

Optik

In der Optik werden die vielfältigen Erscheinungen des Lichts und ihr Nutzen in optischen Hilfsmitteln untersucht.

Ausbreitung des Lichts

Als Licht werden elektromagnetische Wellen bezeichnet, die im Empfindlichkeitsbereich des menschlichen Auges liegen. Das für den Menschen sichtbare Licht besitzt eine Wellenlänge von 400 nm (violett) bis 700 nm (rot).

Lichtquellen

Objekte, die selbständig Licht erzeugen und aussenden, heißen selbstleuchtende Objekte oder Lichtquellen

Die meisten Objekte (in der Optik meist „Gegenstände“ genannt) erzeugen selbst kein Licht, sind aber trotzdem sichtbar. Sie werfen einen Teil des auf sie fallenden Lichts zurück. Man nennt sie reflektierende oder beleuchtete Gegenstände.

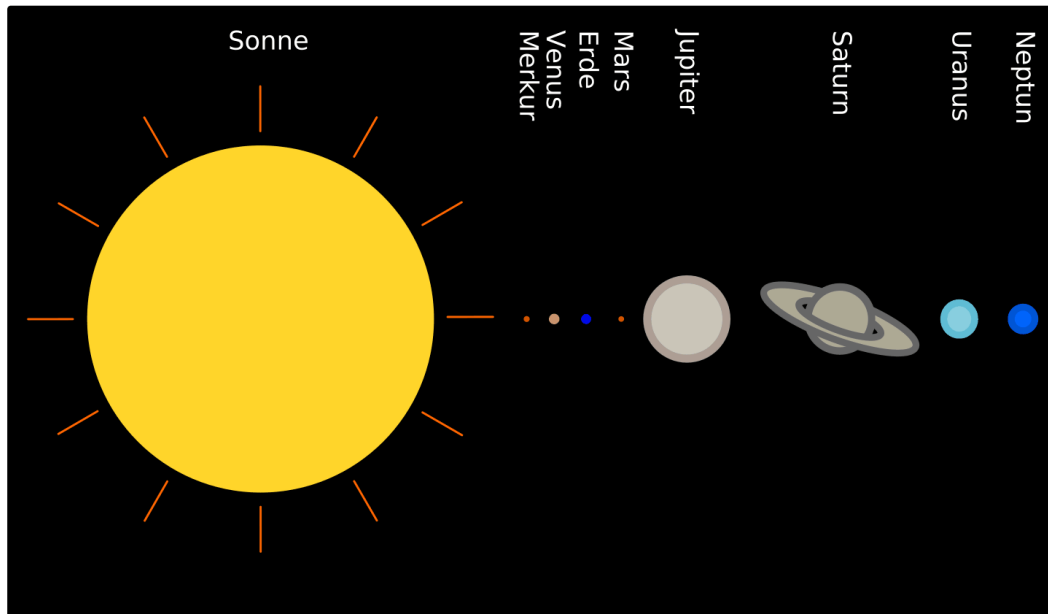
Beispiele:

Selbstleuchtende Objekte:

Sonne, Sterne, Feuer, Glüh- und Leuchtstofflampen, Kerzen, Glühwürmchen, LEDs usw.

Beleuchtete Objekte:

