

# 1 Grundbegriffe

## Dispersionsrelation

Als Dispersionsrelation wird der Zusammenhang zwischen Teilcheneigenschaften (Frequenz) und Welleneigenschaften (Wellenlänge) bezeichnet. Dieser ist gegeben durch:

$$c = \lambda \cdot f$$

Dabei ist  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Diese wirkt als Koppelgröße.

## Phasenverschiebung und Gangunterschied

Sind zwei Wellen zueinander verschoben, kann diese Verschiebung durch die Phasendifferenz  $\delta$  oder den Gangunterschied  $\Delta s$  angegeben werden.

## 2 Interferenz

Bei Überlagerung zwei oder mehrerer räumlich und zeitlich unbegrenzter Wellen gleicher Frequenz, tritt Interferenz ein. Das resultierende Superpositionsbild ist je nach Phasenlage bzgl. der Intensität verstärkt oder geschwächt. Die Gesamtintensität ist nicht gleich der Summe der Einzelintensitäten. Sie ergibt sich durch:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \delta$$

Dabei ist  $2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \delta$  das Interferenzglied mit der Phasenverschiebung  $\delta$ .

### Konstruktive Interferenz

Konstruktive Interferenz tritt auf, wenn Wellenberge auf Wellenberge treffen. Die Intensitäten verstärken sich gegenseitig, die gemeinsame Intensität erreicht ein Maximum. Dies tritt ein bei:

$$\delta = 2k \cdot \pi$$

### Destruktive Interferenz

Destruktive Interferenz tritt auf, wenn Wellenberg auf Wellental treffen. Die Intensitäten verringern sich gegenseitig, die gemeinsame Intensität erreicht ein Minimum. Dies tritt ein bei:

$$\delta = (2k + 1) \cdot \pi$$

## 3 Kohärenz

Folgen Wellen im dynamischen Verlauf einer gemeinsamen festen Regel, dann liegt Kohärenz vor. Dabei werden zeitlich und räumlich begrenzte Wellenzüge mit der *Kohärenzlänge*  $l$  und der *Kohärenzzeit*  $\tau$  betrachtet.

### Kohärenzbedingung

Für punktförmige Lichtquellen lassen sich folgende Bedingungen formulieren:

- Hinreichende Überlappung im Beobachtungsgebiet nötig, die Wegdifferenz muss kleiner als die Kohärenzlänge sein.
- Phasendifferenz darf sich zeitlich nicht ändern, Lage der Interferenz muss konstant bleiben.
- Eine punktförmige Lichtquelle liegt nur dann vor, wenn der Öffnungswinkel innerhalb von  $2\alpha_k$  liegt und der räumliche Interferenzbedingung genügt.

Die räumliche Interferenzbedingung ergibt sich durch:

$$\sin\alpha_k \ll \frac{\lambda}{2y}$$

wobei  $y$  die lineare Ausdehnung beschreibt.

## Kohärenzlänge und Kohärenzzeit

Die Kohärenzlänge ergibt sich über:

$$L_k = \frac{1}{2\Delta k} \approx \frac{\lambda_0^2}{4\pi\Delta\lambda}$$

Die Kohärenzzeit wird anhand der Kohärenzlänge und mit der Lichtgeschwindigkeit bestimmt über:

$$\Delta t = \frac{L_k}{c_0}$$

## 4 Brechzahl

Die *Brechzahl* bzw. der *Brechungsindex*  $n$  ist eine optische Materialeigenschaft. Die Größe ist dimensionslos und gibt an, um welchen Faktor die Wellenlänge und die Phasengeschwindigkeit des Lichts kleiner ist, als im Vakuum. Unterscheidet sich die Brechzahl an zwei Medien, so tritt dort Brechung und Reflexion auf. Medien mit einer relativ höheren Brechzahl werden als *optisch Dichter* bezeichnet.

## 5 Piezoelektrizität, Magnetostriktion und thermische Ausdehnung

### Piezoelektrizität

Wird ein Festkörper elastisch verformt, so tritt eine elektrische Spannung auf. Umgekehrt tritt eine Verformung ein, sofern eine elektrische Spannung angelegt wird. Dieser Effekt wird als *Piezoelektrizität* bezeichnet. Durch eine gerichtete Verformung entstehen mikroskopische Dipole, die sich zu einer messbaren Spannung aufsummieren.

