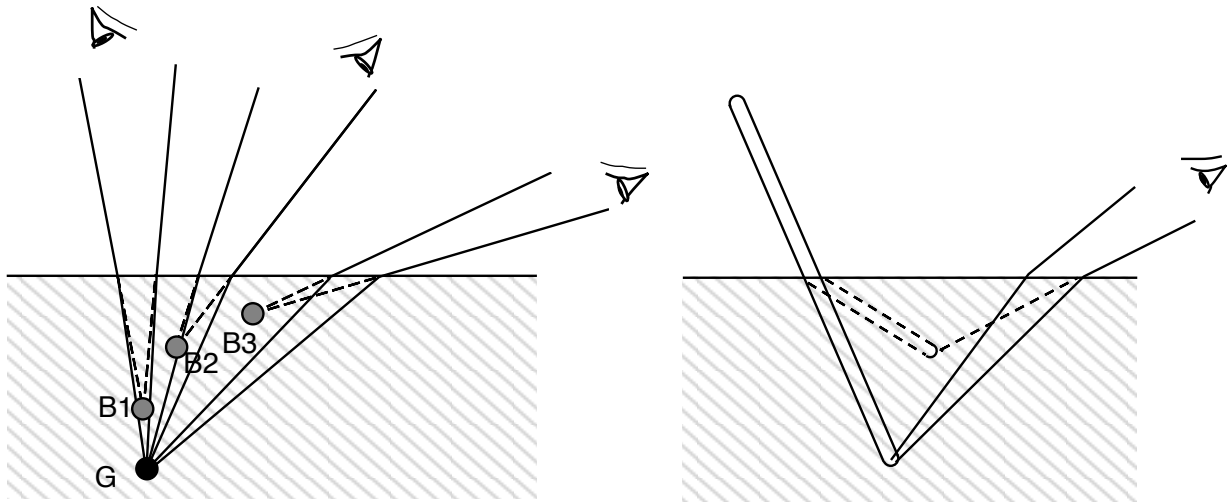


7. Abbildung mittels Brechung

7.1. Ebene Grenzfläche zweier Medien

Wir haben in den vorhergehenden Abschnitten die Abbildungsregeln für Lichtreflexion kennen gelernt. Wir wollen dasselbe nun mit der Lichtbrechung versuchen. Zuerst betrachten wir in Analogie zum Planspiegel eine ebene brechende Oberfläche (zum Beispiel ruhige Wasseroberfläche).

Gehen divergente Lichtstrahlen von einem Punkt G aus durch eine ebene Grenzfläche zweier durchsichtiger Medien, dann sieht man aus der linken Figur, dass sich nicht *alle* Strahlen nach der Brechung bis zu einem einzigen Bildpunkt vereinigen (oder verlängern lassen). Wenn man jedoch die Strahlen nach der Brechung mit dem Auge betrachtet, dann erreicht eigentlich nur ein schmales Strahlenbündel das Auge. Dieses divergente Strahlenbündel schneidet sich (angenähert) in einem virtuellen Bildpunkt. Wenn man aber den Kopf bewegt, dann bewegt sich auch der Bildpunkt. Es handelt sich also nicht um ein sauberes optisches Bild, wie es zum Beispiel beim Planspiegel auftritt. Es ist weder ganz scharf, noch ist es unabhängig von der Lage des Auges.

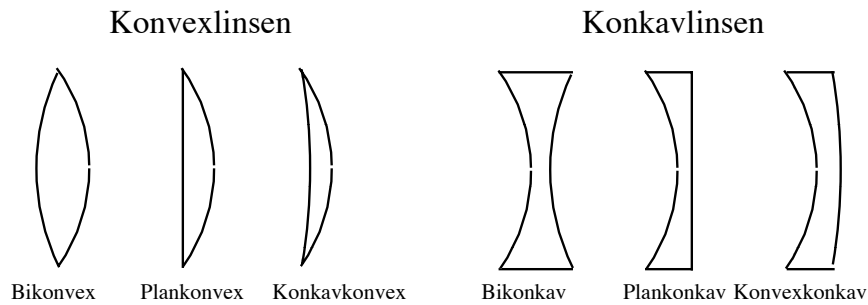


Die Brechung des Lichtstrahls an der Wasseroberfläche führt dazu, dass ein ins Wasser eingetauchter Stab geknickt erscheint. Auch ein Fisch im Wasser erscheint näher an der Wasseroberfläche, als er in Wirklichkeit ist.

