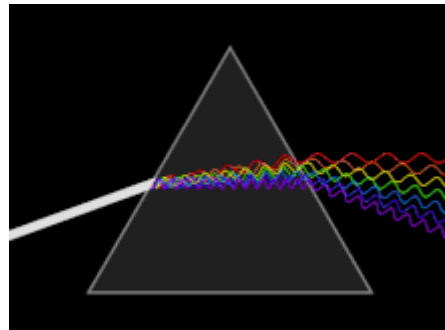


# Licht

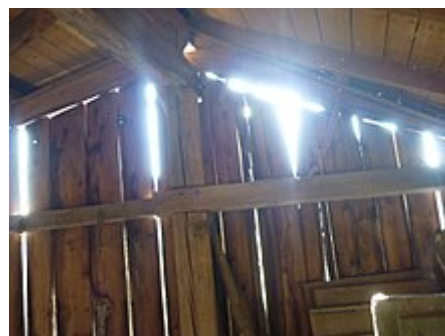
**Licht** ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung. Im engeren Sinne sind nur die für das menschliche Auge sichtbaren Anteile des gesamten elektromagnetischen Spektrums gemeint. Im weiteren Sinne werden auch elektromagnetische Wellen kürzerer Wellenlänge (Ultraviolett) und größerer Wellenlänge (Infrarot) dazu gezählt.

Die physikalischen Eigenschaften des Lichts werden durch verschiedene Modelle beschrieben: In der Strahlenoptik wird die geradlinige Ausbreitung des Lichts durch „Lichtstrahlen“ veranschaulicht; in der Wellenoptik wird die Wellennatur des Lichts betont, wodurch auch Beugungs- und Interferenzerscheinungen erklärt werden können. In der Quantenphysik schließlich wird das Licht als ein Strom von Quantenobjekten, den Photonen (veranschaulichend auch „Lichtteilchen“ genannt), beschrieben. Eine vollständige Beschreibung des Lichts bietet die Quantenelektrodynamik. Im Vakuum breitet sich Licht mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit von 299.792.458 m/s aus. Trifft Licht auf Materie, so kann es gestreut, reflektiert, gebrochen und verlangsamt oder absorbiert werden.

Licht ist der für das menschliche Auge adäquate Sinnesreiz. Dabei wird die Intensität des Lichts als Helligkeit wahrgenommen, die spektrale Zusammensetzung als Farbe.<sup>[1]</sup>



Weißes Licht wird durch ein dreieckiges Dispersionsprisma in seine Spektralfarben aufgeteilt, die verschieden stark gebrochen werden



Durch die Latten einer Scheune einfallendes Sonnenlicht

## Inhaltsverzeichnis

### Geschichte

### Wissenschaft

#### Physik

Licht als elektromagnetische Welle

Strahlenoptik

Reflexion

Brechung

Wellenoptik

Photonen

Wechselwirkung mit Materie

Lichtquellen

Lichtempfänger

#### Biologie

Licht als Ökofaktor

## Licht als Sinnesreiz

### Chemie

### Größen und Einheiten

## Licht in Gesellschaft und Religion

### Tag des Lichts

## Licht aus Sicht des deutschen Gesetzgebers

### Literatur

### Weblinks

### Videos

### Einzelnachweise

## Geschichte

---



Verschiedenfarbige Laser

Bis weit in die Neuzeit hinein war weitgehend unklar, was Licht tatsächlich ist. Man glaubte teilweise, dass die Helligkeit den Raum ohne Zeitverzögerung ausfüllt. Pythagoras und Euklid waren der Auffassung, dass „heiße Sehstrahlen“ von den Augen ausgehen und von anderen Objekten zurückgedrängt werden.<sup>[2][3]</sup> Würde dies stimmen, müsste der Mensch auch im Dunklen sehen können.<sup>[4]</sup> Es gab jedoch auch schon seit der Antike Vorstellungen, nach denen das Licht von der Lichtquelle mit endlicher Geschwindigkeit ausgesendet wird.

Galileo Galilei versuchte als einer der ersten, die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ernsthaft zu messen, jedoch ohne Erfolg. Dafür waren die ihm zur Verfügung stehenden Mittel viel zu grob. Dies gelang erst Ole Rømer anhand von Beobachtungsdaten der Jupitermonde 1675, insbesondere des Mondes Io. Zwar betrug die Abweichung seines Messwerts (ca.  $2,1 \cdot 10^8$  m/s) vom tatsächlichen Wert rund 30 %, die eigentliche Leistung Rømers bestand jedoch darin, nachzuweisen, dass sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet.<sup>[5]</sup> Rømers Messwert wurde im Laufe der folgenden 200 Jahre durch immer raffiniertere Verfahren (vor allem durch Hippolyte Fizeau und Léon Foucault) mehr und mehr präzisiert. Die Natur des Lichts blieb jedoch weiter ungeklärt. Im 17. Jahrhundert versuchte Isaac Newton mit seiner Korpuskeltheorie, die Ausbreitung des Lichts durch die Bewegung von kleinen Teilchen zu erklären.<sup>[6]</sup> Damit konnte man zwar die Reflexion verstehen, nicht jedoch manche andere optische Phänomene, wie die Beugung, bei der es sich eindeutig um ein Wellenphänomen handelt. Zur gleichen Zeit begründeten Christiaan Huygens und andere die Wellentheorie des Lichts,<sup>[7]</sup> die sich aber erst Anfang des 19. Jahrhunderts nach den Doppelspaltexperimenten von Thomas Young zunehmend durchsetzte.<sup>[8]</sup>

Michael Faraday erbrachte 1846 als erster den Nachweis, dass Licht und Magnetismus zwei miteinander verbundene physikalische Phänomene sind. Er veröffentlichte den von ihm gefundenen magnetooptischen Effekt, der heute als Faraday-Effekt<sup>[9]</sup> bezeichnet wird, unter dem Titel *Über die Magnetisierung des Lichts und die Belichtung der Magnetkraftlinien*.<sup>[10]</sup>

James Clerk Maxwell formulierte 1864 die noch heute gültigen Grundgleichungen der Elektrodynamik und erkannte, dass dadurch die Existenz freier elektromagnetischer Wellen vorhergesagt wurde. Da deren vorhergesagte Ausbreitungsgeschwindigkeit mit der bekannten Lichtgeschwindigkeit übereinstimmte,

schloss er, dass das Licht wohl eine elektromagnetische Welle sei.<sup>[11]</sup> Er vermutete (wie damals nahezu alle Physiker), dass diese Welle nicht im leeren Raum existieren könne, sondern ein Ausbreitungsmedium brauche. Dieses Medium, das das gesamte Weltall ausfüllen müsste, wurde als Äther bezeichnet.<sup>[12]</sup>

