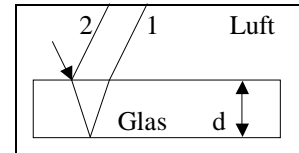


# Interferenz an dünnen Schichten - Polarisation

## Interferenz an dünnen Schichten

Betrachte die Bilder im Dorn-Bader 250.1, 252.2, 253.1, 253.2, schillernde Seifenblasen, Ölflecken auf Wasserpflützen, das „Pfaueauge“, „Newtonringe“ beim Dia oder OH-Projektor. Die Ringe von hellen und dunklen oder die farbigen Streifen haben alle gemeinsam, dass sie Interferenzerscheinungen darstellen, die durch mehrfache Reflexion auftreten und nicht durch Brechung oder Beugung erzeugt werden.

Erläuterung: lies dazu die Kopie Cornelsen, Oberstufe Physik, S. 226



### Musterbeispiel

- Ein Lichtstrahl fällt *unter kleinem Winkel* gegen eine Glasscheibe der Dicke  $d$ .
- Ein Teil (1) wird ins Glas hinein gebrochen und unten reflektiert und verläßt das Glas wieder oben. Ein anderer Teil (2) wird direkt reflektiert
- Hat das Licht in Luft die Wellenlänge  $\lambda$ , so beträgt die Wellenlänge im Glas  $\frac{1}{n} \lambda$ .
- Strahl (1) hat einen um ca.  $2d$  längeren Weg als Strahl (2), interferiert also mit diesem.
- Die Reflexion von (2) entspricht der Reflexion am festen Ende - ohne Phasenverschiebung
- Die Reflexion von (1) entspricht der Reflexion am losen Ende - mit Phasenverschiebung um eine halbe Wellenlänge, damit beträgt der Gangunterschied von Strahl (1) zu (2):  $\delta = 2d + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{n}$
- Destruktive Interferenz tritt ein bei  $\delta = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{n} \Rightarrow 2d = k \frac{\lambda}{n}$  für  $k = 0, 1, 2, \dots$

**Folgerung:** Je nach Schichtdicke interferieren einzelne Wellenlängen destruktiv.

Bsp.:  $d = 0,5 \mu\text{m}; n = 1,5 \Rightarrow \lambda = \frac{2nd}{k}$  für  $k = 1: \lambda = 1500 \text{nm}$  (IR-Bereich);  $k=2: \lambda = 750 \text{nm}$  (rot)  
für  $k = 3: \lambda = 500 \text{nm}$  (grün);  $k=4: \lambda = 375 \text{nm}$  (UV-Bereich)

Anwendung: Entspiegelung von Brillengläsern, Ferngläsern etc. durch vergütete Linsen (S. 227 Kopie)

Bem.: Fehlt im Spektrum nur die Farbe Grün, so nimmt unser Auge die Komplementärfarbe wahr: hier Violett.

## Polarisation des Lichtes

**Grundfrage: Ist Licht eine Quer- oder eine Längswelle?**

Untersuchung dieser Frage an einem Gitter, der sogenannten **Polarisationsfolie**.

**Herstellung dieses Gitters:** Eine Folie aus Kunststoff wird in die Länge gezogen, so dass sich darin lange Molekülketten bilden. Elektronen können nur längs dieser Ketten schwingen: also ein Hertzsches Gitter.

**Versuch 1:** Licht einer Glühlampe gelangt durch die Polarisationsfolie. Wir beobachten auf einem Schirm bei jedem Drehwinkel der Folie dieselbe Intensität - wenn auch geringer als ohne Folie.

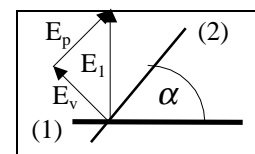
**These 1:** Licht ist eine Längswelle, geht also stets durch das Gitter.

**These 2:** Licht ist eine Querwelle, aber es gibt hier in jeder Richtung Querwellen.

**Versuch 2:** Licht einer Glühlampe gelangt durch eine erste Polarisationsfolie und anschließend eine zweite.

Wir beobachten auf einem Schirm bei einem Drehwinkel der zweiten Folie dieselbe Intensität wie in Versuch 1, drehen wir die Folie wird es dunkel, bei  $90^\circ$  herrscht vollständige Dunkelheit.

Damit ist These 1 widerlegt, These 2 dagegen kann dies erklären: die erste Folie, der sogenannte Polarisor, läßt nur die Querwelle nur in einer Richtung durch, sie ist dann polarisiert. Ist die zweite Folie, der sogenannte Analysator, dazu parallel ausgerichtet, so geht das polarisierte Licht durch. Steht der Analysator dazu senkrecht, so sperrt er genau die polarisierte Querwelle. Bei einem Winkel zwischen  $0$  und  $90^\circ$  geht nur ein Teil durch - vektoriell ermittelbar.

