.1      Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:  
- 29.4 Optische Instrumente (Teil „Das Auge“, Seiten 1084 bis 1087)

10.2      **Experimente Posten 1: Auge** (30 min)

(Modellkörper halbkreisförmig, Modellkörper plankonvex, Modellkörper plankonkav)

In diesen Experimenten werden die Bildentstehung auf der Netzhaut, die Akkomodation des Auges sowie die Korrektur von Kurz- und Weitsichtigkeit mit Hilfe einer Brille simuliert.

Allgemeines:

- Die Leuchtbox kann wahlweise am einen oder anderen Ende geöffnet werden. Abhängig davon, welches Ende man öffnet, erhält man parallele oder auseinanderlaufende Lichtbündel. Der Grund dafür ist, dass das Licht der Lampe im ersten Fall durch eine interne Sammellinse fällt, im zweiten Fall jedoch nicht.
- Ein weit entfernter Gegenstand wird durch parallele Lichtbündel, ein naher Gegenstand durch auseinanderlaufende Lichtbündel simuliert.
- Der halbkreisförmige Modellkörper stellt das Auge (d.h. die Gesamtheit aller lichtbrechenden Teile des Auges) dar. Die gewölbte Oberfläche soll jeweils in Richtung der Leuchtbox zeigen.
- Auf dem Papier ist die optische Achse und senkrecht dazu die Lage der Netzhaut eingezeichnet. Der Einfachheit halber wird die Krümmung der Netzhaut vernachlässigt.

a)      *Normalsichtiges Auge, Akkomodation*

i)      *Weit entfernter Gegenstand*

Lassen Sie parallele Lichtstrahlen (3-Spalt-Blende an Leuchtbox-Ausgang) auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Positionieren Sie dabei den halbkreisförmigen Modellkörper so, dass sich die gebrochenen Lichtstrahlen auf der Netzhaut schneiden. Dies simuliert das normalsichtige, entspannte Sehen (ohne Akkomodation) eines weit entfernten Gegenstandes.

ii)      *Naher Gegenstand ohne Akkomodation*

Kehren Sie die Leuchtbox um und lassen Sie nun auseinanderlaufende Lichtstrahlen auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Am besten montieren Sie die 3-Spalt-Blende nicht direkt am Leuchtbox-Ausgang, sondern halten sie mit der Hand zwischen die Leuchtbox und den halbkreisförmigen Modellkörper. Stellen Sie fest, dass sich die Lichtstrahlen nicht mehr auf der Netzhaut treffen.

- iii) *Naher Gegenstand mit Akkomodation*  
Legen Sie direkt hinter den halbkreisförmigen Modellkörper eine zusätzliche Sammellinse (Modellkörper plankonvex). Simulieren Sie so die Akkomodation des Auges. Stellen Sie fest, dass sich die Lichtstrahlen nun näher bei oder auf der Netzhaut treffen.
- b) *Kurzsichtiges Auge*
- i) *Weit entfernter Gegenstand ohne Brille*  
Lassen Sie parallele Lichtstrahlen (3-Spalt-Blende an Leuchtbox-Ausgang) auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Positionieren Sie den halbkreisförmigen Modellkörper nun aber so, dass sich die gebrochenen Lichtstrahlen vor der Netzhaut schneiden. Dies simuliert das kurzsichtige, unscharfe Sehen eines weit entfernten Gegenstandes.
- ii) *Weit entfernter Gegenstand mit Brille*  
Legen Sie vor den halbkreisförmigen Modellkörper eine zusätzliche Zerstreuungslinse (Modellkörper plankonkav). Diese stellt ein Brillenglas dar. Stellen Sie fest, dass sich die Lichtstrahlen nun näher bei oder auf der Netzhaut treffen.
- iii) *Naher Gegenstand*  
Nehmen Sie die Zerstreuungslinse wieder weg, und kehren Sie die Leuchtbox um. Lassen Sie auseinanderlaufende Lichtstrahlen auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Am besten montieren Sie die 3-Spalt-Blende nicht direkt am Leuchtbox-Ausgang, sondern halten sie mit der Hand zwischen die Leuchtbox und den halbkreisförmigen Modellkörper. Beobachten Sie, wo sich die Lichtstrahlen treffen. Beurteilen Sie, wie das kurzsichtige Auge durch Akkomodation einen nahen Gegenstand scharf sehen kann.
- c) *Weitsichtiges Auge*
- i) *Weit entfernter Gegenstand ohne Brille*  
Lassen Sie parallele Lichtstrahlen (3-Spalt-Blende an Leuchtbox-Ausgang) auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Positionieren Sie den halbkreisförmigen Modellkörper nun aber so, dass sich die gebrochenen Lichtstrahlen etwas hinter der Netzhaut schneiden. Beurteilen Sie, wie das weitsichtige Auge durch Akkomodation einen weit entfernten Gegenstand scharf sehen kann.
- ii) *Naher Gegenstand ohne Brille*  
Kehren Sie die Leuchtbox um und lassen Sie nun auseinanderlaufende Lichtstrahlen auf den halbkreisförmigen Modellkörper einfallen. Am besten montieren Sie die 3-Spalt-Blende nicht direkt am Leuchtbox-Ausgang, sondern halten sie mit der Hand zwischen die Leuchtbox und den halbkreisförmigen Modellkörper. Stellen Sie fest, dass sich die Lichtstrahlen auch durch Akkomodation nicht auf der Netzhaut treffen. Dies simuliert das weitsichtige, unscharfe Sehen eines nahen Gegenstandes.
- iii) *Naher Gegenstand mit Brille*  
Legen Sie vor den halbkreisförmigen Modellkörper eine zusätzliche Sammellinse (Modellkörper plankonvex). Diese stellt ein Brillenglas dar. Stellen Sie fest, dass sich die Lichtstrahlen nun näher bei oder auf der Netzhaut treffen.