Mit der darauf aufbauenden *elektromagnetischen Lichttheorie* schienen im ausgehenden 19. Jahrhundert beinahe alle Fragen zum Licht geklärt. Allerdings ließ sich einerseits der postulierte Äther nicht nachweisen (siehe Michelson-Morley-Experiment), was letztendlich das Tor zur speziellen Relativitätstheorie aufstieß. Andererseits schien unter anderem der Photoeffekt der Wellennatur des Lichts zu widersprechen. So entstand eine radikal neue Sichtweise des Lichts, die durch die Quantenhypothese von Max Planck und Albert Einstein begründet wurde. Kernpunkt dieser Hypothese ist der Welle-Teilchen-Dualismus, der das Licht nun nicht mehr ausschließlich als Welle oder ausschließlich als Teilchen beschreibt, sondern als Quantenobjekt.<sup>[13]</sup> Als solches vereint es Eigenschaften von Welle und von Teilchen, ohne das eine oder das andere zu sein und entzieht sich somit unserer konkreten Anschauung. Daraus entstand Anfang des 20. Jahrhunderts die Quantenphysik und später die Quantenelektrodynamik, die bis heute unser Verständnis von der Natur des Lichts darstellt.<sup>[14]</sup>

## Wissenschaft

---

### Physik

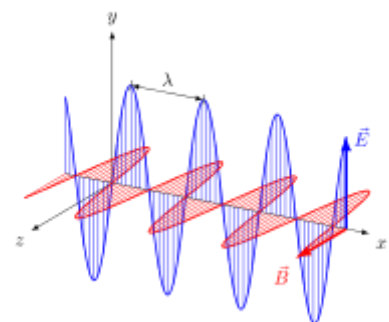
Im Folgenden werden die wichtigsten Modelle zur Beschreibung des Lichts vorgestellt. Wie alle Modelle in der Physik sind auch die hier aufgeführten in ihrem Geltungsbereich beschränkt. Eine nach unserem heutigen Wissen vollständige Beschreibung des Phänomens „Licht“ kann nur die Quantenelektrodynamik liefern.

#### Licht als elektromagnetische Welle

→ Hauptartikel: Elektromagnetische Welle

In der klassischen Elektrodynamik wird Licht als eine hochfrequente elektromagnetische Welle aufgefasst. Im engeren Sinne ist „Licht“ nur der für das menschliche Auge sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums – das **sichtbare Licht** – also Wellenlängen zwischen ca. 380 und 780 nm. Dies entspricht Frequenzen von ca. 385 bis 790 THz. Es ist eine Transversalwelle, wobei die Amplitude durch den Vektor des elektrischen Feldes oder des Magnetfeldes gegeben ist. Die Ausbreitungsrichtung verläuft senkrecht dazu. Die Richtung des  $\vec{E}$ -Feld-Vektors oder  $\vec{B}$ -Feld-Vektors wird Polarisationsrichtung genannt. Bei unpolarisiertem Licht setzt sich das Strahlungsfeld aus Wellen aller Polarisationsrichtungen zusammen. Wie alle elektromagnetischen Wellen breitet sich auch sichtbares Licht im Vakuum mit der Lichtgeschwindigkeit von  $c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  aus.

Die Wellengleichung dieser elektromagnetischen Welle kann aus den Maxwell-Gleichungen hergeleitet werden. Daraus ergibt sich ein einfacher Zusammenhang zwischen der Lichtgeschwindigkeit, der magnetischen Feldkonstante  $\mu_0$  und der elektrischen Feldkonstante  $\epsilon_0$ :



Linear polarisierte elektromagnetische Welle im Vakuum. Die monochromatische Welle mit Wellenlänge  $\lambda$  breitet sich in x-Richtung aus, die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  (in blau) und die magnetische Flussdichte  $\vec{B}$  (in rot) stehen zueinander und zur Ausbreitungsrichtung im rechten Winkel.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

im Vakuum,

$$c_{\text{Medium}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r}}$$

im Medium.

Offensichtlich hängt die Lichtgeschwindigkeit – genauer: die Phasengeschwindigkeit des Lichts – in Medien von deren Materialeigenschaften ab. Diese können im Brechungsindex  $n$  zusammengefasst werden. Im Allgemeinen ist er frequenzabhängig, was als Dispersion bezeichnet wird. Darauf beruht unter anderem die Fähigkeit eines Prismas, das Licht in seine spektralen Anteile zu zerlegen. Kurzwelliges blaues Licht ( $< 450 \text{ nm}$ ) wird bei normaler Dispersion stärker gebrochen als langwelliges rotes Licht ( $> 600 \text{ nm}$ ).

## Strahlenoptik

→ *Hauptartikel: Geometrische Optik*

Die Strahlenoptik (auch geometrische Optik) macht sich die Näherung zunutze, dass die Ausbreitung des Lichts durch gerade „Strahlen“ veranschaulicht werden kann. Diese Näherung ist vor allem dann gerechtfertigt, wenn die Abmessungen der Versuchsanordnung groß gegenüber der Wellenlänge des Lichts sind. Dann können sämtliche Beugungsphänomene vernachlässigt werden. Das Bindeglied zwischen Wellenoptik und Strahlenoptik ist der Wellenvektor, dessen Richtung mit der Richtung des Lichtstrahls übereinstimmt. Die Strahlenoptik ist besonders gut geeignet, Phänomene wie Licht und Schatten, Reflexion oder Brechung zu beschreiben. Daher kann mit ihr die Funktion vieler optischer Geräte (Lochkamera, Lupe, Teleskop, Mikroskop) erklärt werden. Insbesondere sind die Abbildungsgesetze auch die Grundlage für das Verständnis des Brechapparats im menschlichen Auge.

## Prinzipien von Strahlen

- Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus und ändern ihre Richtung nur dann, wenn sie auf einen Körper treffen (durch Reflexion, Brechung oder Streuung), unberücksichtigt der in der Astronomie beobachteten Ablenkung des Lichts durch schwere Massen (Gravitationslinseneffekt).
- Lichtstrahlen können einander durchdringen, ohne sich gegenseitig dabei zu beeinflussen.
- Der Lichtweg ist umkehrbar. Das bedeutet, dass jeder Strahlengang auch dann allen optischen Gesetzen genügen würde, wenn man die Ausbreitungsrichtung des Lichts umkehren würde.

## Reflexion

Von spiegelnden Oberflächen (blankes Metall, Wasseroberfläche) wird Licht nach dem Reflexionsgesetz reflektiert. Der einfallende und der ausfallende Strahl sowie das Lot auf der reflektierenden Fläche liegen in einer Ebene. Einfallswinkel und Ausfallswinkel sind einander gleich. Das Verhältnis der reflektierten

Lichtintensität zur einfallenden Lichtintensität wird als Reflexionsgrad bezeichnet und ist material- und wellenlängenabhängig. Der Reflexionsgrad gibt an, wie viel Prozent des auf eine Fläche fallenden Lichtstroms reflektiert werden.<sup>[15]</sup>

## Brechung

Licht wird an der Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher optischer Dichte gebrochen, d. h., ein Strahl ändert an dieser Grenzfläche seine Richtung. (Der Vollständigkeit halber sei gesagt, dass an einer solchen Grenzfläche stets auch die Reflexion mehr oder weniger stark auftritt.) Das Brechungsgesetz von Snellius besagt:

Der einfallende und der gebrochene Strahl sowie das Lot auf der Grenzfläche liegen in einer Ebene. Dabei ist der Winkel zwischen Lot und Lichtstrahl in dem Medium kleiner, das den höheren Brechungsindex hat.

