

Die Natur des Lichts – kurz und bündig

Da die quantenelektrodynamische Beschreibung von Licht sehr anspruchsvoll ist, wird meist das wesentlich einfachere Wellen- oder Teilchenmodell verwendet. Im Wellenbild beschreibt man das Licht als eine klassische elektromagnetische Welle. Im Teilchenbild wird das Licht als ein Photonenstrom beschrieben.

Prof. Dr. Axel Donges



■ Lange Zeit war unklar, was man sich eigentlich unter „Licht“ vorzustellen habe. Immer wieder wurde die Frage gestellt, ob Licht durch eine Welle oder durch einen Teilchenstrom zu beschreiben sei. Experimentell konnte die Frage nicht eindeutig geklärt werden. Es gab eine große Anzahl von Experimenten, die auf einen Wellencharakter hindeuteten. Auf der anderen Seite gab es aber auch viele Experimente, die einen Teilchencharakter des Lichts nahelegten. Ein Physiker formulierte dieses Dilemma einmal so: „Montag, Mittwoch und Freitag ist das Licht eine Welle, Dienstag, Donnerstag und Samstag ist es ein Teilchen und am Sonntag ruht es.“ Gelöst wurde das Problem durch die Quantenelektrodynamik, die in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts entwickelt wurde. Sie vereinigte die beiden widersprüchlichen Vorstellungen (Wellenbild und Teilchenbild) und zeigte, dass Licht sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter haben kann (Welle-Teilchen-Dualismus). Die Quantenelektrodynamik ist eine mathematisch anspruchsvolle

Theorie. Daher haben auch heute noch die beiden Grenzfälle der Quantenelektrodynamik, das Wellen- und das Teilchenbild, ihre Berechtigung. Je nach Problemstellung wendet man dann das eine oder das andere Modell an. Zur Beschreibung von Ausbreitungsvorgängen (z.B. Beugung von Licht, Interferenzerscheinungen) eignet sich meist das Wellenbild. Die Wechselwirkung von Licht mit Materie (z.B. Absorption von Licht) lässt sich dagegen besser mit dem Teilchenbild beschreiben. Wir stellen im Folgenden die beiden Bilder vor.

Wellenbild

Im Wellenbild wird das Licht durch eine elektromagnetische Welle beschrieben (Abb. 1). Diese Welle besitzt sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Feld. Diese Felder breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Licht unterscheidet sich damit prinzipiell nicht von einer Welle, die von einem Radiosendemast oder einem Mobiltelefon abgestrahlt wird. Diese Wellen unterscheiden sich nur bezüglich der Wellenlänge bzw. der Frequenz voneinander. So liegen die Wellenlängen von sichtbarem Licht im Bereich von circa 380 bis 780 nm (Abb. 2), was Frequenzen zwischen 789 und 385 THz entspricht (Anmerkungen: 1 nm = 0,000000001 m und 1 THz = 1.000.000.000.000 Hz). Die Umrechnung von Wellenlänge λ in Frequenz f erfolgt über die Grundgleichung der Wellenlehre: $c = \lambda f$. Jede elektromagnetische Welle transportiert Energie. Die Leistung bzw. Intensität einer Welle steigt mit dem Quadrat der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke an.

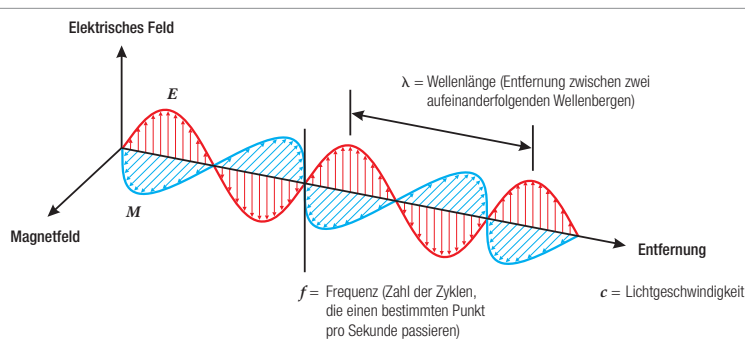


Abb. 1: Schematische Darstellung einer elektromagnetischen Welle.

