

## TUM Science Labs

### Optische Abbildungen

#### Ergänzendes Material und Glossar

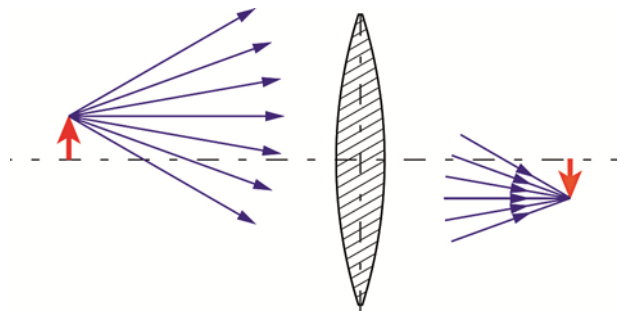
Der Praktikumsversuch „Optische Abbildungen“ beinhaltet folgende Experimente:

- Bestimmung der Brennweite einer Linse
- Vergrößerungsfaktor eines Teleskops
- Chromatische Aberration (Farbfehler) einer Linse
- Effizienz der Lichteinkopplung in eine Glasfaser

Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe kurz erklärt. Einige interessante Details, die in der Versuchsbeschreibung nicht erwähnt werden, wurden dabei ergänzt.

#### Abbildung:

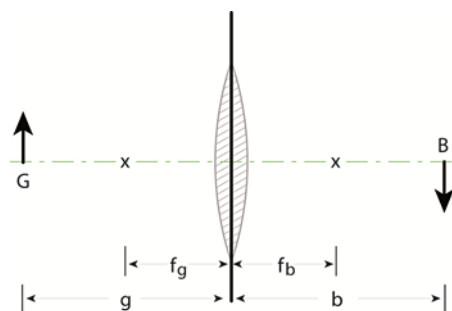
In der Optik ist die Beschreibung von Abbildungen von zentraler Bedeutung. Abbildung bedeutet, dass alle Lichtstrahlen, die von einem Punkt eines *Gegenstandes* ausgehen, sich in genau einem *Bildpunkt* sammeln. Zusätzlich müssen die verschiedenen Gegenstandspunkte winkeltreu auf Bildpunkte abgebildet werden. Aufgrund dieser Forderungen kann man berechnen, wie ein optisches Element (z.B. eine Linse) aussehen muss.



#### Abbildungsgleichung oder Linsengleichung:

Wichtige Definitionen werden anhand des Bildes erklärt:

- Die grüne Achse wird *optische Achse* genannt.
- Bei ausreichend dünnen Linsen wird von der Mittelebene der Linse gemessen.
- Der Abstand des Gegenstands ist die Gegenstandsweite  $g$ . Sie ist positiv, wenn der Gegenstand links von der Linse steht.
- Der Abstand des Bildes ist die Bildweite  $b$ . Sie ist positiv, wenn das Bild rechts von der Linse entsteht.
- Gegenstandsgröße und Bildgröße werden mit  $G$  bzw.  $B$  bezeichnet.
- Gegenstandsseitige und bildseitige Brennweite  $f_g$  und  $f_b$  sind bei symmetrischen Linsen vom Betrag her gleich und positiv für konvexe Linsen.



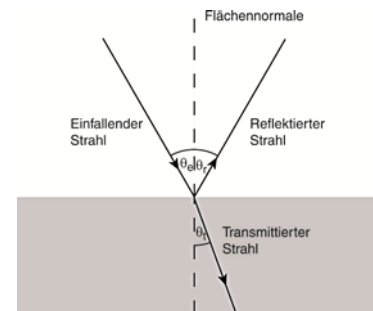
Die Linsengleichung lautet:  $1/f = 1/b + 1/g$ . Für die Vorzeichen muss obige Konvention verwendet werden.

**Brechung:**

*Brechung* ist die Änderung der Ausbreitungsrichtung des Lichts an einer *Grenzfläche* zwischen zwei unterschiedlichen (durchsichtigen) Materialien. Ein bekannter Effekt ist der abgelenkte Bleistift, den das Bild zeigt. Zur Berechnung des Brechungswinkels benötigt man die Brechungsindizes (Brechzahlen)  $n$  der Materialien.



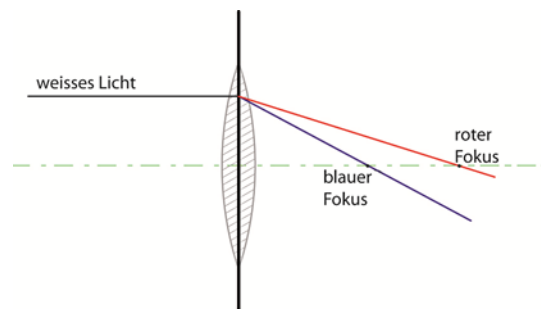
Zur Vereinfachung wird der Fall betrachtet, dass ein Lichtstrahl aus Luft in ein Medium (Wasser, Glas) übergeht. Luft hat in etwa die Brechzahl  $n_L \approx 1$ . Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zum Material mit  $n > 1$ , so wird ein Teil reflektiert und ein Teil transmittiert. Zur Beschreibung gibt man die Winkel an. Diese werden zum Lot (Flächennormale) hin gemessen! Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel und der Transmissionswinkel (Brechungswinkel) errechnet sich aus dem Brechungsgesetz.

