

1 Grundlagen

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 δ oder den Gangunterschied Δs 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 δ .

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* τ 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 Beugung am Gitter

Beugung (Defraktion) ist die Ablenkung von Wellen an einem Hindernis. Durch Beugung kann sich eine Welle in den Raumbereichen ausbreiten, die auf rein geraden Weg durch Hindernis versperrt wäre. Optische Gitter (meist aus Glas- oder Metallplatten) bestehen aus einer Vielzahl von Spalten bzw. Linien, die in einem regelmäßigen Abstand, sehr eng benachbart angeordnet sind. Beleuchtet man das Gitter aus dem Unendlichen, so kann man das Gitter als eine Reihe von synchron angeordneten (schwingenden) Oszillatoren ansehen, welche eine Kreiswelle erzeugen. Wenn man nur die Kreiswelle einer bestimmten Richtung beobachtet, so haben die Wellenfronten einen Gangunterschied von:

$$\Delta s = \sin(\phi) \cdot d$$

d ist der Abstand der Oszillatoren und ϕ der Winkel am Gitter. Wenn der Abstand des Betrachters im Vergleich zum Abstand der Oszillatoren groß ist, verlaufen die Wellen am Spalt zum Beobachter nahezu parallel und ϕ ist für alle Spalten gleich groß. Will man eine positive Interferenz beobachten, so muss Δs ein Vielfaches von λ sein:

$$\Delta s = k \cdot \lambda$$

k ist eine ganze Zahl und Ordnung des Interferenzmaximums. Beobachtet man aus der Ferne, so ist die Beugung eine Fraunhoferbeugung. Beobachtet man jedoch aus der Nähe oder liefert Lichtquelle nicht paralleles Licht so entsteht die Fresnelbeugung (Effekte sind die selben wie bei der Fraunhofer, nur ist die Beschreibung der Phänomene komplexer).

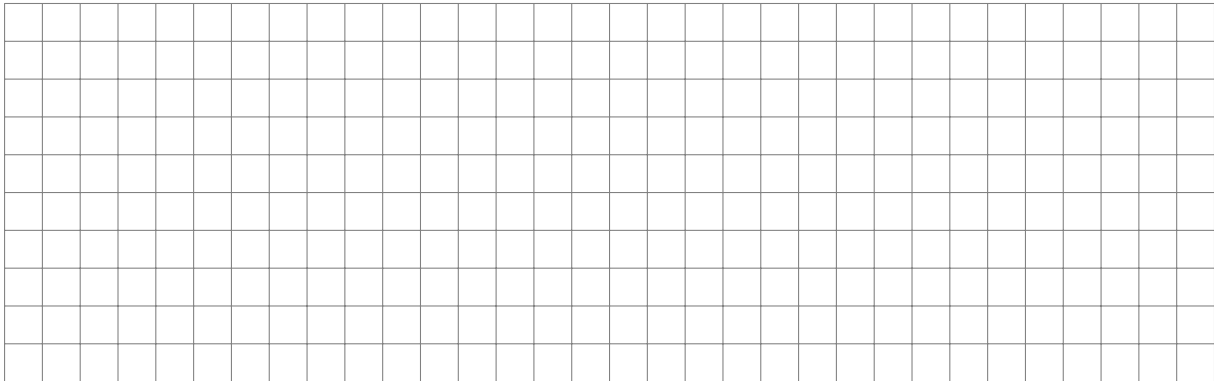
Transmissionsgitter

Es wird eine ebene, monochromatische Lichtwelle, die senkrecht auf ein *Transmissionsgitter* trifft, betrachtet. Das Gitter weist insgesamt N beleuchtete Spalten auf, die voneinander den Abstand g haben.

Bei $\phi = 0$ ist das Licht bei jedem Spalt in Phase, und die Welle hat am Schirm die Amplitude NA_0 . Die Interferenzmaxima treten bei Winkeln ϕ_{max} (mit $m = 0, 1, 2, \dots$) auf, für diese gilt:

$$g \cdot \sin(\phi_{max}) = m \cdot \lambda$$

Beugung am Transmissionsgitter:



Die Position der Interferenzmaxima am Schirm hängen nicht von der Anzahl der Spalten/Quellen ab. Diese beeinflussen jedoch die Intensität und schärfe der Maxima.

