

6.5 Optik mit komplexem Brechungsindex

6.5.1 Was man wissen möchte und was man wissen kann

Die Bilder unten zeigen schematisch und relativ komplett, was man über das Verhältnis von Licht und Materie gerne wissen möchte.

- Die wesentlichen Daten über sichtbares Licht finden sich im [Link](#). Hier nehmen wir nur mal die Zahlen, die man wissen sollte zur Kenntnis:

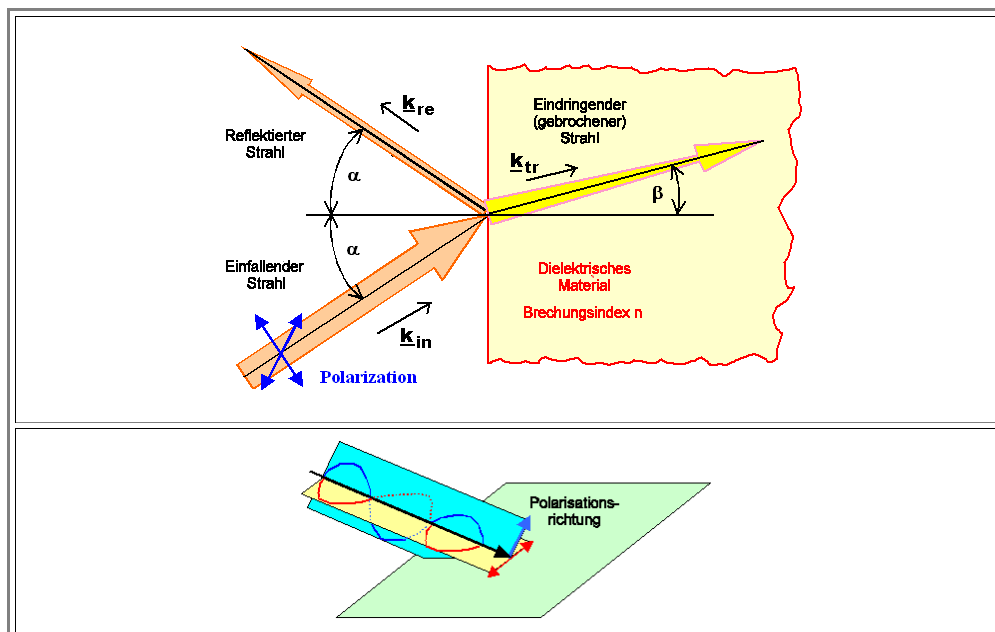
Zahlen zum Licht			
		Zehnerwert	Besserer Wert
Wellenlänge	≈	1 μm	500 nm
Frequenz	≈	10 ¹⁴ Hz	5 · 10 ¹⁴ Hz
Energie	≈	1 eV	2,5 eV

- Frequenz ν und Wellenlänge λ sind über die Lichtgeschwindigkeit $c=c_0/n$ (c_0 =Lichtgeschwindigkeit im Vakuum $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s; n =Brechungsindex) immer verknüpft durch die "Dispersionsrelation":

$$c = \nu \cdot \lambda$$

Was im Großen und Ganzen passieren kann ist:

- Ein Lichtstrahl mit einer Intensität I_0 (symbolisiert durch die Breite des Pfeils im Bild unten), der Kreisfrequenz ω und einer definierten **optischen Polarisation** P_{opt} (d. h. Schwingungsebene des elektrischen Feldes) fällt unter einem Winkel α auf ein Material.
- Die optische Polarisation P_{opt} kann immer aufgeteilt werden in einen Anteil in der Ebene des Materials und einen Anteil senkrecht dazu, wie im unteren Bild gezeigt.



