

## 1 Brechung

An Grenzflächen zwischen zwei Medien mit *unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten* werden Wellen teilweise reflektiert und teilweise *gebrochen*.

Das *Brechungsgesetz* lautet:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Der Grund hierfür ist das sog. *Prinzip von Fermat*:

Eine Welle läuft zwischen zwei Punkten stets so, dass dabei die Zeit, welche für die Zurücklegung des Weges benötigt wird, minimiert wird.

### 1.0.1 Anwendungen und Phänomene

1. Erklärung des gebrochenen Bleistifts.
2. Funktionsweise von Linsen.
3. Fata Morgana.

## 1.1 Dispersion

Definition der Dispersion:

$c$  in Medien ist abhängig von  $f$ .

Aus diesem Grund wird Licht unterschiedlicher Farbe ( $\sim$  Frequenz  $f$ ) unterschiedlich stark gebrochen. Rot (kleinstes  $f$ ) am schwächsten, violett (größtes  $f$ ) am stärksten. Deshalb wird weißes Licht, das durch einen dispersiven Stoff (z. B. Prisma) tritt, in verschiedene Farben aufgespalten.

Der Zusammenhang  $c = \lambda \cdot f$  gilt *immer*, nur wenn keine Dispersion auftritt ist  $c$  konstant. Daraus folgt: *Keine* Disperison  $\Leftrightarrow$  ändert sich  $f$ , muss sich auch  $\lambda$  ändern, so dass das Produkt (=  $c$ ) konstant bleibt.

### 1.1.1 Anwendungen und Phänomene

1. Prisma.
2. Regenbogen.

## 1.2 Streuung

Als Streuung bezeichnet man Reflexion von Licht an kleinen Partikeln (z.B. Rauch, Nebel aber auch Moleküle wie  $N_2$ ,  $H_2O$  in der Luft). Die Streuung kann frequenzabhängig sein, in der Atmosphäre wird blaues ( $\sim$  hohe Frequenz) Licht stärker gestreut.

### 1.2.1 Anwendungen und Phänomene

1. Sichtbarkeit eines Laserstrahls, der durch Rauch tritt.
2. Blaufärbung des Himmels und Abendrot.

## 2 Beugung

An Öffnungen und Hindernissen folgt der Verlauf der Wellenstrahlen nicht dem geometrischen Strahlenverlauf. Dies tritt prinzipiell immer auf, aber deutlich zu bemerken ist das Phänomen, wenn

Abmessung der Öffnung  $\leq$  Wellenlänge  $\lambda$ .

Erklärung des Phänomens erfolgt durch das Prinzip von Huygens (grafisch).

### 2.0.2 Anwendungen und Phänomene

1. Tiefe Töne sind hinter einer Lautsprecherbox stärker zu hören als hohe.
2. Man wird hinter einem Baum gehört, aber nicht gesehen.
3. Ein Lichtstrahl, welcher durch einen dünne Spalt tritt erscheint auf einem Schirm als Linie, er wird also 'aufgeweitet'.

## 2.1 Interferenz

Bei der Beugung eines Lichtstrahls an einem dünnen Spalt und Projektion auf einem Schirm tritt neben der o. g. 'Aufweitung' die Erscheinung auf, dass neben dem eigentlichen – nun länglichen – Lichtfleck noch weitere dünne Linien zu sehen sind. Dies lässt sich nur mit Hilfe der *Interferenz* erklären.

Überlagern sich Wellen, können sich diese verstärken (konstruktive Interferenz) oder auslöschen (destruktive Interferenz). Entscheidend ist, mit welcher Phasendifferenz (= Gangunterschied) sich die Wellen überlagern:

Phasendifferenz  $n \cdot \lambda$  ( $n = 0, 1, 2 \dots$ ): konstruktive Interferenz

Phasendifferenz  $n \cdot \lambda/2$  ( $n = 1, 3, 5 \dots$ ): destruktive Interferenz

Allerdings breiten sich Wellen im Raum in alle Richtungen aus; es gibt dann bei zwei Wellenquellen (= Doppelspalt) Zonen mit konstruktiver und destruktiver Interferenz, die einen gewissen Winkel  $\varphi$  einschliessen. Zonen konstruktiver Interferenz gibt es, wenn folgende Beziehung zwischen  $\varphi$ , dem Abstand  $d$  der Wellenquellen und  $\lambda$  erfüllt ist:

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{d} \cdot n \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Da  $\lambda$  in der Gleichung vorkommt, hängt  $\varphi$  von der Farbe des Lichts bzw. Tonhöhe des Schalls ( $c = \lambda \cdot f$ ) ab. Weisses Licht enthält alle Farben und wird durch Interferenz in seine Spektralfarben aufgefächert, weil die Zonen für konstruktive Interferenz je nach  $\lambda$  in anderen Winkelbereichen  $\varphi$  liegen.

