

Der Welle-Teilchen-Dualismus

Zu der Frage was Licht ist, gibt es zwei scheinbar widersprechende Vorstellungen, die Jahrhunderte lang miteinander konkurriert haben, so dass man vom **Welle-Teilchen-Dualismus** spricht.

Die eine Vorstellung geht von kleinsten Teilchen aus, den **Photonen**. Anschaulich besteht elektromagnetische Strahlung (z.B. Licht) aus diesen Elementarteilchen, die zwar Energie und einen Impuls, aber keine Masse besitzen.

Die andere Modellvorstellung nimmt an, dass die Lichtquelle lediglich als Auslöser einer Welle dient. Die Welle ist materielos, es handelt sich um ein gekoppeltes elektrisches und magnetisches Feld. Deshalb werden sie auch als elektromagnetische Wellen bezeichnet. Je nach Energie oder Frequenz unterscheidet man verschiedene EM-Wellenarten. Elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen zwischen etwa 400 Nanometer und 800 Nanometer sind für uns sichtbar und werden damit als Licht bezeichnet.

Heute weiß man, dass es sich die beiden Vorstellungen nicht widersprechen, sondern sich gegenseitig ergänzen. Man spricht deshalb auch meist von elektromagnetischer Strahlung (EM-Strahlung). Je nach Versuch, tritt eher der Teilchencharakter oder der Wellencharakter zutage. So lässt sich Licht an einem Glasprisma brechen, zeigt hier also typische Welleneigenschaften. Mit Licht lassen sich aber auch Elektronen aus einem elektrisch aufgeladenen Metall herausschlagen, was als Zeichen eines Teilchencharakters angesehen werden kann.

Mathematische Zusammenhänge

Wellenlänge und Frequenz der elektromagnetischen Strahlung sind über die Lichtgeschwindigkeit verknüpft. Die Energie der EM-Strahlung lässt sich aus der Frequenz berechnen:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

$$E = h \cdot \nu$$

λ (sprich: lambda): Wellenlänge. Länge einer Welle in Metern.
 ν (sprich: nü): Frequenz: Anzahl der Schwingungen pro Zeit. Einheit: 1/s = Hz (Hertz)
 c : Lichtgeschwindigkeit, eine Naturkonstante. $c \approx 3,000 \cdot 10^8$ m/s
 h : PLANCK'sches Wirkungsquantum, eine Naturkonstante: $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js.
 E : Energie der elektromagnetischen Welle in J (Joule).

Ergänzen Sie die fehlenden Angaben!

Art/Bezeichnung	Bereich im EM-Spektrum		Beispiel		
	Wellenlänge	Frequenz	Wellenlänge	Frequenz	Energie (J) pro EM-Welle
Radiowellen	15 km – 0,1 m	20 kHz – 3 GHz	3,0 m Hz MHz J
Mikrowellen	1 m – 1 mm	300 MHz – 300 GHz m cm Hz GHz	$9,94 \cdot 10^{-25}$ J
.....	1000 μ m – 0,780 μ m	300 GHz – 385 THz m μ m	$2,0 \cdot 10^{13}$ Hz J
Sichtbarer Bereich (VIS)	780 nm – 380 nm	385 THz - 789 THz	$500 \cdot 10^{-9}$ m 500 nm	$6,0 \cdot 10^{14}$ Hz	$3,98 \cdot 10^{-19}$ J
.....	380 nm – 1 nm	$789 \text{ THz} - 3 \cdot 10^{17}$ Hz	$3,37 \cdot 10^{-9}$ m 3,37 nm	$8,9 \cdot 10^{16}$ Hz	$5,90 \cdot 10^{-17}$ J
Röntgen-Strahlung	1 nm – 5 pm	$3 \cdot 10^{17}$ Hz – $6 \cdot 10^{19}$ Hz	$2 \cdot 10^{-11}$ m	$1,5 \cdot 10^{19}$ Hz	$1 \cdot 10^{-14}$ J
Gammastrahlung	< 5 pm	$> 6 \cdot 10^{19}$ Hz	1 pm	$3,0 \cdot 10^{20}$ Hz	$1,99 \cdot 10^{-13}$ J

Merke: Je kürzer die, desto ist die Energie.