- Was passieren kann ist:

- Ein Teil I_M des einfallenden Lichts wird **gebrochen** und dringt unter dem Winkel β in das Material ein.
- Der Teil $R=I_0 - I_M$ des einfallenden Lichtes wird unter dem Winkel $-\alpha$ **reflektiert**.
- Das im Material laufende Licht wird **absorbiert**: $I_M(z)=I_M(z=0) \cdot \exp(-az)$. $1/a = a^{-1}$ ist die **Absorptionslänge**, deren Zahlenwert angibt, nach welcher Strecke die Intensität auf $1/e=0,368$ abgeklungen ist

- Was wir gerne wissen, d.h. ausrechnen möchten ist immer als Funktion des Einfallwinkels α , der **Polarisation** P_{opt} und der Kreisfrequenz ω oder "Farbe" des Lichts. Mehr kann man für die Grundzüge der Optik eigentlich gar nicht wissen.
 - Der **Reflexionskoeffizient** R ;
 - Der (Brechungs)winkel β ;
 - Der **Absorptionskoeffizient** a ,

Überraschung! Die Antworten zu allen obigen Fragen stecken komplett in der dielektrischen Funktion des Materials!

- Wir müssen lediglich auch den **Brechungsindex** als **komplexe Größe** begreifen: $n^* = n + i \cdot \kappa$ (statt n' und n'' bevorzugen wir hier n und κ). Wir haben dann die folgenden Relationen:

$$(n + i\kappa)^2 = \epsilon' - i \cdot \epsilon''$$

$$n^2 = \frac{1}{2} \left(\left(\epsilon'^2 + \epsilon''^2 \right)^{1/2} + \epsilon' \right)$$

$$\kappa^2 = \frac{1}{2} \left(\left(\epsilon'^2 + \epsilon''^2 \right)^{1/2} - \epsilon' \right)$$

- Für $\epsilon''=0$ erhalten wir sofort $n^2=\epsilon'$; $\kappa=0$.

Im n stecken die Antworten auf die Fragen 1 und 2, im κ die Antwort auf Frage 3.

- Antwort auf die Fragen 1 und 2 geben die sogenannten **Fresnel-Gleichungen**, die wir uns aber hier ersparen.

Wie ist das mit der Absorption?

- Wenn man kurz rechnet, sieht man, dass die Feldstärke und damit auch **Intensität** der im Material laufenden elektromagnetischen Lichtwelle mit $\exp(-\omega \cdot \kappa \cdot x / c)$ abfällt; unten ist der Rechengang gezeigt (dabei berücksichtigen, dass die Lichtgeschwindigkeit im Material durch c/n gegeben ist)

$$E_x = E_{0,x} \cdot \exp \left[i \cdot \left(\frac{\omega \cdot n^*}{c} \cdot x - \omega \cdot t \right) \right] = E_{0,x} \cdot \exp \left[i \cdot \left(\frac{\omega \cdot (n + i \cdot \kappa)}{c} \cdot x - \omega \cdot t \right) \right]$$

$$E_x = E_{0,x} \cdot \exp \left[\left(\frac{i \cdot \omega \cdot n \cdot x}{c} - \frac{\omega \cdot \kappa \cdot x}{c} - i \cdot \omega \cdot t \right) \right] = \exp \left(- \frac{\omega \cdot \kappa \cdot x}{c} \right) \cdot \exp \left[i \cdot (k_x \cdot x - \omega \cdot t) \right]$$

- Damit gilt für den **Absorptionskoeffizienten** $a = \omega \kappa / c = 2\pi \kappa / \lambda$ (wir haben immer $c = v \cdot \lambda$) und also $2\pi \kappa = a \lambda = \lambda / a^{-1}$. Die Zahl κ sagt daher effektiv aus, nach wievielen Wellenlängen das Licht weitgehend absorbiert ist.

Das soll zur Optik erst mal reichen.

- Wichtig ist zunächst mal **nur**, zu verstehen, daß bei optischen Frequenzen nichts grundsätzlich Neues entsteht. Wir haben die Interaktion eines elektrischen Felds mit einem Dielektrikum.

Jetzt noch ein paar schnelle Fragen:

Fragebogen

Schnelle Fragen zu 6.5.1