Bei Licht kann man die Zonen konstruktiver und destruktiver Interferenz nicht direkt sehen (warum?), das Licht muss erst auf einen Schirm projiziert werden. Dabei sind dann einzelne Linien zu sehen, deren Abstand sich aus  $\varphi$  ergibt.

### 2.1.1 Anwendungen und Phänomene

1. (bunte) Linien / Streifen bei Beugungerscheinungen am Spalt, Doppelspalt oder Gitter.
  2. verschiedenen Phänomene, die auf einem Gangunterschied zwischen Wellen beruhen wie z.B.
    - farbige Reflexionen auf einer CD
    - Phänomene, die durch Interferenz an dünnen Schichten (s. u.) erklärt werden
  3. Auflösungsvermögen optischer Geräte.
- Ein Gegenstand ist sichtbar, weil er Licht reflektiert, also Wellen abstrahlt. Um zwei getrennte Punkte wahrnehmen zu können, muss sich das abgestrahlte Wellenbild von dem, welches von einem einzelnen Punkt ausgeht, unterscheiden. Das ist dann der Fall, wenn zumindest das Beugungsbild 1. Ordnung auftritt. Es muss also gelten:

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{\lambda}{d} < 1 \\ \frac{\lambda}{d} &< 1 \\ \lambda &< d \end{aligned}$$

---

<sup>1</sup> $n$  gibt die sog. *Ordnung* des Beugungsmaximums an.

Die Wellenlänge muss kleiner sein, als der Abstand der Punkte. Wenn dies nicht erfüllt ist, hilft auch die stärkste Vergrößerung nichts um zwei getrennte Punkte wahrzunehmen (*nicht mit dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges verwechseln!*).

### 2.1.2 Interferenz an dünnen Schichten

Liegt eine dünne Schicht Öl auf Wasser, tritt folgendes Phänomen auf: Das einfallende Licht wird zum einen an der Grenzschicht Luft-Öl reflektiert. Ein Teil des Lichts tritt aber durch die Ölschicht und wird an der Grenzschicht Öl-Wasser reflektiert. Diese beiden reflektierten Lichtstrahlen haben einen Gangunterschied, der von der Dicke  $d$  der Schicht und vom Einfallswinkel  $\varphi$  abhängt. Beträgt dieser Gangunterschied  $n \cdot \lambda$ , tritt konstruktive Interferenz auf. Dadurch entstehen Ringe bzw. Streifen bei monochromatischer Beleuchtung. Weisses Licht wird in verschiedene Farben aufgespalten.

## 3 Kohärenz

Kohärenz bedeutet, dass die ausgesendeten Wellen eine fixe Phasenbeziehung aufweisen.

Warum wird das Licht zweier gewöhnlicher Lampen, die sich im Abstand  $\lambda/2$  von einander befinden, nicht durch destruktive Interferenz ausgelöscht, selbst wenn das Licht gebündelt und monochromatisch ist?

Das Licht gewöhnlicher Lampen hat keine fixe Phasenbeziehung, es wird in Form von vielen mehr oder weniger langen Wellenzügen ausgesendet. Die Überlagerung dieser ergibt niemals in einem bestimmten Punkt (über einen beobachtbar langen Zeitraum) Interferenz. Neben der Inkohärenz ist ein weiterer Grund die nicht vorhandene Polarisation (s. u.) dafür.

## 4 Polarisation

Unter (linearer) Polarisation versteht man, dass eine Welle in nur einer bestimmten Ebene schwingt. Licht gewöhnlicher Lampen oder der Sonne ist nicht (linear) polarisiert, es enthält alle möglichen Schwingungsebenen. Polarisation tritt auf

- wenn das Licht durch ein Polarisationsfilter tritt.
- bei reflektiertem Licht.
- bei Lasern.