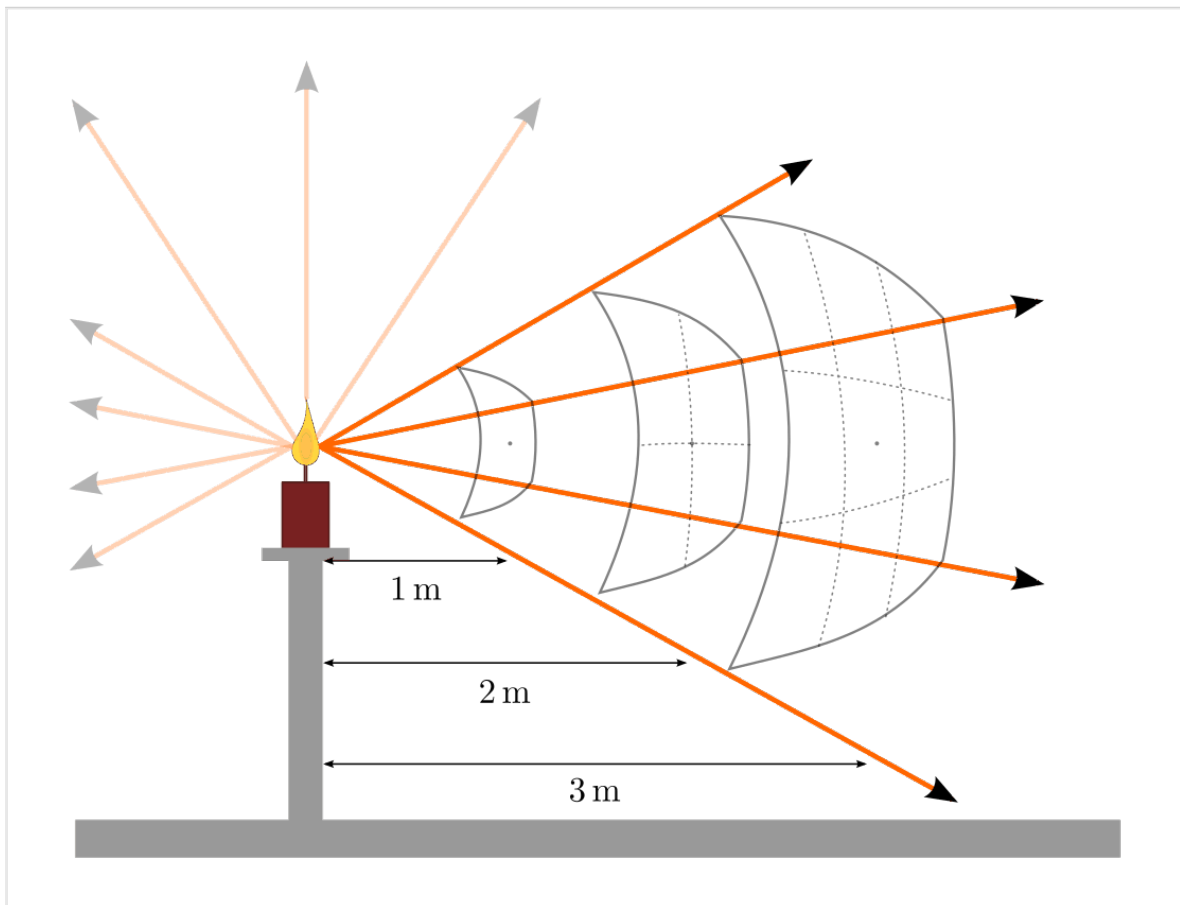
Erde und Mond, Planeten, Gegenstände (Satelliten, Reflektoren, Staubkörnchen usw.)



Um von der Sonne auf die Erde zu gelangen, braucht ein Lichtstrahl rund 8,3 Lichtminuten.

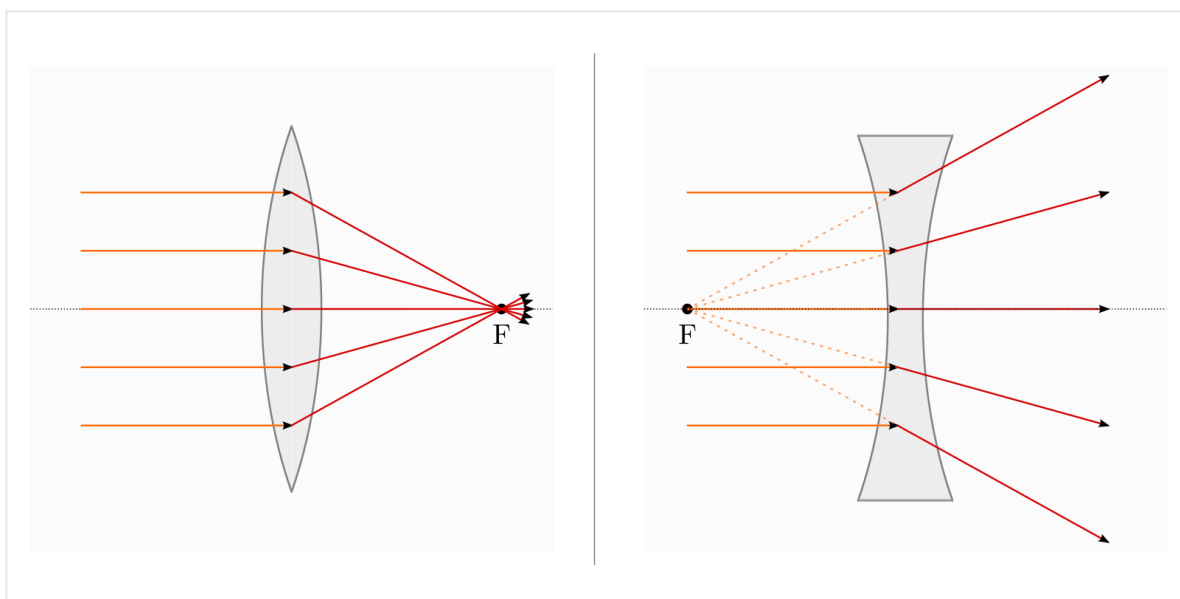
Da sich das Licht gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet, verteilen sich die Lichtstrahlen auf immer größere Flächen. Die Beleuchtungsstärke nimmt in gleichem Maß ab, wie die Oberfläche der mit Licht durchfluteten (Kugel-)Fläche zunimmt.

Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) angegeben.



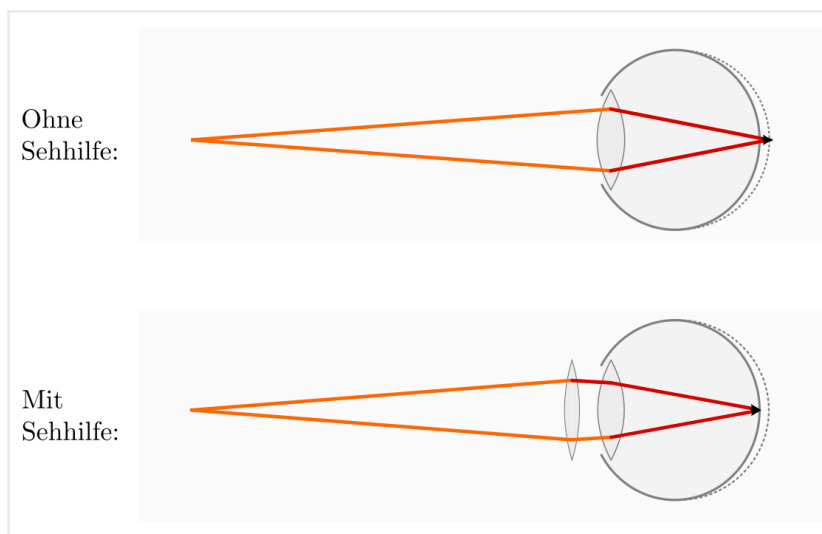
Lichtbrechung

Trifft Licht auf die Grenzfläche zweier Stoffe, so wird es zum Teil reflektiert, zum Teil verändert es an der Grenze beider Stoffe seine Richtung. Senkrecht auftreffendes Licht ändert seine Richtung nicht.



Sammellinse (linkes Bild) und Zerstreuungslinse (rechtes Bild) als typische Formen optischer Linsen.

- Bei der Weitsichtigkeit ist der Augapfel „zu klein“, das von der Augenlinse erzeugte Bild liegt also hinter der Netzhaut. In diesem Fall kann eine geeignete Sammellinse Abhilfe schaffen, welche die Brechkraft des sich ergebenden Linsensystems erhöht beziehungsweise seine Brennweite reduziert.



- Bei der Kurzsichtigkeit ist der Augapfel „zu groß“, das von der Augenlinse erzeugte Bild liegt also vor der Netzhaut. In diesem Fall kann eine geeignete Zerstreuungslinse Abhilfe schaffen, welche die Brechkraft des sich ergebenden Linsensystems herab- setzt beziehungsweise seine Brennweite erhöht.

—————>

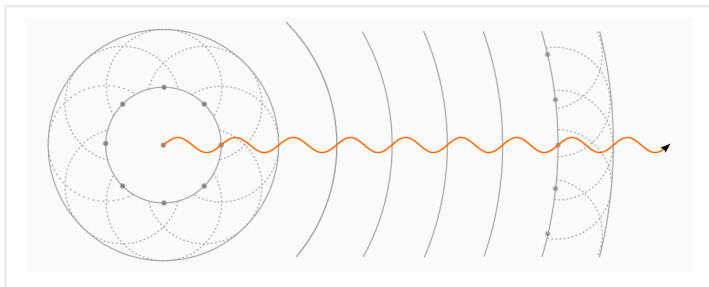
Wellenoptik

Lichtbeugung und Interferenz

Wird Licht durch die Öffnung einer Blende so begrenzt, dass nur ein schmales Lichtbündel die Blende passieren kann, so dürfte gemäß der Strahlenoptik kein Licht außerhalb dieses Bündels auftreten.