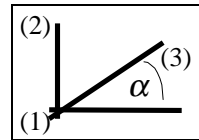


Bsp. 1: Ist die zweite Folie um den Winkel  $\alpha$  gedreht, so ergibt sich (Lichtstrahlung ins Blatt hinein): erste Folie läßt polarisiertes Licht mit der elektrischen Feldkomponente  $E_1$ , aufspaltbar in eine parallele Komponente  $E_p$  und vertikale  $E_v$  durch. (Ein Hertzsches Gitter läßt nur Komponenten senkrecht zur Gitterrichtung durch, da es in dieser Richtung nicht schwingen kann). Zwischen  $E_1$  und  $E_v$  ist somit auch der Winkel  $\alpha$ , es gilt also:

$$E_v = E_1 \cos \alpha$$

Damit gilt für die Intensität:  $S \sim E_v^2 = E_1^2 \cos^2 \alpha$

Bsp. 2: Ist die 2. Folie um  $90^\circ$  gegenüber der ersten gedreht, herrscht Dunkelheit. Bringen wir aber eine dritte Folie zwischen die beiden, gegenüber der ersten um  $\alpha$  gedreht, so gelangt wieder ein Teil des Lichtes durch. Damit dreht also die Folie (3) die Polarisationsrichtung.



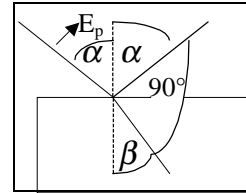
Durch Folie (3) gelangt  $E_3 = E_1 \cos \alpha$ . Die Folie (2) ist um  $90^\circ - \alpha$  weiter gedreht, läßt also  $E_2 = E_3 \cos(90^\circ - \alpha) = E_1 \cos \alpha \cdot \cos(90^\circ - \alpha)$  durch.

Für die Intensität gilt:  $S \sim E_1^2 \cos^2 \alpha \cdot \cos^2(90^\circ - \alpha)$

### Das Gesetz von Brewster

*Versuch:* Unpolarisiertes Licht wird an einem Glaskörper teilweise an der Oberfläche reflektiert und teilweise gebrochen. Betrachten wir das reflektierte Licht durch eine Polarisationsfolie, so gibt es einen Einfallswinkel, unter dem das reflektierte Licht vollständig polarisiert ist.

*Qualitative Erklärung:* Das einfallende Licht ist unpolarisiert, wir können es also in Komponenten  $E_p$  und  $E_v$  zur Einfallsebene aufspalten. Im Glas regen diese E-Feld-Vektoren die Elektronen zum Schwingen an, wir haben also kleine schwingende Hertzsche Dipole - die Ursache der reflektierten Welle. Ein Hertzscher Dipol strahlt aber längs seiner Achse nicht. Steht also die reflektierte Welle senkrecht auf dem gebrochenen Strahl, kann die Komponente  $E_p$  nicht in Richtung der reflektierten Welle abstrahlen, diese hat also nur die Polarisationsrichtung von  $E_v$ .



*Quantitative Erklärung:* Es gilt:  $180^\circ = \alpha + 90^\circ + \beta \Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha$  und  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$

$$\Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = n. \text{ Damit ergibt sich das}$$

**Gesetz von Brewster:** Beim Einfallswinkel  $\alpha$  mit  $\tan \alpha = n$  ist der reflektierte Strahl vollständig polarisiert.

*Bsp.:* Bei Glas mit  $n = 1,5$  ist bei einem Einfallswinkel von  $56^\circ$  der reflektierte Strahl vollständig polarisiert.

*Bem.:* Auch gestreutes Licht ist teilweise polarisiert. Unter  $90^\circ$  gestreutes Licht ist vollständig polarisiert.

*Bestätigung durch den Versuch:* Licht wird an Wasser-Milch-Emulsion gestreut.  $90^\circ$  zur Einfallsrichtung gestreutes Licht ist durch einen Analysator vollständig auslöschar.

*Anwendung in Natur und Technik:*

1. Fotoapparate mit Polarisationsfiltern können störende Reflexe abschwächen.
2. Fischreiher haben Augen mit Polarisationsfilter und können so Fische unter Wasser besser erkennen.
3. Bienen orientieren sich an der Polarisationsrichtung des blauen - an den Luftmolekülen gestreuten und somit polarisierten - Himmelslichts.
4. Der Zuckergehalt im Blut oder Urin ist wichtig zur Diagnose und Kontrolle der Diabetes. Er wird mit einem Saccharimeter bestimmt, zwei gekreuzten Polarisationsfiltern, zwischen denen die Flüssigkeit eingefüllt wird. Die Zuckermoleküle drehen die Polarisationsrichtung - in Abhängigkeit von der Zuckerkonzentration.

### Zusammenfassung auf die Frage: Was ist Licht?

- Eine Welle (Interferenzerscheinungen, Beugung, Streuung nur bei Wellen; Reflexion, Brechung durch Wellencharakter erklärbar)
- Eine Querwelle (Polarisation)
- Eine elektromagnetische Welle (genügt den Maxwell'schen Gleichungen, insbesondere hat es auch dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ )
- Wellenlängenbereich im Vakuum: 400 bis 800 nm (aus Interferenzmessungen)

- (vorläufiges) Ende der Optik (des 19-ten Jahrhunderts) -