Die genauen Winkel  $\delta_i$  können durch die Brechungsindizes  $n_i$  der beteiligten Medien berechnet werden:

$$n_1 \sin(\delta_1) = n_2 \sin(\delta_2).$$

Wenn der einfallende Strahl aus dem optisch dichteren Medium unter einem flachen Winkel auf die Grenzfläche trifft, gibt es keinen reellen Winkel für den gebrochenen Strahl, der diese Bedingung erfüllt. In diesem Fall tritt statt der Brechung eine Totalreflexion auf.

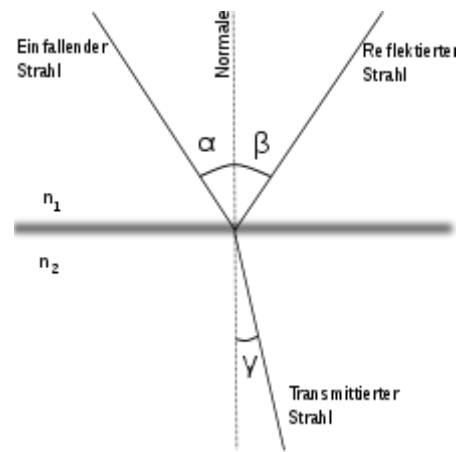
## Wellenoptik

→ Hauptartikel: Wellenoptik

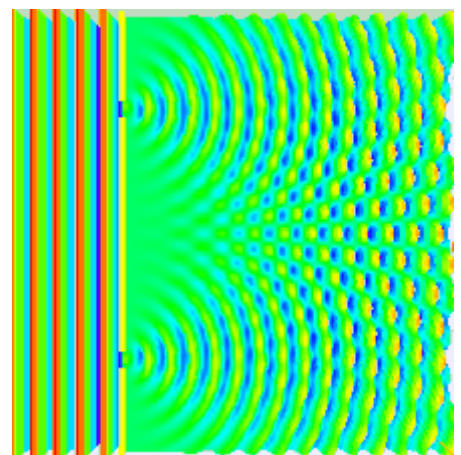
Der Wellenoptik liegt das Prinzip von Huygens und Fresnel zugrunde.

Jeder Punkt einer Wellenfront ist der Ausgangspunkt einer Elementarwelle. Eine Wellenfront ergibt sich als Überlagerung dieser Elementarwellen.

Mit *Elementarwelle* ist in diesem Zusammenhang eine Kugelwelle gemeint, die von einem bestimmten Punkt ausgeht. *Wellenfronten* sind die Flächen gleicher Phase. Der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Wellenfronten ist somit die Wellenlänge. Die Wellenfronten einer ebenen Welle sind also Ebenen, die Wellenfronten von Elementarwellen sind konzentrische Kugelflächen. Die Ausbreitungsrichtung (also die Richtung des Wellenvektors) bildet stets eine Normale zur Wellenfront. Mit der Wellenoptik lassen sich alle Phänomene der Beugung und Interferenz verstehen. Sie eignet sich aber auch, das Reflexions- und das Brechungsgesetz herzuleiten. Die Wellenoptik widerspricht also nicht der Strahlenoptik, sondern erweitert und vertieft diese.



Reflexion und Brechung an der Grenzfläche zweier transparenter Medien unterschiedlicher optischer Dichte



Beugung einer ebenen Welle an einem Doppelspalt: Von den beiden Spalten geht je eine Elementarwelle aus, die beide zu dem typischen Beugungsmuster eines Doppelspalts interferieren.

Historisch nimmt die Wellenoptik von Huygens und Fresnel schon eine wesentliche Erkenntnis der Elektrodynamik vorweg: Lichtwellen sind elektromagnetische Wellen.

## Photonen

→ Hauptartikel: Photon

In der Quantenphysik wird Licht nicht mehr als klassische Welle, sondern als Quantenobjekt aufgefasst. Demnach setzt sich das Licht aus einzelnen diskreten Energiequanten zusammen, den sogenannten Photonen. Ein Photon ist ein Elementarteilchen, genauer ein elementares Boson mit einer Masse von 0, das sich stets mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegt.

Es trägt eine Energie von

$$E = h\nu$$

Dabei ist  $\nu$  die Frequenz des Lichts und  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum mit  $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ .

Das Photon hat einen Impuls von

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts ist.

Ein Photon wird entweder als Ganzes absorbiert und emittiert oder gar nicht. Es ist also „zählbar“ wie ein Teilchen. Trotzdem bleibt alles, was hier bisher über die Welleneigenschaften des Lichts gesagt wurde, gültig. Dieses merkwürdige Verhalten der Photonen, das jedoch auch alle anderen Quantenobjekte zeigen, wurde mit dem Schlagwort „Welle-Teilchen-Dualismus“ bezeichnet: Quantenobjekte sind weder wie klassische Teilchen noch wie klassische Wellen zu verstehen. Je nach Betrachtungsweise zeigen sie Eigenschaften der einen oder der anderen.

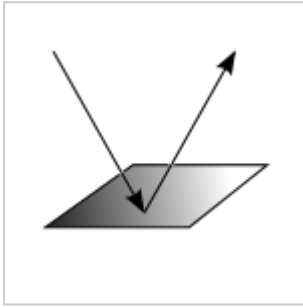
In der heute gängigsten Interpretation der Quantenmechanik (Kopenhagener Deutung) kann man den genauen Ort eines Photons nicht *a priori* vorhersagen. Man kann nur Aussagen über die Wahrscheinlichkeit machen, mit der ein Photon an einer bestimmten Stelle auftreten wird. Diese Wahrscheinlichkeitsdichte ist durch das Betragsquadrat der Amplitude der Lichtwelle gegeben.

Historisch wurde die quantenmechanische Beschreibung des Lichts notwendig, weil sich einige Phänomene mit der rein klassischen Elektrodynamik nicht erklären ließen:

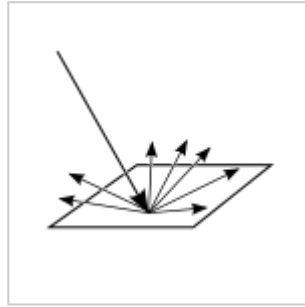
- Stellt man sich eine thermische Lichtquelle (im Idealfall ein Schwarzer Körper) als eine Ansammlungen von vielen atomaren Oszillatoren vor, die mit dem Strahlungsfeld im Gleichgewicht stehen, so würde eine klassische Herleitung zur „UV-Katastrophe“ führen, kurzwellige Strahlung müsste im Spektrum des Schwarzen Körpers viel stärker vertreten sein, als sie es ist. (Rayleigh-Jeans-Gesetz)
- Die klassische Elektrodynamik würde vorhersagen, dass die Energie von Elektronen, die beim Photoeffekt freigesetzt werden, proportional zur Intensität der absorbierten Strahlung ist. Tatsächlich ist sie aber (abgesehen von einem konstanten Summanden) proportional zur Frequenz der Strahlung. Dieser Zusammenhang lässt sich klassisch nicht verstehen.
- Empfindliche Detektoren (beispielsweise Photomultiplier) empfangen bei schwacher Einstrahlung nicht etwa eine konstant gleichmäßig niedrige Intensität, sondern einzelne, sowohl räumlich als auch zeitlich sehr eng begrenzte Signale.