Das Huygensche Prinzip

Jeder Punkt einer Wellenfront stellt selbst wiederum einen Ausgangspunkt für eine neue, kreisförmig in alle Richtungen verlaufende Welle dar. Die einzelnen Wellen überlagern sich dabei zur nächsten Wellenfront.



Lichtwelle und Wellenfronten nach dem Huygenschen Prinzip der Elementarwellen.

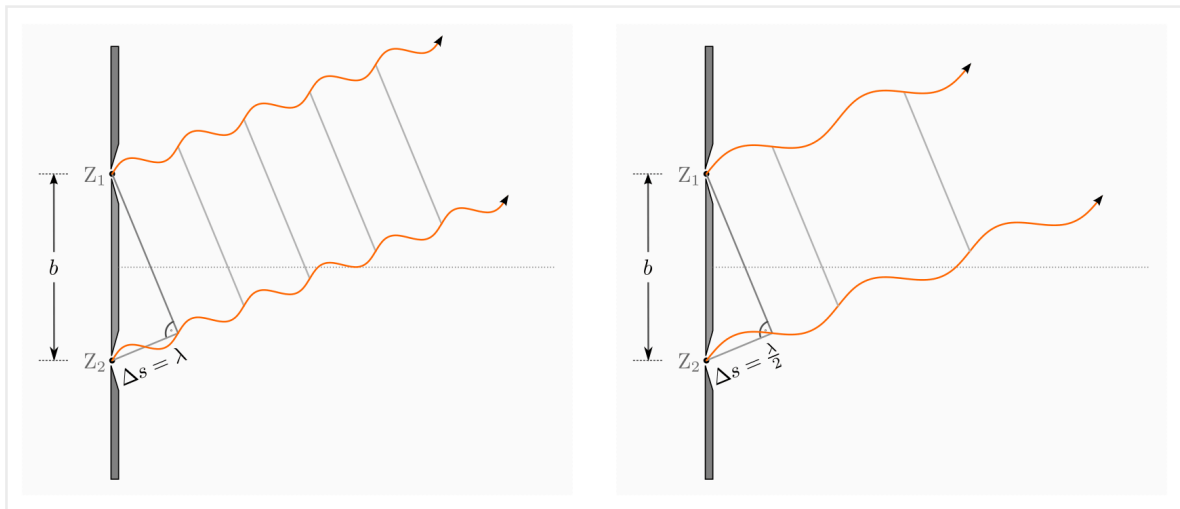
Das Huygensche Prinzip kann also als eine Art geometrische Konstruktionshilfe aufgefasst werden, die beispielsweise zum Zeichnen der Ausbreitung einer Welle genutzt werden kann. Ist eine gleichmäßig verlaufende Welle weit vom ursprünglichen Erregerzentrum entfernt, so verlaufen die Wellenfronten beziehungsweise die Ausbreitungsrichtungen nahezu geradlinig und parallel.

Beugung und Interferenz an einem Doppelspalt

Hat eine Blende zwei schmale, im Abstand sD voneinander entfernte Öffnungen, so teilt sich eine einfallende Lichtwelle hinter der Blende in zwei kreisförmige, von den beiden Öffnungen aus verlaufende Wellen auf. Diese Wellen überlagern sich, so dass es an bestimmten Stellen zu konstruktiver, an anderen Stellen zu destruktiver Interferenz kommt.