**Brennpunkt:**

Parallel einfallende Strahlen schneiden die optische Achse im Brennpunkt.

**Chromatische Aberration:**

Die chromatische Aberration (Farbfehler) ist bei Linsen nicht zu vermeiden. Sie ist durch die Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex (Brechzahl) begründet (Dispersion). Dadurch ergeben sich für verschiedene (Spektral-)Farben verschiedene Brennpunkte. In der Abbildung wird dies durch Farbsäume sichtbar. Kombiniert man Linsen, die aus unterschiedlichen Glassorten gefertigt wurden, so kann der Farbfehler korrigiert werden. Diese Linsensysteme (Objektive) bezeichnet man als Achromate.



Hinweis: Prismen-Spektrometer (Aufspaltung des Lichts in seine Spektralfarben) funktionieren dagegen gerade wegen der Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex.

**Dispersion:**

Die Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex eines Materials bezeichnet man als *Dispersion*.

Hinweis: Genaugenommen muss man von der Frequenzabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Medium sprechen. Der Brechungsindex gibt das Verhältnis von Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_0$  zur Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c_M$  im Medium an:  $n_M = c_0 / c_M$ .

**Geometrische Optik:**

Siehe Strahlenoptik.

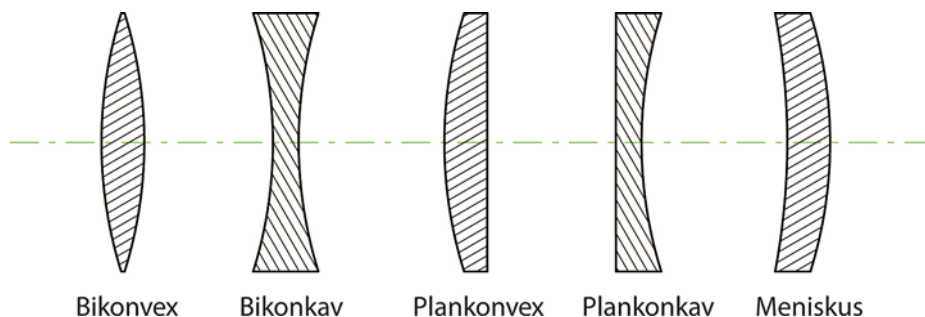
## Licht:

Unter Licht verstehen wir hier den sichtbaren Teil des Spektrums elektromagnetischer Wellen. Er erstreckt sich von etwa 400 nm (blau) bis etwa 700 nm (rot). Bei kürzeren Wellenlängen schließt sich das Ultraviolett an, dann folgen Röntgen- und Gammastrahlung. Längere Wellenlängen haben z.B. Infrarot, Radiowellen und Mikrowellen.

Hinweis: Licht wird dabei im Rahmen des Wellenmodells betrachtet.

## Linsen und Linsenformen:

Linsen sind optische Elemente mit zwei lichtbrechenden Grenzflächen. Mindestens eine der Flächen ist konvex oder konkav gewölbt. Meist sind diese Flächen sphärisch (Kugelflächen), da diese leicht herzustellen sind. Abbildungsfehler können durch asphärische Flächen aber deutlich reduziert werden. Krümmungsradien und Glassorte beeinflussen die Abbildungseigenschaften der Linse. Im unteren Bild sind verschiedene Linsenformen gezeigt.