- Das Spektrum von Röntgenbremsstrahlung hat eine kurzwellige Grenze, die direkt mit der Energie der Elektronen zusammenhängt, die für ihre Erzeugung verwendet wurden.

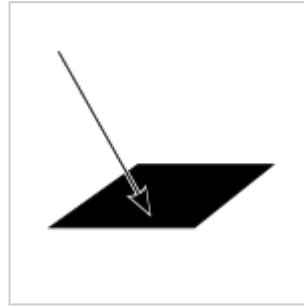
## Wechselwirkung mit Materie



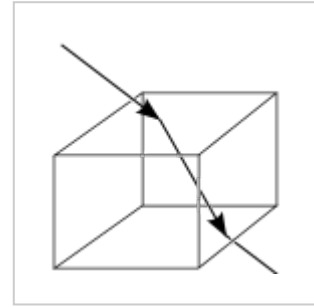
Reflexion



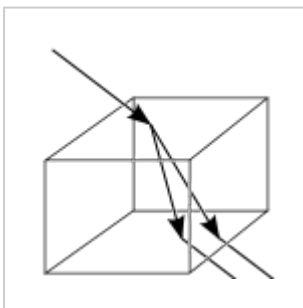
Streuung



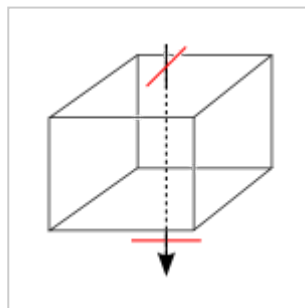
Absorption



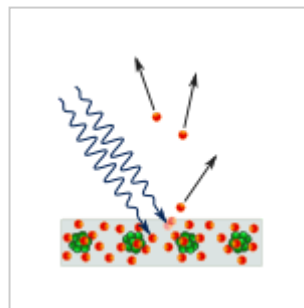
Brechung



Doppelbrechung



Optische Aktivität



Photoeffekt

Neben den schon weiter oben in diesem Artikel beschriebenen Phänomenen

- Brechung
- Reflexion

gibt es noch zahlreiche weitere Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie.

- Absorption: Die Energie des einfallenden Lichts wird von einem Körper verschluckt. Dies kann dazu führen, dass ein Elektron auf ein höheres Energieniveau gehoben wird, dass sich der Körper erwärmt usw. Wenn die Strahlung unabhängig von ihrer Wellenlänge absorbiert wird, erscheint der Körper schwarz. Wird nur ein Teil des Spektrums absorbiert, so bestimmen die übrig gebliebenen Teile des Spektrums die Farbe des Körpers (Subtraktive Farbmischung). Im Falle der elektronischen Anregung kann die Energie auch wieder in Form von Strahlung abgegeben werden. Man spricht von *spontaner* Emission, von Fluoreszenz oder – wenn der Vorgang zeitlich deutlich verzögert erfolgt – von Phosphoreszenz.
- Doppelbrechung: Manche Materialien spalten einen Lichtstrahl in zwei Strahlen unterschiedlicher Polarisierung auf.
- Optische Aktivität: Bestimmte Medien können die Polarisierungsebene von polarisiertem Licht drehen.
- Photoeffekt: Die Photonen lösen Elektronen aus dem bestrahlten Körper.
- Streuung: Das Licht ändert seine Ausbreitung, jedoch nicht wie bei der Reflexion in eine definierte Richtung, sondern diffus in alle möglichen Raumrichtungen. Je nach dem streuenden Körper unterscheidet man zwischen Compton-Streuung (an freien Elektronen),

Rayleigh-Streuung (an gebundenen Elektronen ohne Energieübertrag), Raman-Streuung (an gebundenen Elektronen mit Energieübertrag), Mie-Streuung (an Teilchen, deren Ausdehnung in der Größenordnung der Wellenlänge liegt).

## Lichtquellen

Prinzipiell unterscheidet man zwischen *thermischen* und *nicht-thermischen* Strahlern. Erstere beziehen die Energie für die Strahlungsemission aus der thermischen Bewegung ihrer Teilchen. Beispiele sind Kerzenflammen, glühende Körper (Glühdraht einer Glühlampe) und die Sonne. Das Spektrum eines thermischen Strahlers ist kontinuierlich, d. h., es treten alle Wellenlängen auf, wobei die spektralen Anteile nach dem Planckschen Strahlungsgesetz ausschließlich von der Temperatur abhängen, jedoch, abgesehen vom spektralen Emissionsgrad, nicht vom Material des Strahlers.



Kontinuierliches Spektrum



Linienpektrum (hier:  
Emissionsspektrum von  
Wasserstoff)

Im Gegensatz dazu haben nicht-thermische Lichtquellen kein kontinuierliches Spektrum, sondern ein Linien- oder ein Bandenspektrum. Das bedeutet, dass nur ganz bestimmte Wellenlängen abgestrahlt werden. Linienspektren treten bei Gasentladungsröhren auf, Bandenspektren bei Leuchtdioden, Polarlichtern oder Leuchtkäfern. Die Energiequellen für die Strahlung sind hier elektrischer Strom, Teilchenstrahlung oder chemische Reaktionen. Linienspektren sind oft charakteristisch für bestimmte Stoffe.

Eine Sonderstellung unter den Lichtquellen nimmt der Laser ein. Laserlicht ist nahezu *monochromatisch* (es besteht fast nur aus einer Wellenlänge), mehr oder weniger *kohärent* (es besteht eine feste Phasenbeziehung zwischen mehreren Wellenzügen) und oft *polarisiert*.

Die Tscherenkow-Strahlung entsteht durch die Bewegung von geladenen Teilchen durch ein durchsichtiges Dielektrikum, wenn die Teilchengeschwindigkeit höher als die Lichtgeschwindigkeit im Dielektrikum ist. Sie ist das Analogon zum Überschallknall und kann zum Beispiel in Schwimmbadreaktoren und Abklingbecken von Kernkraftwerken beobachtet werden.

## Lichtempfänger

- Der intakte Sehsinn ist der einfachste Nachweis. Dementsprechend spielt das Auge eine wichtige Rolle bei der direkten Beobachtung von Vorgängen, an denen Licht beteiligt ist.
- Der fotografische Film spielt bei der Erforschung der Natur des Lichtes eine große Rolle: Man kann durch lange Belichtung geringste Lichtintensitäten von fernen Sternen und deren Spektren dokumentieren. Fotografische Schichten können für verschiedene Bereiche des Spektrums sensibilisiert werden. Inzwischen wird der fotografische Film jedoch mehr und mehr durch Bildsensoren verdrängt.
- Optische Strahlungsdetektoren nutzen meist den äußeren (Photozelle, Vidicon, Bildverstärker, Photomultiplier) und inneren (Halbleiterdetektoren wie Photodiode, Fototransistor, Fotowiderstand) photoelektrischen Effekt. Komplexe Sensoren (Zeilensensoren und Bildsensoren), die auch in Scannern und Digitalkameras als Aufnahmeelement dienen, arbeiten ebenfalls mit Halbleiterdetektoren. Farbsensoren arbeiten mit mehreren, hinter verschiedenen Filtern liegenden Photodetektoren.
- Durch Fluoreszenz kann Ultraviolett und auch Infrarot (nach einer Zwei-Photonen-Absorption) nachgewiesen werden, indem das entstehende sichtbare Licht ausgewertet wird.