Um dieses Interferenzmuster erklären zu können, muss die Phasenlage der beiden vom Spalt ausgehenden Lichtwellen betrachtet werden. „Gangunterschied“ Δs aufweisen. Damit ist gemeint, dass eine der beiden Wellen zu Beginn ihrer Ausbreitung eine um Δs längere Wegstrecke zurücklegen muss.

$$\Delta s = k \cdot \lambda$$



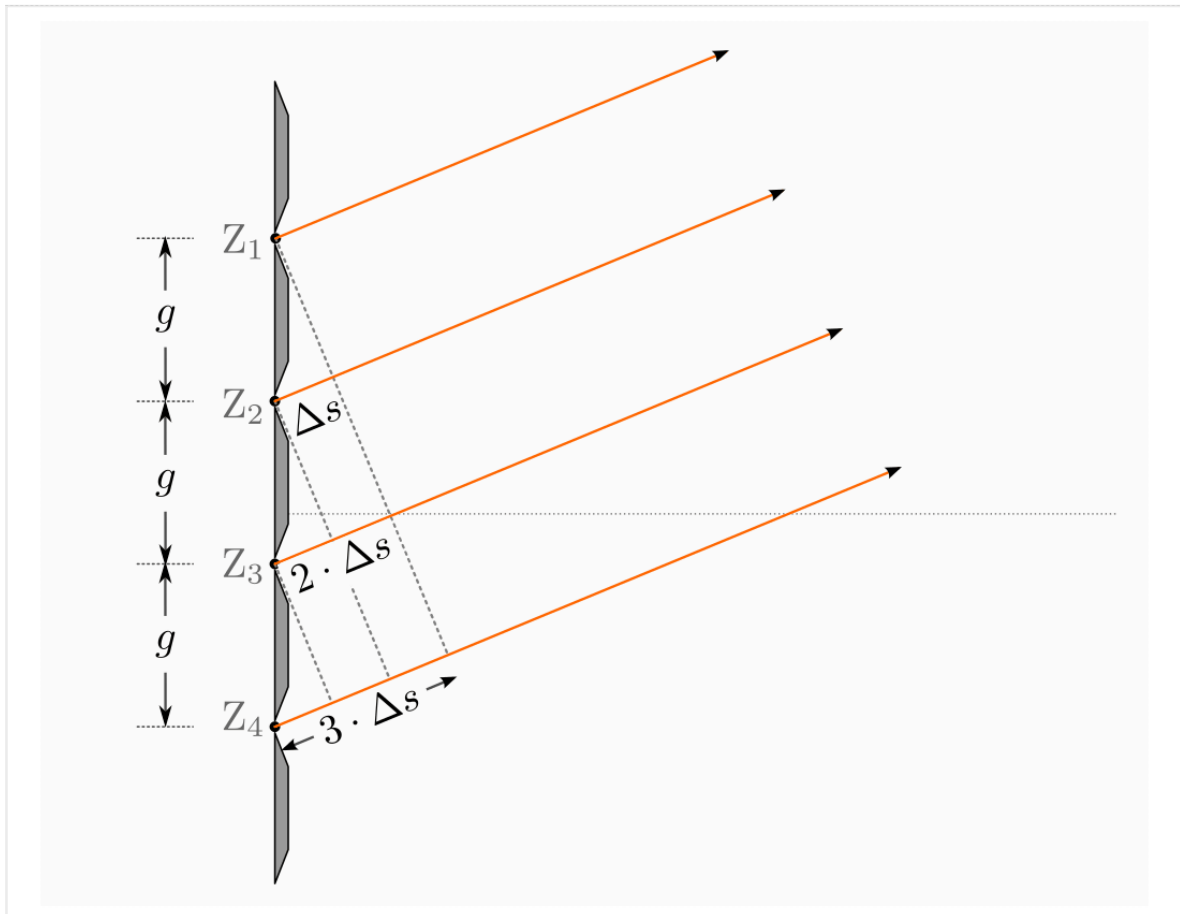
Entlang der Mittellinie tritt (für beliebige Wellenlängen) an allen Stellen konstruktive Interferenz ein, da alle Punkte auf dieser Linie von beiden Spaltöffnungen gleich weit entfernt sind, der Gangunterschied für beide Wellen somit gleich Null ist. Das zugehörige Helligkeitsmaximum wird auch als „nulltes Maximum“ bezeichnet, da es dem Gangunterschied $\Delta s = 0 \cdot \lambda$ entspricht.