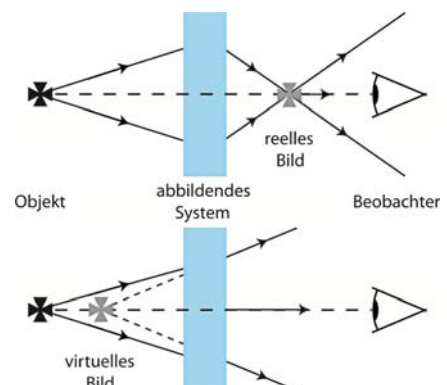


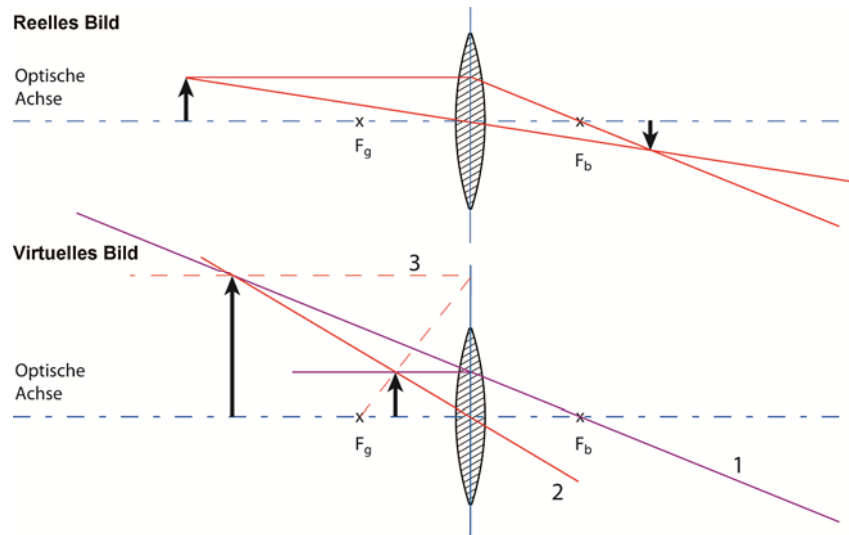
## Modell:

Die Physik beschreibt die Natur mit Hilfe von *Modellen*. Modelle sind i.a. nicht vollständig, d.h. sie beschreiben nicht alle Aspekte eines Phänomens. Das Strahlenmodell der geometrischen Optik und das Wellenmodell der Wellenoptik sind dafür sehr gute Beispiele. Optische Instrumente kann man mit der Strahlenoptik berechnen, Details wie z.B. das Auflösungsvermögen lassen sich erst im Rahmen der Wellenoptik richtig beschreiben. Aber auch die Wellenoptik hat Grenzen sobald es um Absorption und Emission von Licht in der atomaren Beschreibung geht.

## Reelle Bilder:

Gelegentlich findet man die Bezeichnungen *reelles* und *virtuelles Bild*. Einfach gesagt sind reelle Bilder solche, die auf einer Projektionsfläche betrachtet werden können. Im nebenstehenden Bild ist das leicht zu verstehen. Würde man beim virtuellen Bild (unten) eine Projektionsfläche anbringen, so würden die Lichtstrahlen das abbildende optische System (z.B. eine Linse) gar nicht mehr erreichen. Das nächste Bild zeigt, wie bei einer konvexen Linse ein virtuelles Bild dadurch entsteht, dass der Gegenstand innerhalb der gegenstandsseitigen Brennweite positioniert wird.



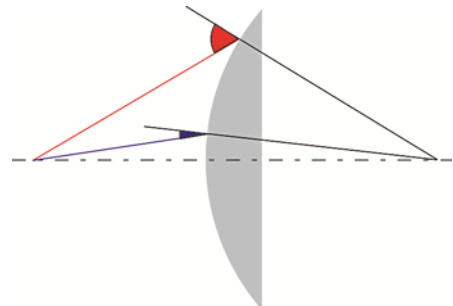


### Strahlenoptik:

Die *Strahlenoptik* oder *geometrische Optik* nutzt das *Strahlenmodell* des Lichts. Der Weg des Lichts wird durch Linien (Strahlen) beschrieben. Diese lassen sich praktisch *nicht* realisieren, sind in diesem Sinn also mathematische Objekte.

In der Strahlenoptik werden zudem nur zwei Gesetze verwendet: das Brechungsgesetz und das Reflexionsgesetz. Zur geometrischen Optik gehört auch das sog. *raytracing*, das z.B. in 3D-Computergrafiken Anwendung findet.

Eine weitere Vereinfachung ist die Beschränkung auf kleine Winkel (Bild). Man spricht von *paraxialer Optik*. In diesem Fall kann die Winkelfunktion Sinus (im Brechungsgesetz) durch den Winkel selbst (im Bogenmaß) ersetzt werden, und es ergeben sich die einfachen Gleichungen zur Beschreibung der Abbildung. Abweichungen von der paraxialen Beschreibung ergeben die monochromatischen Abbildungsfehler, die hier nicht näher betrachtet werden.



### Totalreflexion und Lichtleiter:

Totalreflexion kann beim Übergang vom optisch dichteren ins optisch dünnere Medium auftreten. Da in diesem Fall der Lichtstrahl vom Lot weg gebrochen wird, tritt kein Licht mehr ins dünnere Medium ein, sobald der Brechungswinkel  $90^\circ$  wird. Darauf beruht die Informationsübertragung mittels Lichtleiter.

### Vergrößerung:

Die sog. transversale Vergrößerung heißt auch Abbildungsmaßstab und entspricht dem Verhältnis von Bildgröße zu Gegenstandsgröße (jeweils senkrecht zur optischen Achse). Betrachtet man dagegen den Winkel unter dem ein Gegenstand mit und ohne optischem Instrument erscheint (Sehwinkel), so spricht man von Winkelvergrößerung. Letztere ist z.B. für Teleskope, Mikroskope und Lupen die sinnvolle Angabe.