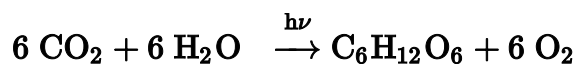


- Licht lässt sich auch durch seine thermische Wirkung nachweisen. Auf diesem Prinzip beruhen die in der Astronomie verwendeten Bolometer zur Vermessung der Strahlungsleistung astronomischer Lichtquellen, sowie thermische Leistungsmesser für Laserstrahlen hoher Leistung.

## Biologie

### Licht als Ökofaktor

Licht stellt für Pflanzen – neben der Verfügbarkeit von Wasser – den wichtigsten Ökofaktor dar, weil es Energie für die Photosynthese liefert. Die von den Chlorophyll-Molekülen in den Chloroplasten absorbierte Lichtenergie wird genutzt, um Wassermoleküle zu spalten (Photolyse) und so Reduktionsmittel für die Photosynthese herzustellen. Diese werden in einem zweiten Schritt verwendet, um Kohlenstoffdioxid schrittweise schließlich zu Glucose zu reduzieren, woraus unter anderem Stärke aufgebaut wird. Der bei der Fotolyse anfallende Sauerstoff wird als Reststoff an die Atmosphäre abgegeben. Die Summenreaktionsgleichung der Photosynthese lautet:

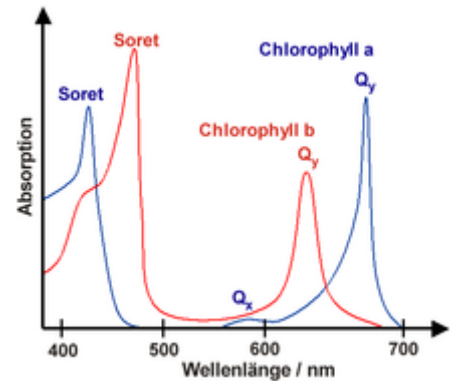


Den Aufbau von organischen Verbindungen aus Kohlenstoffdioxid bezeichnet man als Kohlenstoffdioxid-Assimilation. Organismen, die mithilfe von Licht dazu in der Lage sind, nennt man photoautotroph. Neben den Gefäßpflanzen gehören auch Moose, Algen und einige Bakterien dazu, beispielsweise Cyanobakterien und Purpurbakterien. Alle heterotrophen Organismen sind von dieser Assimilation abhängig, weil sie ihren Energiebedarf nur aus organischen Verbindungen, die sie mit der Nahrung aufnehmen müssen, decken können.

Die Konkurrenz der Pflanzen ums Licht macht sich im „Stockwerkaufbau“ des Waldes und der damit verbundenen Spezialisierung von Licht- und Schattenpflanzen oder in der jahrzeitlichen Abfolge verschiedener Aspekte bemerkbar. In Gewässern dient nur die lichtdurchflutete oberste Schicht, die Nährschicht, der Bildung von Biomasse und Sauerstoff, hauptsächlich durch Phytoplankton. Weil viele Tiere und Einzelner durch das hohe Nahrungsangebot und den vergleichsweise hohen Sauerstoffgehalt des Wassers hier gute Lebensbedingungen finden, werden sie durch das Licht angelockt.

Der Licht- oder Sehsinn ist für viele Tiere einer der wichtigsten Sinne. Er dient zur Orientierung im Raum, zur Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus, zum Erkennen von Gefahren, zum Aufspüren von Beute und zur Kommunikation mit Artgenossen. Daher haben sich im Laufe der Evolution in den verschiedensten Taxa die unterschiedlichsten Lichtsinnesorgane entwickelt. Diese reichen von den einfachen Augenflecken von Euglena über einfache Pigmentfelder bis zu den komplex aufgebauten Facettenaugen und Linsenaugen. Nur wenige Tiere sind vollkommen unempfindlich für Lichtreize. Dies ist höchstens dann der Fall, wenn sie in völliger Dunkelheit leben, wie Höhlentiere.

Sowohl für Räuber- als auch Beutetiere ist es von Vorteil, nicht gesehen zu werden. Anpassungen daran sind Tarnung und Nachtaktivität. Erstaunlicherweise haben dahingegen viele Lebewesen selbst die Fähigkeit entwickelt zu leuchten. Das bekannteste Beispiel ist der Leuchtkäfer. Man findet dieses



Absorptionsspektrum des grünen Blattfarbstoffs Chlorophyll a und b, mit dem Pflanzen Licht aufnehmen und in der Folge verwerten können; siehe auch Soret-Bande

Phänomen der Biolumineszenz aber auch bei Tiefseefischen, Leuchtkrebsen, Pilzen (Hallimasch) oder Bakterien. Der Nutzen der Biolumineszenz wird vor allem mit innerartlicher Kommunikation, der Abschreckung von Fraßfeinden und dem Anlocken von Beute erklärt.

### Licht als Sinnesreiz

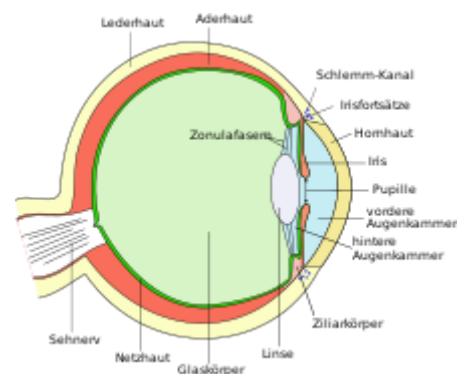
Das Licht, das ins menschliche Auge fällt, wird durch den Brechapparat (bestehend aus Hornhaut, vorderer und hinterer Augenkammer, Linse und Glaskörper) auf die Netzhaut projiziert. Dort entsteht ein reelles, auf dem Kopf stehendes Bild (vergleichbar dem Vorgang in einer Fotokamera). Dadurch werden die in der Netzhaut befindlichen Fotorezeptoren (= Lichtsinneszellen) gereizt, die den Reiz in ein elektrisches Signal wandeln. Dieses Signal wird über den Sehnerv, in den die einzelnen Nervenstränge der Netzhaut münden, zum Gehirn geleitet. Dort werden die auf dem Kopf stehenden Bilder unserer Umwelt dann in Echtzeit „gerade gerückt.“

Lichtintensität wird als Helligkeit empfunden. Das Auge kann sich durch verschiedene Mechanismen an die – viele Zehnerpotenzen umfassenden – Intensitäten anpassen (siehe Adaption). Die empfundene Helligkeit hängt dabei mit der tatsächlichen Intensität über das Weber-Fechner-Gesetz zusammen.

Die spektrale Zusammensetzung des Lichtreizes wird als Farbe wahrgenommen, wobei das menschliche Auge Licht mit Wellenlängen zwischen ca. 380 nm und 750 nm erfassen kann. Trennt man weißes Licht (durch ein Prisma) auf, so erscheinen die Wellenlängen als Farben des Regenbogens.