Da der Winkel α bei fast allen Doppelspalt-Versuchen sehr klein ist ($\alpha < 5^\circ$), kann in sehr guter Näherung folgende Kleinwinkelnäherung verwendet werden:

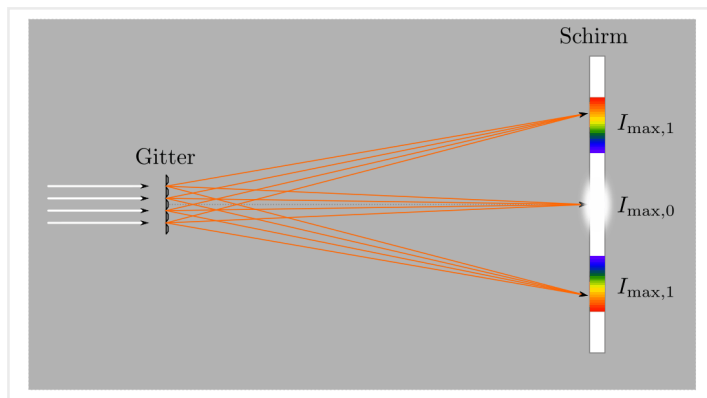
$$\sin(\alpha) = \tan(\alpha)$$

Beugung und Interferenz an einem Gitter

In der Praxis verwendet man anstelle eines Doppelspalts üblicherweise ein optisches Gitter. Ein solches besteht aus sehr vielen spaltartige Öffnungen, die regelmäßig im geringem Abstand voneinander angeordnet sind. Gute optische Gitter können etwa eine Anzahl von $N = 1000$ Spalten je Millimeter aufweisen

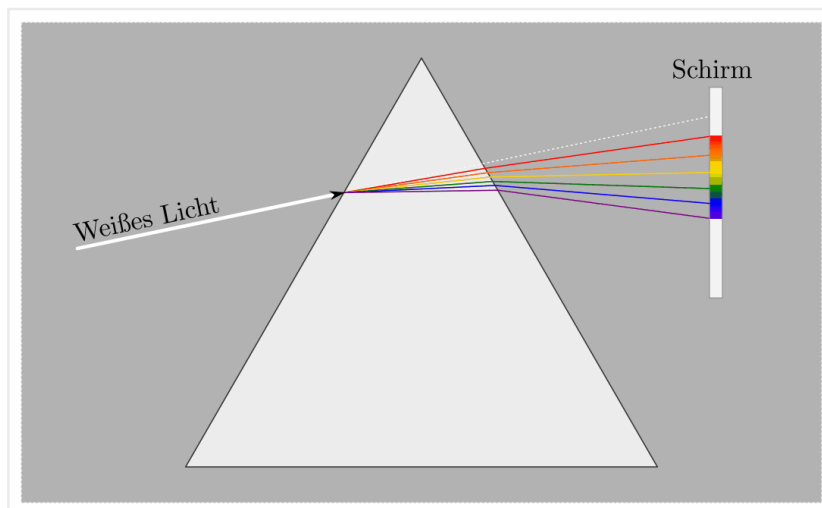


Verwendet man für Interferenzversuche an einem optischen Gitter kein Laserlicht, sondern ein anderes monochromatisches Licht, so muss das auf das Gitter einfallende Lichtstrahl zuvor durch einen einzelnen dünnen Spalt (eine schmale Blende) begrenzt werden. Die Spaltöffnung wirkt in diesem Fall in guter Näherung wie eine einzige punktförmige Lichtquelle, so dass die einzelnen Lichtwellen hinter dem Spalt eine (nahezu) konstante Phasenlage zueinander aufweisen, und somit einzelne Wellen gleicher Wellenlänge jeweils kohärent sind. Bei der Verwendung von Lasern kann die spaltartige Blende vor dem Gitter weggelassen werden, da Laser aufgrund ihres besonderen Aufbaus bereits von sich aus kohärentes Licht erzeugen.



