

# 15. Elektromagnetische Wellen und die Wellennatur des Lichts

Rainer Hauser

Juli 2011

## 1 Einleitung

### 1.1 Elektromagnetismus

Lange waren Elektrizität und Magnetismus zwei völlig unterschiedliche Phänomene. Erst im neunzehnten Jahrhundert wurde zuerst entdeckt, dass sie verwandte Naturerscheinungen sind, und später auch gezeigt, dass mit dem Licht als elektromagnetische Welle auch die Optik ein Teilbereich des *Elektromagnetismus* ist. Die Vereinigung dieser drei Gebiete hat dazu beigetragen, dass Physiker sich auch heute noch nach der grossen, einheitlichen Theorie sehnen, die sämtliche Phänomene in der Natur umfasst.

### 1.2 Äther und Lichtgeschwindigkeit

Wenn Licht eine Welle ist, stellte sich die Frage, in welchem Medium sich diese Welle ausbreitet. Man nahm einen *Äther* an, der jedoch ideal elastisch und völlig inkompressibel hätte sein müssen. Mit der speziellen Relativitätstheorie bekam das Licht einerseits eine vom Bewegungszustand des Beobachters unabhängige Geschwindigkeit, und der Äther wurde als unbeobachtbar ganz aus der Physik gestrichen.

### 1.3 Vergleich zwischen Schall und Licht

Dass Schall einen Schalleiter braucht, um sich auszubreiten, während Licht nach jetziger Erkenntnis ohne ihn auskommt, ist nur ein Unterschied zwischen Schall und Licht. Ein zweiter Unterschied ist, dass Schall aus Longitudinal- und Licht aus Transversalwellen besteht, was sich darin zeigt, dass Licht im Gegensatz zu Schall *polarisierbar* ist.

Den *Dopplereffekt*, den man beim Schall im Strassenverkehr täglich erleben kann, gibt es auch beim Licht. Das Spektrum von Sternen oder Galaxien, die sich von der Erde weg bewegen, zeigt eine Rotverschiebung, während dasjenige von astronomischen Objekten, die sich auf die Erde zu bewegen, zum Blau hin verschoben ist.

## 2 Elektromagnetisches Spektrum

### 2.1 Sichtbares Licht

Dass Seifenblasen in verschiedenen Farben schillern, erklärt sich aus der Interferenz. Lichtwellen werden an der Innen- und Aussenseite der Seifenblase reflektiert und gebrochen, sodass sich einzelne Farben gegenseitig auslöschen.

Die Wellenlängen  $\lambda$  und Frequenzen  $f$  des sichtbaren Lichts sind:

Farbe	$\lambda$ in nm	$f$ in $10^{12}$ Hz
Violett	400 – 420	750 – 715
Blau	420 – 490	715 – 610
Grün	490 – 575	610 – 520
Gelb	575 – 585	520 – 510
Orange	585 – 650	510 – 460
Rot	650 – 750	460 – 400

## 2.2 Niederfrequenz bis Gammastrahlung und ihre Anwendungen

Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Teil des elektromagnetischen Spektrums, das von durch Generatoren erzeugte Niederfrequenz bis zur Gammastrahlung reicht. Seit die Astronomie das Weltall nicht mehr nur im sichtbaren Bereich, sondern auf allen Frequenzen absucht, hat sie enorme Fortschritte gemacht.

Aber nicht nur die Astronomie nutzt das elektromagnetische Spektrum, sondern auch Technik und Medizin. Der Bereich von den Langwellen mit Wellenlängen in der Grössenordnung von einem Kilometer bis zu den Ultrakurzwellen mit Wellenlängen um einen Meter wird für den Rundfunk benutzt. Wellen mit Wellenlängen im Zentimeterbereich haben ihre Anwendung im Radar, und Mikrowellen mit Wellenlängen kleiner als ein Millimeter wärmen in der Küche Esswaren.

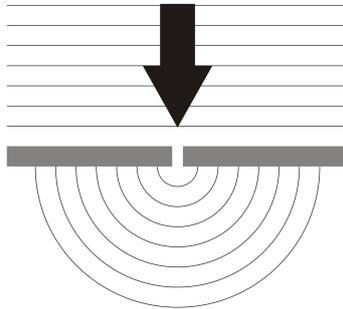
Nach dem Infrarot, dem sichtbaren Licht und dem Ultraviolett kommen die in der Medizin intensiv genutzten Röntgenstrahlen mit ihrem hohen Durchdringungsvermögen. So unentbehrlich sie sind, um beispielsweise Knochenbrüche zu diagnostizieren, so gefährlich kann ihre Anwendung sein, denn als kurzwellige elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen kleiner als  $10^{-9}$  m wirken sie ionisierend und schädigen dadurch Zellen. Noch gefährlicher ist die Gammastrahlung, die als radioaktiv und kosmische Strahlung vorkommt und Wellenlängen bis zur Grössenordnung  $10^{-13}$  m sowie Frequenzen bis zur Grössenordnung  $10^{22}$  Hz hat. Sie wird zur Materialprüfung eingesetzt.

## 3 Prinzip von Huygens

### 3.1 Elementarwellen

Das *Prinzip von Huygens* besagt, dass Punkte, die von einer Welle zur gleichen Zeit erreicht werden, eine Wellenfront bilden, dass jeder Punkt dieser Front als Ausgangspunkt einer *Elementarwelle* angesehen werden kann, und dass die Überlagerung all dieser Elementarwellen die beobachtbare Welle ergibt.

Fällt ein Kieselstein ins Wasser, so entsteht eine kreisförmige Welle. Betupft man stattdessen einen Punkt der Wasseroberfläche in regelmässigen Zeitabständen, so entsteht um diesen Punkt ein ringförmiges Wellensystem. Eine solche Welle mit kreisförmigen Wellenfronten nennt man eine *periodische Elementarwelle*.



In der nebenstehenden Abbildung ist gezeigt, was passiert, wenn eine parallele, etwa von einem Schiff stammende Wellenfront auf eine Quaimauer mit einem Loch trifft. Das Wasser direkt dahinter wird so in zeitlich gleichmässigen Abständen angeregt, dass an dieser Stelle eine halbkreisförmige, periodische Welle entsteht.

Die Öffnung ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle. Die geraden Wellenfronten auf der einen Seite der Mauer führen also zu halbkreisförmigen Wellenfronten auf der anderen Seite.

### 3.2 Beugung

Weshalb Licht nicht wie im Strahlen- und Teilchenmodell gerade durch ein Loch geht, lässt sich mit der Wellennatur und dem Huygens-Prinzip erklären. Die parallele Wellenfront in der obigen Abbildung führt hinter der Öffnung nicht zu einer ebensolchen, sondern zu einer halbkreisförmigen Wellenfront, also zu Beugung. Macht man den Spalt in der Mauer etwas breiter, entsteht in der Mitte eine parallele Wellenfront, die aber auf den Seiten mit viertelkreisförmigen Wellenfronten abgeschlossen sind.

Beugungserscheinungen treten nur auf, wenn die Welle auf Öffnungen oder Hindernisse trifft, die etwa dieselbe Grössenordnung haben wie die Wellenlänge der Welle. Sind Öffnung oder Hindernis viel grösser, entsteht aus einer parallelen Wellenfront praktisch wieder eine solche.

Beispiel:

Weil die tiefen Töne einer Orgel Wellenlängen von gut einem Meter und somit die Grössenordnung der Kirchentüre haben, hört man tiefe Orgeltöne seitlich neben der offenen Kirchentüre besser als hohe Töne.