

## Aufgaben 5      **Bildentstehung, Spiegel und Linsen** **Bildentstehung bei brechenden sphärischen Oberflächen**

### Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten und in einer Gruppe diskutieren können.
- wissen und verstehen, wie die Hauptstrahlen an einer konvexen und einer konkaven sphärischen Oberfläche gebrochen werden.
- mit Hilfe der Hauptstrahlen das Bild eines Gegenstandes bei einer brechenden konvexen und einer konkaven sphärischen Oberfläche von Hand konstruieren können.
- beurteilen können, ob ein Bild bei einer brechenden konvexen und einer brechenden konkaven sphärischen Oberfläche reell oder virtuell ist.
- alle bei einer brechenden konvexen und einer brechenden konkaven sphärischen Oberfläche auftretenden Fälle für die Existenz und Eigenschaft eines Bildes kennen und verstehen.
- die Abbildungsgleichung für brechende sphärische Oberflächen kennen, verstehen und anwenden können.
- die Gleichung für die Lateralvergrößerung des Bildes bei einer brechenden sphärischen Oberfläche kennen, verstehen und anwenden können.
- die Vorzeichenregeln für die in den genannten Gleichungen auftretenden Grössen kennen.

### Aufgaben

- 5.1      Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:  
- 29.2 Linsen (bis und mit „Kurz nachgefragt 29.3“, Seiten 1070 bis 1073)

Hinweise:

- Im Beispiel 29.3 (Seite 1072) gibt es in der Lösung (Teilaufgabe a), 1.) einen Fehler: In der Formel sollte es auf der rechten Seite im Zähler  $n_2 - n_1$  (nicht  $n_1 - n_2$ ) heissen.
- Bei der Zusatzfrage 29.4 (Seite 1073) gibt es einen Fehler im Text. Im letzten Satz sollte es heissen: „... den Ort, an dem sich das Bild von **Jonas** befindet, das **Tommy** sieht.“

- 5.2      Für die Bildentstehung an einer brechenden sphärischen Oberfläche drückt die folgende Gleichung den Zusammenhang zwischen der Gegenstandsweite  $g$  und der Bildweite  $b$  aus (Lehrbuch Tipler/Mosca, Formel 29.6, Seite 1072):

$$\frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Diese Formel wurde für den Fall  $n_2 > n_1$  hergeleitet, gilt aber auch für  $n_2 < n_1$  (vgl. Lehrbuch Tipler/Mosca, Beispiel 29.4, Seite 1073).

In dieser Aufgabe soll jedoch nur der Fall  $n_2 > n_1$  betrachtet werden.

- a)      Lösen Sie die Formel nach der Bildweite  $b$  auf.  
b)      Betrachten Sie den Fall, dass die sphärische Oberfläche **konvex** ist, d.h.  $r > 0$ .

Beurteilen Sie mit Hilfe des Resultates aus a), für welche Gegenstandsweite(n)  $g$  ...

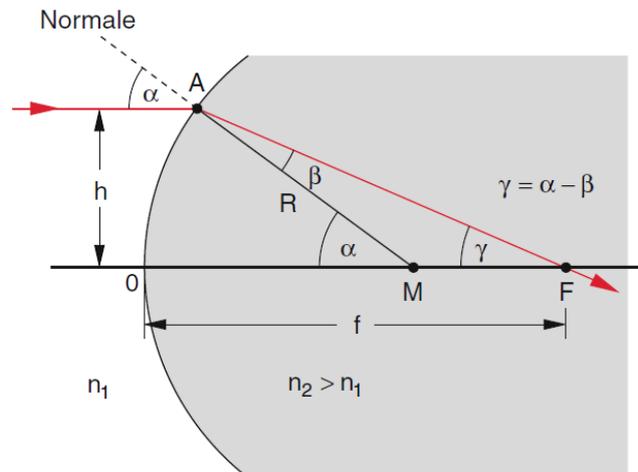
- i)      ... ein reelles Bild existiert.
- ii)     ... ein virtuelles Bild existiert.
- iii)    ... kein Bild existiert.

- c)      Betrachten Sie nun den Fall, dass die sphärische Oberfläche **konkav** ist, d.h.  $r < 0$ .

Beurteilen Sie mit Hilfe des Resultates aus a), für welche Gegenstandsweite(n)  $g$  ...

- i)      ... ein reelles Bild existiert.
- ii)     ... ein virtuelles Bild existiert.
- iii)    ... kein Bild existiert.