### Magnetostriktion

Wird ein magnetisches Feld angelegt, so verformt sich ein darin liegender Festkörper. Diese magnetisch induzierte elastische Längenänderung wird als *Magnetostriktion* bezeichnet. Wird ein Ferromagnet in ein Magnetfeld gebracht, so ändert sich die Länge eines Stabes im Bereich von ca.  $10 \mu\text{m/m}$  bis  $30 \mu\text{m/m}$  durch das Drehen der magnetischen Dipole.

### Thermische Ausdehnung

Wird die Temperatur eines Körpers verändert, so ändert sich das Volumen und somit auch die Dichte des Körpers. Dieser Effekt wird als *thermische Ausdehnung* bezeichnet. Bei einer Erwärmung nimmt die Bewegung der Atome und Moleküle zu. Sie benötigen daher mehr Platz, der Körper dehnt sich aus.

## 6 Lichtlaser

Laser unterscheiden sich von anderen Lichtquellen v.a. durch (1) hohe Intensität, (2) sehr enger Frequenzbereich (im Idealfall monochromatisches Licht), (3) scharfe Bündelung des Strahls und (4) große Kohärenzlänge in der Größenordnung von 1m.

→ Skizze: Prinzipieller Aufbau eines Lasers

Ein Laser besteht aus drei Bestandteilen:

1. **Aktives Medium** (Lasermedium): Ein Medium, bei dem durch Anregung die Energieniveaus der Elektronen wechseln. Photonen werden ausgesendet.
2. **Pumpe**: Durch "heineinpumpen" von Energie wird das aktive Medium aus seinem thermodynamischem Gleichgewicht gebracht. Es entsteht eine Besetzungsinversion, höhere Energieniveaus werden besetzt. Durch Stimulation mittels eines Photons, fällt das Elektron wieder zurück und ein Photon mit identischer Eigenschaft wird ausgesendet (*stimulierte Emission*). Nach einmaliger Aktivierung entsteht eine Kettenreaktion.
3. **Resonator** (Modenselektor): Im Resonator wird das erzeugte Licht zwischen zwei Spiegeln oft hin und her reflektiert. Es entsteht eine stehende Welle durch Interferenz, sofern die Länge des Resonators ein Vielfaches der halben Wellenlänge beträgt. Der Resonator ermöglicht die hohe Kohärenz und das nahezu monochromatische Licht.

## He-Ne-Laser

Bei einem *Helium-Neon-Laser* wird das Helium für das Pumpen benötigt, während das Neon als aktives Medium wirkt. Zwischen zwei Elektroden findet eine Gasentladung statt, dabei fließt ein Strom durch das Gas, welches ionisiert wird. Der angeregte Zustand der Helium-Atome führt zu Stößen, bei denen die Energie auf die Neon-Atome übertragen wird, wobei dort eine Besetzungsinversion statt findet. Photonen können abgegeben und im Resonator konzentriert werden.

→ Skizze: Prinzipieller Aufbau eines He-Ne-Lasers

Das emittierte Licht hat eine Wellenlängen von 632,816 nm und erscheint damit rot. Die Kohärenzlänge einfacher Laser liegt im Bereich der Resonatorlänge, meist bei ca. 20 cm bis 30 cm.

## 7 Michelson Interferometer

Beim Michelson-Interferometer wird ein Lichtstrahl mittels eines halbdurchlässigen Spiegels aufgeteilt. Beide Strahlen treffen auf einen vollständig reflektierenden Spiegel. Nach der Reflektion gelangen sie erneut zum halbdurchlässigen Spiegel, werden beide gemeinsam in Richtung eines Detektors abgelenkt und überlagert, es entstehen Interferenzen. Eine Phasenverschiebung kann durch Ändern der (1) Spiegelposition oder des (2) Brechungsindex in einer der Arme erfolgen.

→ Skizze Michelson Interferometer (siehe Buch Seite 266)

Am halbdurchlässigen Strahlteiler kommt es beim gebrochenen Strahl zu einer Phasenverschiebung um  $\frac{\lambda}{2}$  bzw.  $\pi$ , welche durch eine Korrekturplatte wieder korrigiert werden kann. Auch an den Spiegeln kommt es zu einer Phasenverschiebung. Der maximal mögliche Gangunterschied im Interferometer ergibt sich über die Kohärenzlänge. Der Phasenunterschied  $\phi$  der zwei Teilstrahlen ergibt sich durch:

$$\phi = \pi + 2\pi \frac{2 \cdot (l_2 - l_1)}{\lambda_0}$$

wobei  $\lambda_0$  der Wellenlänge des verwendeten Lichts entspricht.

Bei Vielfachen von ungeraden  $\pi$  ergibt sich destruktive, bei Vielfachen von  $2\pi$  konstruktive Interferenz.