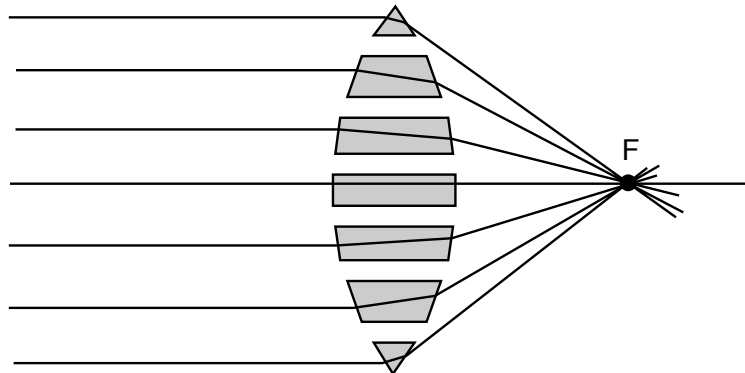
Übung: Wie tief erscheint der Boden eines 2 m tiefen Schwimmbeckens, wenn man senkrecht ins Wasser blickt?

7.2. Sphärische Linsen

Sphärische Linsen sind Körper aus durchsichtigen Stoffen, die von zwei Kugelflächen begrenzt sind. Die Gerade durch die beiden Kugelmittelpunkte heisst optische Achse. Man unterscheidet Konvex- oder Sammellinsen und Konkav- oder Zerstreuungslinsen. Bei den Konvexlinsen ist die Linse in der Mitte am dicksten, bei den Konkavlinsen am Rand. Einige Beispiele sind in der Figur gezeigt:



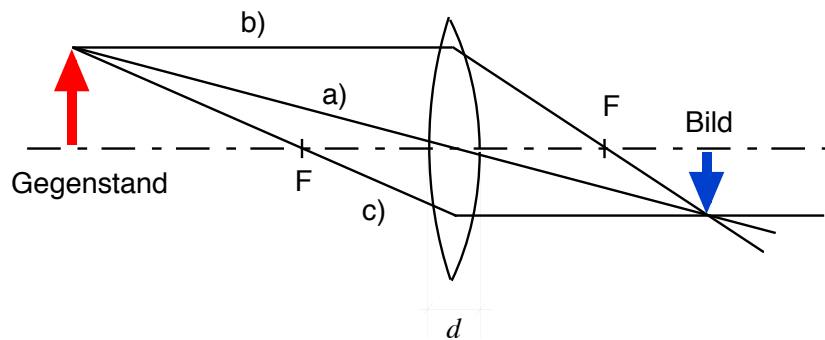
Man kann sich Linsen aus kleinen Prismenstückchen zusammengesetzt vorstellen. Daraus lässt sich der Strahlengang dann qualitativ konstruieren (Beispiel: Sammellinse und Brennpunkt F):



7.3. Bildkonstruktion

Wir wollen im Folgenden die Lage und Grösse eines Bildes durch Konstruktion ermitteln. Dazu setzen wir voraus, dass wir nur sehr dünne Linsen verwenden, also Linsen, deren Dicke d (Abstand der beiden Linsenscheitel) sehr viel kleiner als die Brennweite ist. Ausserdem sollen die Strahlen nur unter kleinen Einfallswinkeln auf die Linsenoberfläche treffen. Mit dieser Annahme wollen wir im Folgenden immer arbeiten.

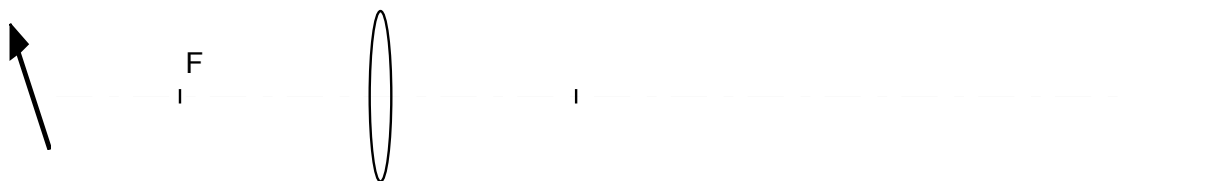
Der Gegenstandspegel stehe wie immer auf der optischen Achse. Wir untersuchen nun drei ausgewählte Lichtstrahlen a) b) und c), die von einem Gegenstandspunkt aus auf die dünne Sammellinse treffen:



- Der erste Strahl a) gehe durch das Zentrum der Linse. Beim Zentrum trifft er auf die Situation einer planparallelen Platte, die eine kleine Parallelverschiebung des Lichtstrahls verursacht. Mit der Annahme, dass die Linse dünn ist und die Strahlen nur unter kleinen Einfallswinkeln auf die Linsenoberfläche treffen, ist die Parallelverschiebung des Zentrumsstrahls vernachlässigbar. Der Strahl geht somit ohne seitlichen Versatz gerade durch das Linsenzentrum.
- Der ausgewählte Strahl b) laufe zunächst parallel zur optischen Achse, bis er auf die Linse trifft. Danach knickt er nach unten und trifft die optische Achse im Brennpunkt F . Dieser Brennpunkt ist wie bei den Kugelspiegeln als Schnittpunkt derjenigen Strahlen definiert, die parallel zur optischen Achse eingetroffen sind.
- Der Strahl c) verlaufe zuerst durch den diesseitigen Brennpunkt der Linse, um nach der Linse parallel zur optischen Achse weiter zu laufen.