- 5.3 Skizzieren Sie von Hand die Bilder eines Gegenstandes bei einer brechenden sphärischen Oberfläche.  
 Zeichnen Sie die sphärische Oberfläche und den Gegenstand (als Pfeil) auf ein Blatt Papier. Skizzieren Sie dann für alle in der Aufgabe 5.2 aufgeführten Fälle das entsprechende Bild.  
 Gehen Sie im Sinne der Abbildung 29.24 (Lehrbuch Tipler/Mosca, Seite 1071) vor.
- 5.4 Ein Lichtstrahl fällt im Abstand  $h$  parallel zur Symmetrieachse auf eine sphärische Grenzfläche zwischen zwei Medien mit den Brechzahlen  $n_1$  und  $n_2$  ( $n_2 > n_1$ ):



(Quelle: Demtröder, Experimentalphysik 2, Seite 270, ISBN 978-3-642-29943-8)

Der Strahl wird am Auftreffpunkt A gebrochen, pflanzt sich im homogenen Medium geradlinig fort und schneidet im Brennpunkt F die Symmetrieachse.

- a) Zeigen Sie, dass für die Brennweite  $f$  gilt:

$$f = \left(1 + \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha - \beta)}\right) R$$

Hinweis:

- Wenden Sie im Dreieck AMF den Sinus-Satz an.

- b) Zeigen Sie, dass sich die in a) hergeleitete Beziehung unter der Annahme kleiner Winkel umformen lässt zu:

$$f = \frac{n_2}{n_2 - n_1} R$$

Hinweise:

- Verwenden Sie ein geeignetes trigonometrisches Additionstheorem.

- Setzen Sie  $\cos(\alpha) \approx 1$  und  $\cos(\beta) \approx 1$ .

- Wenden Sie das Brechungsgesetz an.

- c) Finden Sie einen Zusammenhang zwischen der in b) hergeleiteten Formel und der Formel in der Aufgabe 5.2.

Hinweis:

- Überlegen Sie sich, wie gross die Bildweite  $b$  für einen unendlich weit entfernten Gegenstand ist.

- d) Zeigen Sie, dass zwischen der Gegenstandsweite  $g$ , der Bildweite  $b$  und der Brennweite  $f$  die folgende Beziehung gilt:

$$\frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2}{f}$$

Hinweis:

- Kombinieren Sie die in b) hergeleitete Formel mit der Formel in der Aufgabe 5.2.

- e) Vergleichen Sie die in d) hergeleitete Beziehung mit der entsprechenden Beziehung für die Bildentstehung bei Spiegeln.

5.5 Ein Gegenstand der Grösse  $G = 10.0$  cm befindet sich im Abstand  $g = 80.0$  cm vor einer brechenden konvexen sphärischen Oberfläche mit dem Radius  $r = 30.0$  cm. Die Brechzahlen der beiden Medien sind  $n_1 = 1.00$  und  $n_2 = 1.50$ .

- a) Bestimmen Sie ...
  - i) ... die Bildweite  $b$ .
  - ii) ... die Lateralvergrößerung  $V$ .
- b) Beurteilen Sie, ob das Bild ...
  - i) ... reell oder virtuell ist.
  - ii) ... aufrecht oder verkehrt ist.
  - iii) ... gegenüber dem Gegenstand gleich gross, vergrößert oder verkleinert ist.

5.6 Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:  
29.14, 29.15

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

- |   | wahr                     | falsch                   |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a) Eine brechende konvexe sphärische Oberfläche kann sowohl reelle als auch virtuelle Bilder erzeugen.                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Eine brechende konkave sphärische Oberfläche kann nur reelle Bilder erzeugen.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Das Bild an einer brechenden konvexen sphärischen Oberfläche ist immer verkleinert.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Bei einer brechenden sphärischen Oberfläche ist die Lateralvergrößerung gleich dem Verhältnis von Bildweite zu Gegenstandsweite. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e) Bei einer brechenden sphärischen Oberfläche gibt es nie Bilder, die gleich gross sind wie der Gegenstand.                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Lösungen**

5.1 ...

Hinweis zur Lösung (Lehrbuch Tipler/Mosca, Seite 1097) zur Zusatzaufgabe 29.4:

- Es gibt einen Fehler im Text. Es sollte heissen: «Das Bild befindet sich 5.6 cm **hinter** der Vorderseite des Aquariums.»