***Alternative zu den Experimenten***

*Im Unterricht werden Bilder der Experimente gezeigt.*

Hinweise zu den Aufgaben 10.3 bis 10.7:

- Betrachten Sie das Auge (d.h. die Gesamtheit aller lichtbrechenden Teile des Auges) als dünne sphärische Linse.
- Betrachten Sie alle Brillengläser als dünne sphärische Linsen.
- Vernachlässigen Sie jeweils den Abstand Brillenglas-Auge.

10.3 (siehe nächste Seite)

- 10.3 Betrachten Sie noch einmal das Beispiel 29.9 im Lehrbuch Tipler/Mosca (Seiten 1085 und 1086). Darin wird mit einem virtuellen Bild argumentiert, welches die Brille von einem Gegenstand erzeugt. Sodann wird die Brechkraft der Brille sowie eine Vergrößerung bestimmt.

In dieser Aufgabe 10.3 sollen Sie die Brechkraft der Brille sowie die Vergrößerung ohne Argumentation mit einem virtuellen Bild bestimmen.

- a) Bestimmen Sie, um wieviel die Brechkraft des Systems Auge-Brille höher sein muss als die Brechkraft des Auges allein, damit die deutliche Sehweite von 75 cm (Auge allein) auf 25 cm (System Auge-Brille) reduziert werden kann.

Hinweise:

- Die deutliche Sehweite ist jeweils die Gegenstandsweite.
- In beiden Fällen (Auge allein, System Auge-Brille) ist die Bildweite gleich gross.

- b) Die im Beispiel 29.9 bestimmte Vergrößerung kann aufgefasst werden als Verhältnis der Lateralvergrößerungen (Grösse des reellen Bildes auf der Netzhaut : Gegenstandsgrösse) mit und ohne Brille.

Bestimmen Sie also das Verhältnis der beiden Lateralvergrößerungen.

- 10.4 Betrachten Sie noch einmal den Schluss des Teils „Das Auge“ im Abschnitt 29.4 Optische Instrumente im Lehrbuch Tipler/Mosca (Seite 1087). Dort wird erklärt, dass die Bildgrösse proportional zur Gegenstandsgrösse und umgekehrt proportional zur Gegenstandsweite ist.

Zeigen Sie, dass diese beiden Proportionalitäten auch direkt aus der Gleichung für die Lateralvergrößerung bei einer dünnen sphärischen Linse folgen.

- 10.5 Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:  
29.25, 29.26, 29.27, 29.28 a)

Hinweis zu 29.26:

- Bei der gesuchten Verschiebung der Linse ist die Verschiebung gegenüber derjenigen Position der Linse gemeint, bei welcher ein unendlich weit entfernter Gegenstand scharf abgebildet würde.

Hinweis zu 29.28 a):

- Hier soll das Auge (d.h. die Gesamtheit aller lichtbrechenden Teile des Auges) nicht als sphärische dünne Linse betrachtet werden, sondern als homogene Kugel. Das Bild eines betrachteten Gegenstandes soll innerhalb dieser Kugel liegen. Es handelt sich hier also um eine Bildentstehung an einer brechenden Oberfläche (Übergang Luft-Hornhaut), und nicht um eine Bildentstehung an einer Linse. Entsprechend ist die Abbildungsgleichung für die Abbildung an einer brechenden sphärischen Oberfläche zu verwenden.

- 10.6 Betrachten Sie ein Brillenglas mit Brechzahl 1.52, welches die Brechkraft -4.5 dpt aufweisen soll. Der Krümmungsradius der äusseren (dem Auge abgewandten) brechenden Oberfläche beträgt 320 mm.