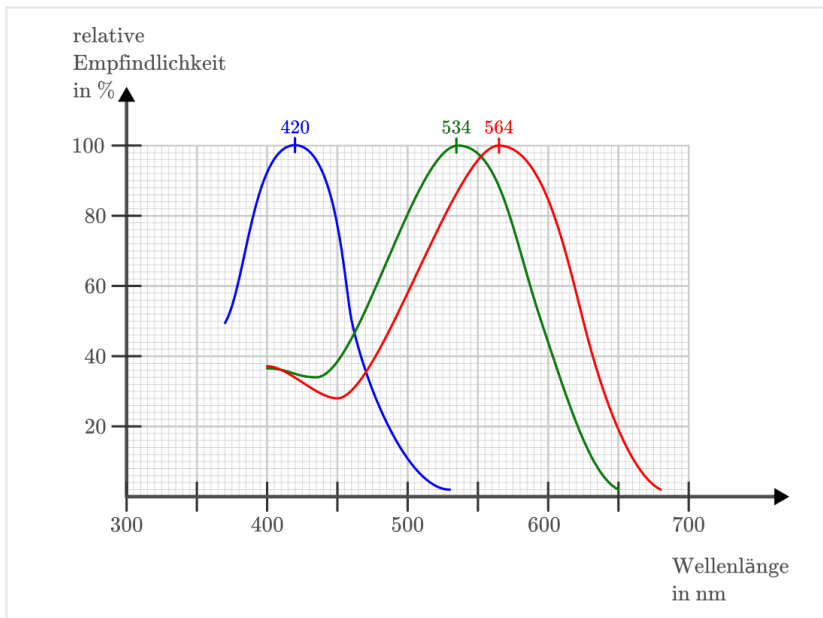
Lichtdispersion

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in einem optischen Medium ist nicht nur von dessen Brechungsindex, sondern auch von der Lichtfrequenz abhängig. Die unterschiedlichen Spektralanteile werden dadurch beispielsweise beim Durchgang durch ein Prisma unterschiedlich stark gebrochen, so dass sich mittels eines Prismas weißes Licht in seine Farbanteile aufteilen lässt



- Bei einem „ref:Prismen-Spektrometer <Spektrometer>“ werden die Lichtanteile des Spektrums anhand einer Skala mit den Lichtanteilen bekannter Lichtquellen verglichen. Eine vergleichsweise einfache Kalibrierung wie bei einem optischen Gitter ist jedoch nicht möglich, da die Dispersion nicht linear mit der Lichtfrequenz bzw. der Wellenlänge zusammenhängt.

Photometrie



Jede derartige Sinneszelle hat ihre maximale Empfindlichkeit bei einer bestimmten Wellenlänge, bei größeren oder kleineren Wellenlängen nimmt die Empfindlichkeit stetig ab. Insgesamt umfasst der menschliche Farbwahrnehmungsbereich ein Wellenlängen-Spektrum von ca. 380 nm bis 680 nm.

Lichttechnische Einheiten

In der Optik sind insgesamt acht lichttechnische Einheiten üblich. Aus historischen Gründen wird nach wie vor das Candela als Lichtstärke einer gewöhnlichen Kerze als Standard-Größe verwendet,

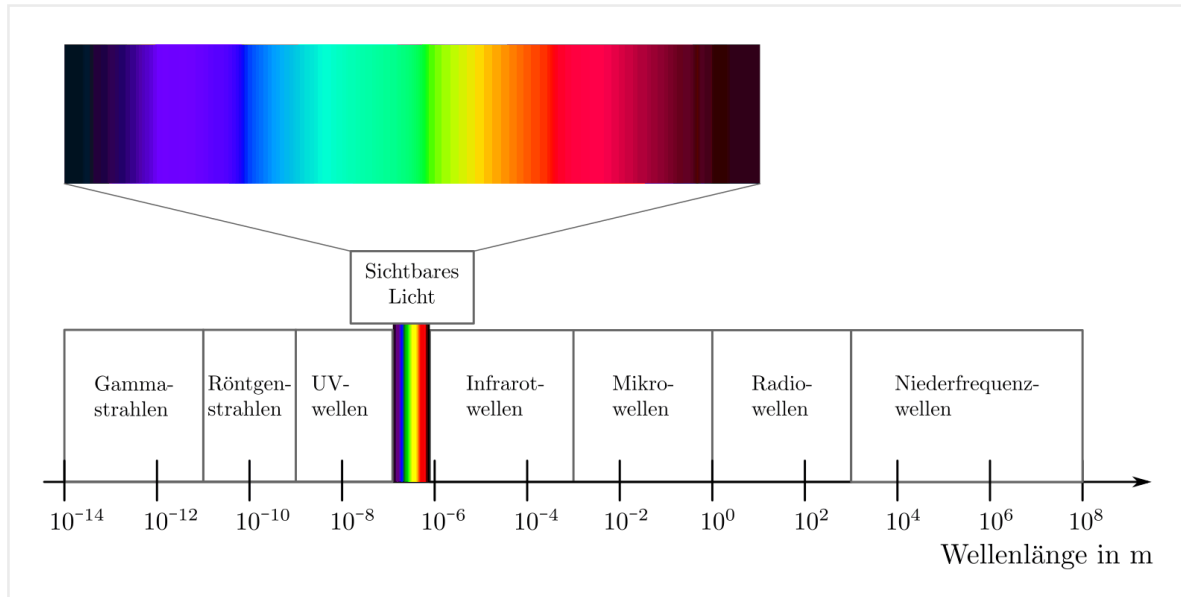
Leistung einer Lichtquelle, gemessen in Watt,

Die Einheit des Lichtstroms ist Lumen (lm).