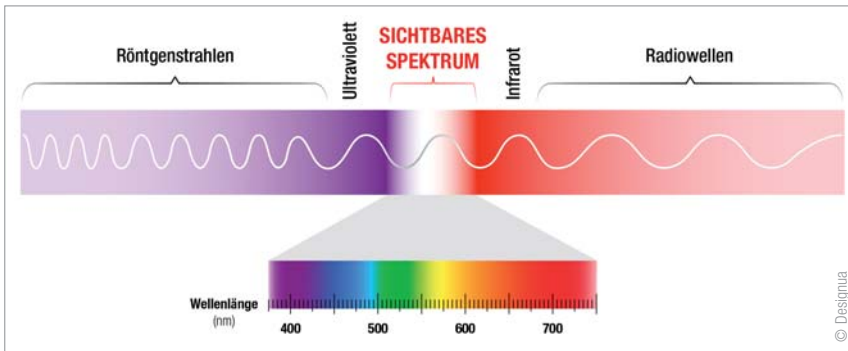


Abb. 2: Überblick über das sichtbare Spektrum.

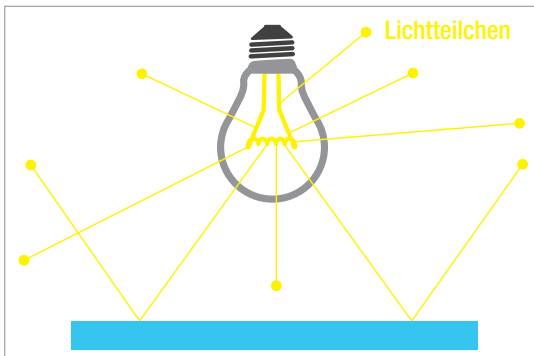


Abb. 3: Das von der Glühlampe emittierte Licht wird im Teilchenbild als kleine Teilchen (Photonen) dargestellt, die von der Lampe weglafen. Treffen diese Photonen auf einen Spiegel, werden sie wie Tennisbälle reflektiert.

Beispiel: Ein Laserstrahl mit einer elektrischen Feldstärkeamplitude von $E_0 = 10 \text{ kV/m}$ und einem Querschnitt von 10 mm^2 hat eine Leistung von $P = 1,33 \text{ W}$.

Teilchenbild

Im Teilchenbild interpretiert man das Licht als einen Teilchenstrom (Abb. 3). Die einzelnen Lichtteilchen werden als Photonen bezeichnet. Ein Photon besitzt

$$\begin{aligned} \text{Energie } W &= hf, \\ \text{Masse } m &= hf/c^2 \text{ und} \\ \text{Impuls } p &= hf/c, \end{aligned}$$

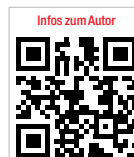
wie alle anderen Teilchen auch. Hierbei ist $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ die Planck-Konstante und f die Frequenz des Lichts. Da Photonen sich stets mit Lichtgeschwindigkeit ($c = 300.000 \text{ km/s}$) bewegen, haben sie entsprechend der Speziellen Relativitätstheorie keine Ruhemasse.

Wird ein Photon beispielsweise von einem Atom absorbiert, so überträgt es seine Energie und seinen Impuls auf das Atom. Umgekehrt verliert ein Atom Energie und Impuls, wenn es ein Photon abstrahlt.

Beispiel: Wir betrachten einen Laserstrahl mit einer Leistung von $P = 30 \text{ mW}$ und einer Wellenlänge von $\lambda = 690 \text{ nm}$. Der Laserstrahl hat somit eine Frequenz von $f = c/\lambda = 4,35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Jedes Photon besitzt dann eine Energie von $W = hf = 2,87 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Damit emittiert der Laser $P/W = 1,05 \cdot 10^{17}$ Photonen pro Sekunde. ■

■ KONTAKT

Prof. Dr. Axel Donges
 Fachhochschule und Berufskollegs NTA
 Seidenstraße 12–35
 88316 Isny im Allgäu



laservision

WE PROTECT YOUR EYES



**Laser- und Spritzschutzbrillen
 für Medizin und Pharmazie**

WE PROTECT YOUR EYES



- Spritzschutzbrillen mit speziellem, auto-klavierbaren Anti-Fog-Coating für absolute Beschlagfreiheit
- Laserschutzbrillen mit verschiedenen Filtern und Fassungen für Arzt, Patient und Praxisteam
- Lupenbrillen mit verschiedenen Laserschutzfiltern und Vergrößerungen

www.uvex-laservision.de

LASERVISION GmbH & Co KG | Siemensstr. 6 | 90766 Fürth