5.2 a) 
$$b = \frac{n_2 r}{(n_2 - n_1) g - n_1 r} g$$

- b) - reelles Bild, falls  $b > 0$   
 - virtuelles Bild, falls  $b < 0$   
 - kein Bild, falls  $b \rightarrow \infty$

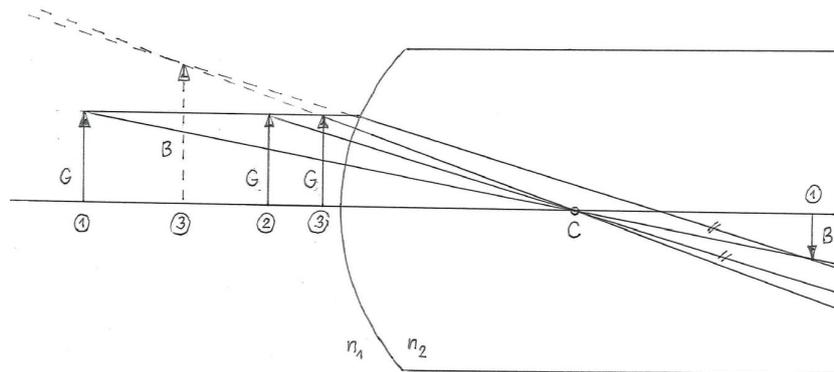
i) reelles Bild ( $b > 0$ ), falls  $g > \frac{n_1}{n_2 - n_1} r$

ii) virtuelles Bild ( $b < 0$ ), falls  $g < \frac{n_1}{n_2 - n_1} r$

iii) kein Bild ( $b \rightarrow \infty$ ), falls  $g = \frac{n_1}{n_2 - n_1} r$

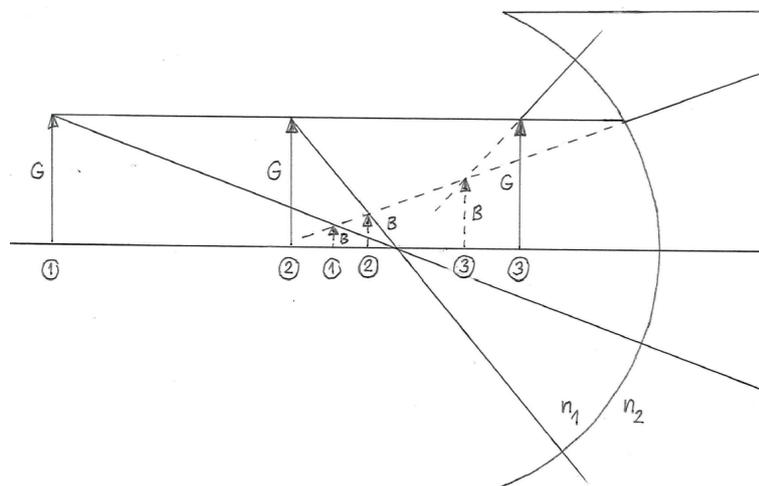
- c)  $b < 0$  für alle  $g$ , da  $r < 0$   
 Es existiert immer ein virtuelles Bild, unabhängig von  $g$ .

5.3 Konvexe sphärische Oberfläche:



Je nach Gegenstandsweite  $g$  gibt es ein reelles, ein virtuelles oder gar kein Bild.

Konkave sphärische Oberfläche:



Es existiert immer ein virtuelles Bild, unabhängig von der Gegenstandsweite  $g$ .

- 5.4 a) ...  
b) ...  
c) Im Grenzfall  $g \rightarrow \infty$  gilt  $b = f$ .  
Für  $g \rightarrow \infty$  und  $b = f$  gehen die beiden Formeln ineinander über.  
d) ...  
e) ...

- 5.5 a) i)  $b = 360 \text{ cm}$   
ii)  $V = - 3.00$   
b) i) reell, da  $b > 0$   
ii) verkehrt, da  $V < 0$   
iii) vergrößert, da  $|V| > 1$

5.6 ...

Hinweise zur Lösung von 29.14 im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca:

- Die Vorzeichenwahl ( $r < 0$ ,  $g < 0$ ) ist unglücklich.
- Verwenden Sie  $g = + 10 \text{ cm}$ ,  $r = - 20 \text{ cm}$  (konkave Oberfläche)
- Für die Bildweite ergibt sich dann bei a)  $b = - 8.6 \text{ cm}$  und bei b)  $b = - 36 \text{ cm}$  ( $b < 0$ , da virtuelles Bild auf Einfallsseite)

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