- Die Einheit der Lichtstärke ist die SI-Basiseinheit Candela (cd).
- Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux (lx). Es gilt:

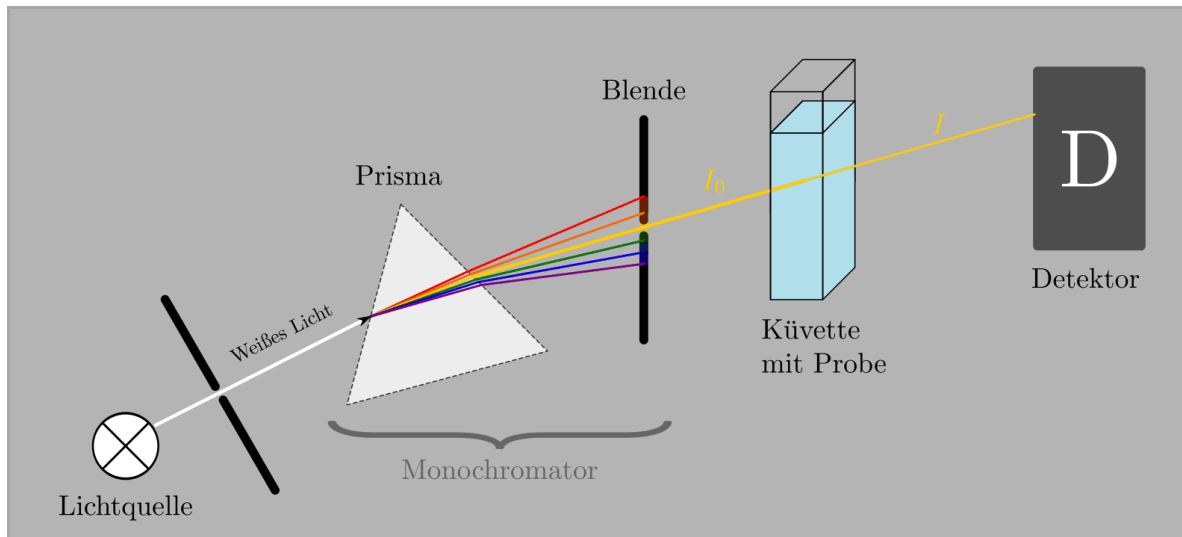
- Funktionsprinzip von Spektrometern

Das, was man üblicherweise als (farbiges) „Licht“ bezeichnet, ist nur ein kleiner Teil des Spektrums elektromagnetischer Strahlung. In der folgenden Abbildung ist dies schematisch dargestellt.



Mittels einer fein eingestellten Blende kann man damit gezielt Licht mit einer bestimmten Wellenlänge aus dem Spektrum auswählen.

Man erhält somit eine einfarbige („monochromatische“) Lichtquelle, allerdings mit einstellbarer Wellenlänge. Strahlt man nun mit einer derartigen Lichtquelle auf eine Material-Probe (welche oftmals in gelöster Form vorliegt und daher in eine Glas-Küvette gegeben wird), so wird das Licht von dieser je nach Substanz der Probe unterschiedlich stark absorbiert. Misst man die Absorption der Probe bei verschiedenen Wellenlängen, so erhält man ein für die jeweilige Substanz charakteristisches Bild, also quasi einen „Fingerabdruck“ der Probe.



Das Lambert-Beersche Gesetz

Mit einem Spektrometer wird gemessen, wie stark Licht bei einer genau festgelegten Wellenlänge beim Durchgang durch eine mit einer flüssigen Probe gefüllten Küvette geschwächt wird. Beim Durchgang durch die Lösung wird das Licht exponentiell geschwächt, denn die in einer bestimmten „Schichttiefe“ absorbierte Lichtmenge ist proportional zur dort vorhandenen Lichtmenge.