Lässt man weiß erscheinendes Licht durch ein Glasprisma fallen, so wird der Lichtstrahl abgelenkt und zu einem Farbband ("Regenbogenfarben") auseinander gezogen. Dieses Farbband bezeichnet man als **kontinuierliches Spektrum**. Die Farben des Spektrums können mit einer Sammellinse wieder zu weißem Licht zusammengefasst werden. **Weißes Licht ist also eine Mischung aus diesen verschiedenen Spektralfarben**. Der Eindruck „weiß“ entsteht in unserem Bewusstsein dann, wenn die verschiedenen Lichtwellen der Spektralfarben gemeinsam auf die Netzhaut des Auges fallen. Bei den verschiedenen Farben des Spektrums handelt es sich also um Licht unterschiedlicher Wellenlängen:

Farbtöne der EM-Wellen (incl. Wellenlängenbereich)		Komplementärfarbe des Farbtons
Violett	400 - 435 nm	Gelb
Blau	435 - 480 nm	Orange
Grün	480 - 575 nm	Purpur bis Rot
Gelb	575 - 595 nm	Violett
Orange	595 - 610 nm	Blau
Rot	610 - 750 nm	Blaugrün bis Grün

Entstehung von farbigem Licht. Monochromatisches oder polychromatisches farbiges Licht

Farbiges Licht kann dadurch entstehen, dass eine Lichtquelle nur Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge aussendet. Hält man zum Beispiel Natrium oder eine Natriumverbindung in die Flamme, dann strahlen die angeregten Natriumatome elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen von rund 590 nm aus. Dieses Licht nehmen wir als gelbes Licht wahr. Durch ein Prisma geleitet, lässt sich dieses Natrium-Licht nicht in verschiedene Lichtfarben zerlegen. Es ist **monochromatisches Licht**, das heißt es besteht aus Strahlen nur einer bestimmten Wellenlänge.

Farbiges Licht kann aber auch dadurch entstehen, dass man aus dem Gesamtspektrum des Lichts bestimmte Wellenlängen herausfiltert. Mit Hilfe einer Sammellinse zusammengefasst, ergeben die restlichen Spektralfarben dann kein weißes Licht mehr. Sie addieren sich vielmehr zu einer Mischfarbe, deren Farbton davon abhängig ist, welche Spektralfarben in der Mischung verblieben sind. Filtern wir zum Beispiel bestimmte Blautöne aus dem Spektrum heraus, dann mischen sich die restlichen Spektralfarben zu Gelb. Bei dem durch Mischung verschiedener Spektralfarben entstehenden Licht spricht man von polychromatischem Licht. Gelbes Licht kann also einheitlich (monochromatisch) sein und nur aus Wellen einer Wellenlänge bestehen. Es kann aber auch ein Mischlicht sein, dessen verschiedene Wellenlängen sich für uns zum Eindruck „gelb“ addieren (**polychromatisches Licht**). Für das Auge erscheinen beide Lichtsorten gleich!

Komplementärfarben

Die aus dem Spektrum ausgefilterte Spektralfarbe und die dabei übrigbleibende Mischfarbe des polychromatischen Lichts sind komplementär zueinander. Das bedeutet, dass sie sich miteinander zum Eindruck „weiß“ ergänzen. Die monochromatische Spektralfarbe *Ultramarinblau* und die polychromatische Mischfarbe *Gelb* sind **Komplementärfarben** (siehe auch Tabelle oben). Miteinander gemischt, ergeben sie wieder das komplette Spektrum, das unserem Auge als *Weiß* erscheint. Die Komplementärfarben ergeben für unser Auge aber auch dann den Eindruck „weiß“, wenn beide als reine Spektralfarben miteinander gemischt werden. Auch so entsteht ein Licht, das uns weiß erscheint, obwohl alle anderen Bereiche des kontinuierlichen Spektrums fehlen.

Absorption elektromagnetischer Strahlung

Alle chemischen Substanzen haben die Eigenschaft, bestimmte elektromagnetische Strahlung aufzunehmen und zu **absorbieren**. Handelt es sich um Licht (visueller Bereich des EM-Spektrums, **VIS**), so erscheinen diese Stoffe für uns farbig und man spricht von **Farbstoffen**. Es können nur die Wellenlängen absorbiert werden, die zur elektronischen Struktur der Moleküle (Molekülorbitale oder vereinfacht „Atomschalen“) passen. Je nachdem welche Wellenlängenanteile und in welchem Ausmaß absorbiert werden, besitzt der Stoff eine andere Farbe. Materie, die das gesamte Licht (VIS-Strahlung) absorbiert und nichts davon durchlässt (reflektiert), vermittelt den Farbeindruck „schwarz“. Hier werden keine Sinneszellen in der Netzhaut angeregt. Absorbiert eine Substanz zum Beispiel große Anteile der EM-Wellen mit $\lambda = 440 - 480 \text{ nm}$, so filtert sie den blauen Anteil aus dem VIS-Spektrum heraus. Die restlichen, reflektierten Wellenlängen ergeben für unser Auge zum Eindruck „orange“. Es handelt sich also um einen orangenen Farbstoff.

Absorbiert ein Stoff lediglich im Bereich des Ultraviolett oder anderer Wellenlängen außerhalb des sichtbaren Lichts, so erscheint er im Tageslicht weiß.