Großer Leuchtkäfer (*Lampyris noctiluca*), weibliches Tier beim hochsommerlichen Lock-Leuchten



Schematischer Längsschnitt durch das menschliche Auge

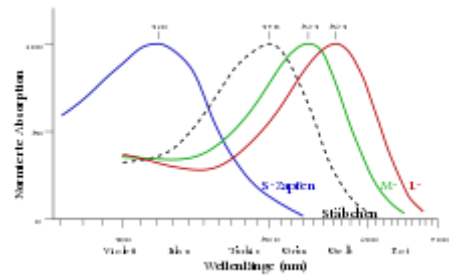
Wellenlängenbereiche der Spektralfarben

(etwa-)Farbton	Wellenlänge $\lambda$ in nm	Wellenfrequenz $\nu$ in THz	Energie E pro Photon in eV	Wellenzahl $\tilde{\nu}$ in $\text{cm}^{-1}$
<u>Violett</u>	380–420	789,5–714,5	3,26–2,955	26.316–23.810
<u>Blau</u>	420–490	714,5–612,5	2,95–2,535	23.810–20.408
<u>Grün</u>	490–575	612,5–522,5	2,53–2,165	20.408–17.391
<u>Gelb</u>	575–585	522,5–513,5	2,16–2,125	17.391–17.094
<u>Orange</u>	585–650	513,5–462,5	2,12–1,915	17.094–15.385
<u>Rot</u>	650–750	462,5–400,5	1,91–1,655	15.385–13.333

Es ist zu beachten, dass diese Tabelle nur für monochromatisches (einfarbiges) Licht gilt. Mischfarben rufen unter Umständen andere Farbeindrücke hervor. Beispielsweise erscheint dem menschlichen Sehsinn eine Mischfarbe aus jeweils monochromatischem grünen und roten Licht gelb, während eine Mischung aus monochromatischem roten und blauen Licht als Magenta erscheint. Im Regenbogen, wo das Sonnenlicht in seine monochromatischen spektralen Bestandteile zerlegt ist, kommt Magenta als Farbe nicht vor im Gegensatz zu Gelb. Dies liegt daran, dass die Grundfarben Blau und Rot im Regenbogen weit auseinander liegen, weshalb eine Mischung von Magenta auf natürlichem Wege nicht zustande kommt. Im Gegensatz

dazu liegen Grün und Rot direkt nebeneinander, weswegen unser Auge denkt, dass es die Farbe Gelb sieht.<sup>[16]</sup> Die Farbe Braun, die allgemein für eine Mischfarbe gehalten wird, kann dagegen durch einfarbiges Orange erzeugt werden, wenn dessen Intensität im Vergleich zur Umgebung schwach ist.<sup>[17]</sup>

Die Netzhaut des Auges ist mit verschiedenen Sinneszellen ausgestattet: Die Stäbchen weisen eine breite spektrale Ansprechbarkeit auf und zeichnen sich durch eine hohe Sensitivität aus. Sie sind daher auf das Sehen in der Dämmerung spezialisiert, können jedoch keine Farben unterscheiden. Die Zapfen hingegen, die an stärkere Intensitäten angepasst sind, kommen in drei verschiedenen Typen vor, die jeweils bei einer anderen Wellenlänge ihr Reaktionsoptimum haben. Ihre Verschaltung ermöglicht letztlich das Farbsehen.



Empfindlichkeitsverteilung der menschlichen Fotorezeptoren in Stäbchen (schwarz gestrichelt) und den drei Zapfentypen (S, M und L).

Sowohl bei den Stäbchen als auch bei den Zapfen beruht der Sehvorgang auf der Absorption von Photonen durch das Sehpigment (im Falle der Stäbchen: Rhodopsin). Der Ligand Retinal macht dabei eine Isomerisierung durch, die dazu führt, dass das Rhodopsin zerfällt und die Signalkaskade der Phototransduktion in Gang setzt. Die dadurch verursachte Hyperpolarisation der Zellmembran der Stäbchen und Zapfen bewirkt ein elektrisches Signal, das an die nachgeschalteten Nervenzellen weitergegeben wird.

*Siehe auch:* Sehbahn

Neben Zapfen und Stäbchen gibt es einen dritten Lichtrezeptor, die melanopsinhaltigen Ganglienzellen. Diese Rezeptoren reagieren besonders empfindlich auf blaues Licht und sind an der Steuerung der inneren Uhr beteiligt. Ihre Entdeckung Anfang der Jahrtausendwende forcierte die Entwicklung von tageslichtähnlichen Beleuchtungskonzepten für Innenräume, wie bspw. das Human Centric Lighting.<sup>[18]</sup>

Die Leistungen der Lichtsinnesorgane anderer Lebewesen unterscheiden sich zum Teil erheblich von denen des Menschen. Die meisten Säugetiere haben ein eher unterentwickeltes Farbsehen. Vögel hingegen verfügen über mehr Zapfentypen und können dementsprechend mehr Farben unterscheiden als der Mensch. Bienen sind zwar mehr oder weniger unempfindlich für langwelliges (rotes) Licht, können aber das sehr kurzwellige UV-Licht wahrnehmen, das für den Menschen unsichtbar ist. Außerdem können sie die Polarisationsrichtung des Lichts wahrnehmen. Dies hilft ihnen bei der Orientierung im Raum mithilfe des Himmelblaus. Manche Schlangen wiederum können die ebenfalls für uns unsichtbaren IR-Strahlen mit ihren Grubenorganen wahrnehmen.

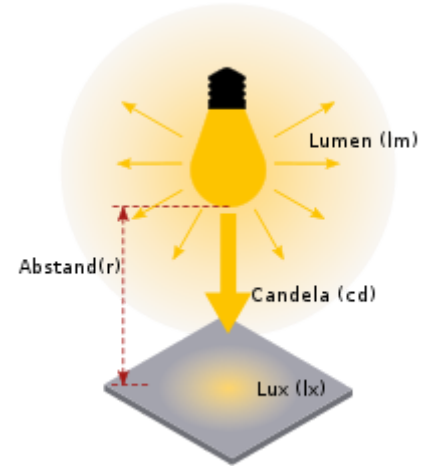
## Chemie

Bei organischen Farbstoffen können delokalisierte  $\pi$ -Elektronen durch Frequenzen im sichtbaren Bereich auf ein höheres Niveau gehoben werden. Dadurch werden je nach Molekül bestimmte Wellenlängen absorbiert.

Bei anorganischen Farbstoffen können auch Elektronen aus den d-Orbitalen eines Atoms in energetisch höher gelegene d-Orbitale angeregt werden (siehe Ligandenfeldtheorie). Des Weiteren können Elektronen ihre Position zwischen Zentralion und Ligand innerhalb eines Komplexes wechseln (siehe auch Charge-Transfer-Komplexe und Komplexchemie).