- a) Beurteilen Sie, ob es sich um ein Brillenglas zur Korrektur von Kurz- oder Weitsichtigkeit handelt.  
b) Bestimmen Sie den Krümmungsradius der inneren (dem Auge zugewandten) brechenden Oberfläche.

- 10.7 Ein kurzsichtiger Brillenträger hat Brillengläser mit der Brechkraft -4.0 dpt.

Bestimmen Sie, um wieviel Prozent der Augapfel dieses Brillenträgers länger ist als derjenige eines normalsichtigen Menschen.

Hinweis:

- Schätzen Sie allfällige unbekannt numerische Werte von Grössen ab.

- 10.8 (siehe nächste Seite)

10.8 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind.  
Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

- |  | wahr                     | falsch                   |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a) Für die Brechkraft des Auges ist hauptsächlich die Augenlinse verantwortlich.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Bei einem normalsichtigen Menschen ist die Brennweite des entspannten Auges gleich dem Abstand zwischen Horn- und Netzhaut.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Bei einem kurzsichtigen Menschen ist die maximale Brennweite des Auges (d.h. der Gesamtheit aller lichtbrechenden Teile des Auges) kleiner als der Abstand zwischen Horn- und Netzhaut. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Mit der Korrektur einer Fehlsichtigkeit mit Hilfe einer Brille wird die Akkomodationsfähigkeit des Auges erhöht.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e) Die Altersweitsichtigkeit wird durch eine altersbedingte Veränderung der Augengrösse hervorgerufen.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Lösungen**

10.1 ...

10.2 ...

10.3 a)  $\Delta D = D_2 - D_1$   
 $D_1 = \frac{1}{f_1}$   
 $D_2 = \frac{1}{f_2}$   
 $\frac{1}{g_1} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_1}$   
 $\frac{1}{g_2} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_2}$   
 -----  
 $\Rightarrow \Delta D = \frac{1}{g_2} - \frac{1}{g_1} = \frac{1}{0.25 \text{ m}} - \frac{1}{0.75 \text{ m}} = 2.7 \text{ dpt}$

b)  $x = \frac{V_2}{V_1}$   
 $V_1 = \frac{B_1}{G}$   
 $V_2 = \frac{B_2}{G}$   
 $\frac{1}{g_1} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_1}$   
 $\frac{1}{g_2} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_2}$   
 -----  
 $\Rightarrow x = \frac{g_1}{g_2} = \frac{0.75 \text{ m}}{0.25 \text{ m}} = 3.0$

10.4 Aus  $V := \frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$  folgt  $B \sim G$  und  $B \sim \frac{1}{g}$

10.5 ...

Hinweis zu den Lösungen von 29.25 im Arbeitsbuch Mills:

- In der Lösung im Arbeitsbuch Mills wird der Unterschied zwischen den Brechzahlen (vor/im Auge) bzw. der Unterschied zwischen den Winkeln  $\varepsilon$  und  $\phi$  nicht berücksichtigt. In a) wird also der Winkel  $\phi_{\min}$  bestimmt, und nicht  $\varepsilon_{\min}$ .

- Der Zusammenhang zwischen  $\varepsilon$  und  $\phi$  ist über das Brechungsgesetz gegeben.

Hinweis zu den Lösungen von 29.28 a) im Arbeitsbuch Mills:

- Die angegebene Gleichung wird fälschlicherweise als „Linsengleichung“ bezeichnet. Es ist jedoch die Abbildungsgleichung für sphärische Oberflächen.

10.6 a) Das Brillenglas ist eine Zerstreuungslinse zur Korrektur von Kurzsichtigkeit.

b)  $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{Glas}}}{n_{\text{Luft}}} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$D = \frac{1}{f}$

-----  
 $\Rightarrow r_2 = \frac{(n_{\text{Glas}} - n_{\text{Luft}}) r_1}{n_{\text{Glas}} - n_{\text{Luft}} - D r_1 n_{\text{Luft}}} = \frac{(1.52 - 1.00) \cdot 320 \text{ mm}}{1.52 - 1.00 - (-4.5 \text{ m}^{-1}) \cdot 320 \text{ mm} \cdot 1.00} = 85 \text{ mm}$

10.7 (siehe nächste Seite)

$$10.7 \quad x = \frac{1}{1 + D_B \cdot l_0} - 1 = \frac{1}{1 + (-4.0 \text{ dpt}) \cdot 0.025 \text{ m}} - 1 = 0.11 = 11\%$$

$D_B$  := Brechkraft Brillenglas = -4.0 dpt

$l_0$  := Länge Augapfel normalsichtiges Auge = 2.5 cm

- 10.8
- a) falsch
  - b) wahr
  - c) wahr
  - d) falsch
  - e) falsch