Die Interferenzminima treten bei Winkeln ϕ_{min} auf, für die gilt:

$$N \cdot g \cdot \sin(\phi_{min}) = \lambda$$

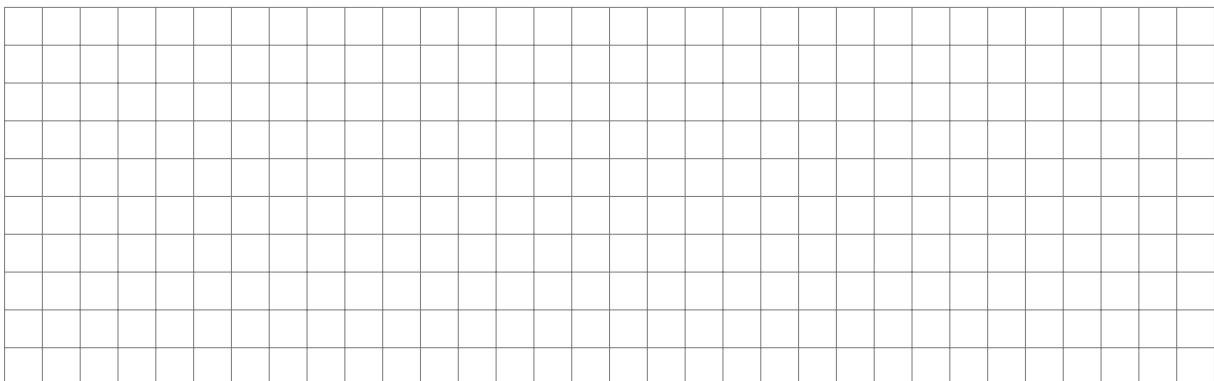
Die Verteilung der Intensität ergibt sich über:

$$I = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\delta'}{2}\right)}{\left(\frac{\delta'}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N \cdot \delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}$$

Reflexionsgitter

In *Reflexionsgittern* haben Elementarwellen für bestimmte Winkel und Wellenlängen in benachbarten Bereichen (z. B. Steg und Lücke eines Kastenprofils) einen Gangunterschied von einem ganzzahlig Vielfachen der Wellenlänge. Dies führt zu konstruktiver Interferenz. Reflexionsgitter sind im Allgemeinen effizienter als Transmissionsgitter, weil im Idealfall die gesamte Strahlungsleistung – abzüglich des Reflexionsverlusts und eventueller Abschattungsverluste – zur gebeugten Leistung beiträgt.

Beugung am Reflexionsgitter:



Die Phasenverschiebung δ ergibt sich durch:

$$\delta = 2\pi \cdot \frac{g}{\lambda} \cdot (\sin \alpha - \sin \beta)$$

Dabei ist α der Einfallswinkel (Lichtquelle) und β der Austrittswinkel (Beobachtungsebene) in Bezug zur Normalen des Gitters. g ist die Gitterkonstante.

Die bei einem Reflexionsgitter mit vielen Spalten beobachtbaren Hauptmaxima der Intensitätsverteilung liegen bei:

$$\sin(\beta_{max,k}) = \sin(\alpha) - \frac{k \cdot \lambda}{g}$$

5 Auflösungsvermögen eines optischen Gitters

Das Auflösungsvermögen A eines Spektrometers gibt Aufschluss über die Fähigkeit Intensitätsmaxima von Lichtwellen mit nah beieinander liegenden Wellenlängen, nach dem Durchgang des Apparates, räumlich getrennt darzustellen. Es ist definiert als:

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

$\Delta\lambda$ ist die kleinste Wellenlängenänderung, welche noch wahrnehmbar ist und hängt von der Breite der am Gitter entstanden Beugungsstreifen ab. Da die Winkel höherer Beugungsordnungen am Gitter auch von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängen, müsste das Auflösungsvermögen theoretisch für jede Wellenlänge angegeben werden werden.

Bei Beugungsgittern gelten 2 Wellenlängen als getrennt, wenn das Interferenzmaximum der einen Wellenlänge in das Interferenzminimum der anderen fällt. Das Auflösungsvermögen eines Gitters ist unabhängig von der Einfallrichtung, nimmt mit steigender Ordnung des Interferenzmaximas zu und wird lediglich durch die Stichzahl N und die Beugungsordnung k bestimmt:

$$A = k \cdot N$$

6 Entstehung eines Linienspektrums

Ein *Linienspektrums* ist ein Strahlungsspektrum, welches voneinander getrennte (diskrete) Linien zeigt. Atome & Moleküle eines jeden Materials haben charakteristische Energieniveaus, auf denen sich Elektronen aufhalten. Der Übergang von einem auf ein anderes Energieniveau erfolgt entweder durch Aufnahme eines Photons (Übergang von tieferen auf höheren Zustand) oder durch Abgabe eines Photons (Übergang von höherem auf tieferen Zustand). Oftmals haben Materialien eine große Anzahl von Eigenzuständen, allerdings eignen sich nur wenige davon als Absorber oder Emitter. Befindet sich ein Material zwischen einer Strahlungsquelle und dem Spektrometer, so absorbiert es Photonen mit einer Energie, welche durch die Energiezustände des Materials gegeben sind. Im beobachteten Spektrum fehlen genau die Photonen, sie erscheinen als Absorptionslinien. Wird ein Molekül oder Atom einmal angeregt, so geht es nach sehr kurzer Zeit wieder in den vorigen tieferen Zustand über. Hierbei wird ein Photon ausgesendet mit einer Energie welche der Energiedifferenz zwischen den Zuständen entspricht.