## Größen und Einheiten

- Die Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ) ist unabhängig von der Bewegung der Quelle und sinkt in Medien gegenüber der Vakuumlichtgeschwindigkeit ab. Sie beträgt im Vakuum 299.792.458 Meter pro Sekunde und ist dort auch unabhängig von der Bewegung des Beobachters.
- Das Lichtjahr (Lj, ly) ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Es wird in der Astronomie als Längeneinheit verwendet.
- Die Lichtfarbe ist von der spektralen Zusammensetzung des Lichtes bestimmt. Die Wellenlänge ist umgekehrt proportional zur Energie der Lichtquanten.
- Die Polarisation des Lichtes beschreibt die Orientierung der elektrischen und magnetischen Feldvektoren des Lichtes im Raum. Das flach an dielektrischen Flächen reflektierte Licht sowie das Licht des blauen Himmels ist teilweise linear polarisiert, während das Licht von Glühlampen und der Sonne keine Vorzugsrichtung der Polarisation aufweist. Linear und zirkular polarisiertes Licht spielen in der Optik und Lasertechnik eine große Rolle.
- Lichtstrom (Lumen) gibt an, wie viel Licht eine Lichtquelle in alle Richtungen abgibt.
- Lichtmenge (Lumensekunde) ist der über die Zeit integrierte Lichtstrom.
- Lichtstärke (Candela) ist der Lichtstrom pro Raumwinkel. Durch Bündelung kann der Lichtstrom erhöht werden.
- Leuchtdichte (Candela/m<sup>2</sup>) ist die Lichtstärke pro Fläche eines Lichtemitters (z. B. Glühfaden, Lichtbogen, Leuchtdiode).
- Beleuchtungsstärke (Lux) beschreibt, wie viel Licht auf eine Fläche fällt. Sie wird mit einem Luxmeter gemessen.
- Die Farbtemperatur (Kelvin) ist die der Temperatur eines Schwarzen Strahlers gleicher Temperatur gleichende Lichtfarbe einer Lichtquelle, um diese hinsichtlich ihres Farbeindruckes zu klassifizieren. Je höher der Wert, desto kühler oder blau-weißer ist das Licht.
- Der Strahlungsdruck (Pascal) ist die physikalische Kraftwirkung des Lichtes auf Teilchen oder Gegenstände und spielt aufgrund seines geringen Betrages kaum eine Rolle.



Begriffe der Lichtmessung

Siehe auch: Photometrische Größen und Einheiten

## Licht in Gesellschaft und Religion

---

Licht ist, wie Feuer, eines der bedeutendsten Phänomene für alle Kulturen. Künstlich erzeugtes Licht aus Lichtquellen ermöglicht dem Menschen heutzutage ein angenehmes und sicheres Leben auch bei terrestrischer Dunkelheit (Nacht) und in gedeckten Räumen (Höhlen, Gebäuden). Technisch wird die Funktionsgruppe, die Licht erzeugt, als Lampe, Leuchtmittel oder Lichtquelle bezeichnet. Der Halter für die Lampe bildet mit dieser eine Leuchte.

Als Achluophobie, auch als Nyktophobie (von altgriechisch: νύξ, νυκτός – νύχ, nyktós – f. = die Nacht) oder als Skotophobie (von σκότος, σκότου – skótos – m. = die Dunkelheit) bezeichnen Psychiater die ausgeprägte (z. T. krankhafte) Angst vor der Dunkelheit. Die Phobie kommt bei Kindern häufig vor, ist aber auch bei Erwachsenen anzutreffen. Eine als weniger gravierend bewertete Form der Achluophobie ist der Pavor nocturnus.

Im Christentum steht das Licht in der Selbstbezeichnung Jesu Christi – „Ich bin das Licht der Welt.“ (Joh 8,12) – für die Erlösung des Menschen aus dem Dunkel der Gottesferne. Ebenso wird auch auf Luzifer als den Lichtbringer oder Lichtträger referiert. In der biblischen Schöpfungsgeschichte ist das Licht das zweite Werk Gottes, nach Himmel und Erde. Im Requiem, der liturgischen Totenmesse, ist ein Lux aeterna enthalten. Im Buddhismus und anderen Religionen wie im allgemeinen Sprachgebrauch gibt es das Ziel der Erleuchtung. Buddha selbst wird „der Erleuchtete“ genannt. Die Kategorien „hell“ (Antonym: „dunkel“) und „klar“ (Antonym: „nebulös“) werden zumeist positiv konnotiert. In dem Satz: „Das Licht der Aufklärung besiegte die Dunkelheit des Mittelalters.“ ist das uralte, letztlich manichäische Motiv vom „Sieg des Lichts über die Dunkelheit“ erkennbar. Auch der Ausdruck „Licht des Wissens“ greift das Licht symbolhaft auf um etwas über das Gegenteil Erhabenes zu beschreiben.

## Tag des Lichts

---

Das Internationale Jahr des Lichts war 2015 von der UNESCO gefeiert worden. Im November 2017 rief die Organisation den Internationalen Tag des Lichts<sup>[19]</sup> (englisch International Day of Light<sup>[20]</sup>) aus, der seit 2018 jährlich am 16. Mai begangen wird. Ziel des Aktionstages ist die Würdigung des Lichts und seiner Rolle in Wissenschaft, Kultur und Kunst, Bildung und nachhaltiger Entwicklung sowie in so unterschiedlichen Bereichen wie Medizin, Kommunikation und Energie. Dadurch, dass das Thema Licht so breit gefächert ist, wird es verschiedenen Bereichen der Gesellschaft weltweit ermöglicht sich an Aktivitäten zu beteiligen und so zum Erreichen der Ziele der UNESCO – Bildung, Gleichheit und Frieden – beitragen.

## Licht aus Sicht des deutschen Gesetzgebers

---

Licht zählt als ein Umweltfaktor zu den Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Lichtimmissionen von Beleuchtungsanlagen können das Wohn- und Schlafbedürfnis von Menschen und Tieren erheblich stören und auch technische Prozesse behindern. Entsprechend sind in der „Licht-Richtlinie“ der Länder (in Deutschland) Maßstäbe zur Beurteilung der (Raum-)Aufhellung und der (psychologischen) Blendung festgelegt.<sup>[21]</sup> Besonders störend kann intensiv farbiges oder blinkendes Licht wirken. Zuständig sind bei Beschwerden die Umwelt- und Immissionsschutzbehörden der jeweiligen Bundesländer. Negative Auswirkungen betreffen die Verkehrssicherheit (Navigation bei Nacht, physiologische Blendung durch falsch eingestellte Scheinwerfer oder durch Flächenbeleuchtungen neben Straßen), Einflüsse auf die Tierwelt (Anziehen nachtaktiver Insekten, Störung des Vogelflugs bei Zugvögeln) und die allgemeine Aufhellung der Erdatmosphäre (Lichtverschmutzung, die astronomische Beobachtungen infolge Streuung des Lampenlichts in der Atmosphäre des Nachthimmels behindert).

## Literatur

---


- Albert Einstein: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*. In: *Annalen der Physik*. 1905, S. 132–148. Mit diesem Beitrag begründete Einstein den Welle-Teilchen-Dualismus des Lichts.
- Sidney Perkowitz: *Eine kurze Geschichte des Lichts. Die Erforschung eines Mysteriums*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1998, ISBN 3-423-33020-1.