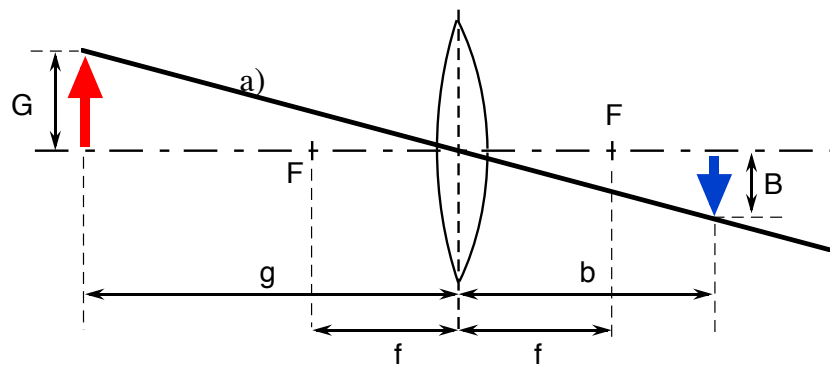
Alle drei Strahlen treffen sich in einem Punkt, dem Bildpunkt des ausgewählten Gegenstandspunktes. Da eine Sammellinse ein Abbild erzeugt, werden sich alle Strahlen, die vom Gegenstandspunkt durch die Linse gehen, in diesem Bildpunkt treffen. Es entsteht ein reeller Bildpunkt.

Übung: Konstruieren Sie das Bild in folgender Abbildungssituation:



7.4. Abbildungsgleichungen

Genauso wie beim Spiegel definieren wir Brennpunkt F , Gegenstandsgröße G , Gegenstandsweite g , Bildgröße B , Bildweite b und Brennweite f .



Da die Linse sehr dünn sein soll, können wir die Linsenmitte als Bezugspunkt für die Distanzen wählen.

Die Brennweite f ist nun nicht mehr $r/2$ wie beim Hohlspiegel! Sie hängt ja zum Beispiel auch von der Glassorte, das heisst dem Brechungsindex n ab. Für schlanke Linsen mit Krümmungsradien r_1 und r_2 der beiden Linsenoberflächen gilt aber:

$$\left\| \frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left\{ \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right\} \quad (\text{Brennweite von Linsen}). \right.$$

Vor allem in der Brillenoptik wird gerne der Brechwert D (die Dioptrienzahl) verwendet. Es gilt:

$$\left\| D = \frac{1}{f} \quad \text{mit } [D] = m^{-1} = \text{dpt} \quad (\text{Dioptrienzahl}) \right.$$

Auch für asymmetrische Linsen ($r_1 \neq r_2$) ist die Brennweite auf beiden Seiten der Linse gleich gross!

Für eine konkave Linsenoberfläche erhält der Krümmungsradius dieser Oberfläche ein negatives Vorzeichen. Dadurch wird unter Umständen die Brennweite negativ (Zerstreuungslinse).

Mit denselben Überlegungen wie beim Kugelspiegel können auch bei den Linsen die Abbildungsgleichungen hergeleitet werden. Sie lauten genau gleich wie bei den sphärischen Spiegeln:

$$\left\| \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad 1. \text{ Abbildungsgleichung} \right.$$

$$\left\| \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad 2. \text{ Abbildungsgleichung.} \right.$$

Es gelten auch dieselben Vorzeichenregeln wie bei den Spiegeln, insbesondere bedeutet eine negative Bildweite ein virtuelles Bild.

Meist ist die folgende experimentelle Situation vorgegeben: Man stellt einen Gegenstand der Grösse G im Abstand g vor eine Linse mit bekannter Brennweite f und sucht nun Bildgrösse B und Bildweite b . Man löst dann zunächst die zweite Abbildungsgleichung nach der einzigen unbekanntem Grösse b auf, setzt diese Lösung dann in die erste Gleichung für Bild- und Gegenstandsgrösse ein und löst sie nach der nun einzigen Unbekannten B auf.

Übungen:

1) Welche Brennweite muss eine Linse haben, damit sie von einem 3.12 m entfernten, 1.20 m grossen Gegenstand ein 10.0 cm grosses Bild erzeugt?

2) Ein Aufklärungsflugzeug photographiert mit einer Kamera von 75.0 cm Brennweite auf quadratische Platten mit 21.0 cm Seitenlänge aus 10.0 km Höhe vertikal nach unten. Wie gross ist das Flächenstück der Erdoberfläche, das abgebildet wird?

3) Zeigen Sie mit einer Strahlenkonstruktion, dass die Tiefenschärfe bei optischen Abbildungen (z.B. beim Fotografieren) grösser wird, wenn die Irisblende des Objektivs verkleinert wird.