- Thomas Walther, Herbert Walther: *Was ist Licht? Von der klassischen Optik zur Quantenoptik*. Beck, München 1999, ISBN 3-406-44722-8.
- George H. Rieke: *Detection of Light – From the Ultraviolet to the Submillimeter*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2003, ISBN 0-521-81636-X.
- Wolfgang Schivelbusch: *Lichtblicke: Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert*. Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main 2004, ISBN 978-3-596-16180-5.
- Klaus Hentschel: *Einstein und die Lichtquantenhypothese*. In: *Naturwissenschaftliche Rundschau*. 58, 6, 2005, ISSN 0028-1050, S. 311–319.
- Rolf Heilmann: *Licht. Die faszinierende Geschichte eines Phänomens*, Herbig, München 2013, ISBN 978-3-7766-2711-4.
- Serge Haroche: *Licht. Eine Geschichte*. Klett-Cotta, Stuttgart 2022, ISBN 978-3-608-98495-8.

## Weblinks

---

 **Commons: Licht** (<https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Licht?uselang=de>) – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

 **Wiktionary: Licht** – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

 **Wikiquote: Licht** – Zitate

- Literatur von und über Licht (<https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&query=4035596-2>) im Katalog der Deutschen Nationalbibliothek
- Informationen zur Physik des Lichts ([https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/licht/elektr\\_omagnetisches-spektrum/sichtbares-licht/](https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/licht/elektr_omagnetisches-spektrum/sichtbares-licht/)) (auf Welt der Physik)
- Sammlung von Aussagen einiger Nachschlagewerke zum Begriff Licht (<http://www.kisc.meiji.ac.jp/~mmandel/recherche/licht.html>) - liefert einen Überblick zur Begriffsgeschichte (vom Germanisten Michael Mandelartz)
- Umweltfaktor Licht (<http://www.lanuv.nrw.de/umwelt/strahlung/licht-elektrosmog/licht/>) (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW)

## Videos

---

- *Wird Licht müde?* (<https://www.ardmediathek.de/video/alpha-centauri/wird-licht-muede/ard-alpha/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvLzk5NmFINzU3LTE5NTEtNDdkMi1iMWY1LWVvNzNI/NDU3Nzg0Nw>) aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri* (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 17. Mär. 2002.
- *Was ist Licht?* (<https://www.ardmediathek.de/video/alpha-centauri/was-ist-licht/ard-alpha/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvLzZM5OWNiZmVhLTU4YjQtNDI4Mi1iYmIxLTQ2NGU4MTkxMjY3OA>) aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri* (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 8. Dez. 2002.
- *Was war der Äther?* (<https://www.ardmediathek.de/video/alpha-centauri/was-war-der-aether/ard-alpha/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvL2MxYTUyMzc0LTVINDQtNGUzNi05MDRiLTgzMTBmZTU1ODEyNw>) aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri* (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 4. Feb. 2004.

## Einzelnachweise

---

1. *Farbmodelle: Licht- und Farbwahrnehmung*. ([https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MS/SS01\\_WS0102/Farbmodelle/Kapitel/Kapitel2.html](https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MS/SS01_WS0102/Farbmodelle/Kapitel/Kapitel2.html)) Abgerufen am 9. Januar 2022.
2. Lucio Russo: *Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens*. Springer, Berlin 2005, ISBN 3-540-27707-2, S. 170.

3. *Sehvorstellungen im Altertum | LEIFphysik*. (<https://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung/geschichte/sehvorstellungen-im-altertum>) Abgerufen am 9. Januar 2022.
4. *Die Beleuchtung mit künstlichem Licht*. In: licht.de (Hrsg.): *licht.wissen*. Nr. 01. Frankfurt 2016, ISBN 978-3-945220-03-0, S. 8.
5. WELT: *Physik: Wie schnell ist lichtschnell?* In: *DIE WELT*. 5. Dezember 2006 (welt.de (<https://www.welt.de/wissenschaft/article700469/Wie-schnell-ist-lichtschnell.html>) [abgerufen am 9. Januar 2022]).
6. Dr. Reinhard Schmidt: *Wellen, Teilchen, Quanten Eine heiter saloppe Geschichte der Quantenphysik*. 1. Auflage. Berlin 2017, ISBN 978-3-7418-8264-7, S. 3.
7. Oliver Morsch: *Licht und Materie Eine physikalische Beziehungsgeschichte*. 1., Auflage, neue Ausg. Weinheim 2012, ISBN 978-3-527-64104-8.
8. Werner Kinnebrock: *Bedeutende Theorien des 20. Jahrhunderts : Relativitätstheorie, Kosmologie, Quantenmechanik und Chaostheorie*. 4., verbesserte und aktualisierte Auflage. De Gruyter Oldenbourg, Berlin / Boston 2013, ISBN 978-3-486-73582-6, S. 13.
9. *Bergmann-Schaefer Lehrbuch der Experimentalphysik*, 10. Auflage, Seite 906
10. Michael Faraday: *Experimental Researches in Electricity. Nineteenth Series*. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Band 136, 1846, S. 1–20, doi:10.1098/rstl.1846.0001 (<https://doi.org/10.1098/rstl.1846.0001>).
11. James Clerk Maxwell: *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Nr. 155, 1865, S. 459–512.
12. Albert Kümmel-Schnur, Jens Schröter: *Äther Ein Medium der Moderne*. transcript Verlag, Bielefeld 2008, ISBN 978-3-8394-0610-6, S. 19.
13. Udo Hartje: *Albert Einstein's hypothetical question basic ideas for a compatible physics and a consistent natural science = Albert Einsteins hypothetische Frage*. 2. Aufl., Sonderdr. Berlin 2004, ISBN 978-3-9806131-5-6, S. 8.
14. *100 Jahre Quantentheorie*. (<https://www.spektrum.de/magazin/100-jahre-quantentheorie/827483>) Abgerufen am 9. Januar 2022.
15. *Lichtlexikon*. (<https://www.licht.de/de/trends-wissen/wissen-kompakt/lichtlexikon/details-lichtlexikon/reflexionsgrad/>) licht.de, abgerufen am 20. August 2018.
16. *Kein Magenta im Regenbogen*. (<https://wisotop.de/magenta-pink-licht-gibts-nicht.php/>) Abgerufen am 27. November 2020.
17. Technology Connections: *Brown; color is weird*. (<https://www.youtube.com/watch?v=wh4aWZRtTwU>) Abgerufen am 27. November 2020 (englisch).
18. *Wirkung des Lichts auf den Menschen*. In: licht.de (Hrsg.): *licht.wissen*. Nr. 19. Frankfurt 2014, ISBN 978-3-926193-97-1, S. 15.
19. *News von licht.de*. (licht.de (<https://www.licht.de/de/service-info/aktuelles/news/news-details/internationaler-tag-des-lichts/>) [abgerufen am 27. Oktober 2017]).
20. *Offizielle Webseite International Day of Light*. (<https://www.lightday.org/>) Abgerufen am 27. Oktober 2017.
21. *Lichtimmissionen – wenn Licht stört*. (<https://www.licht.de/de/trends-wissen/licht-und-umwelt/lichtimmissionen/>) In: *Portalseite licht.de*. Abgerufen am 20. August 2018.

---

Abgerufen von „<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Licht&oldid=231810356>“

---

Diese Seite wurde zuletzt am 14. März 2023 um 15:36 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative-Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und

der Datenschutzrichtlinie einverstanden.  
Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.