Die Reflexion von Licht
Die Fresnel'schen Formeln

Gegenstand dieses Kapitels ist die Berechnung der Intensität eines Reflektierten Lichtstrahles, der aus einem Medium mit der Brechzahl n_1 kommend auf eine Grenzfläche mit der Brechzahl n_2 auftrifft.

Für die Intensität einer ebenen Welle gilt:

$$I = \sqrt{\varepsilon_r}\, E_{eff}^2 / Z_v = n\, E_{eff}^2 / Z_v$$

$$n = \sqrt{\varepsilon_r} = {c_0}/{c} \qquad Maxwell-\mathrm{Re}\,lation$$

$$Z_v = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$$

Als Einfallsebene des Lichtstrahles wählen wir die x-z-Ebene.

An der Grenzfläche gelten folgende Randbedingungen:

- Stetigkeit der Normalkomponente von **D:**

  Diese Bedingung führt (wie die Stetigkeit der Parallelkomponente von **k**) zum Brechungsgesetz:

  $$\boxed{n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta}$$

- Stetigkeit der Tangentialkomponente von **E:**

  $$\boxed{E_{e\parallel} + E_{r\parallel} = E_{g\parallel}}$$

- Erhaltung der Normalkomponente des Energiestromes:

  $$\boxed{I_{e\perp} - I_{r\perp} = I_{g\perp}}$$

Polarisation des Lichtes senkrecht zur Einfallsebene (s-Wellen)

Für $\vec{E} = E_y \vec{j}$ erhält man für $E_{e\|} + E_{r\|} = E_{g\|}$

folgende Gleichung: $\boxed{E_{ey} + E_{ry} = E_{gy}}$

Die Intensitätsbedingung für die Normalkomponente des Poyntingvektors $I_{e\perp} - I_{r\perp} = I_{g\perp}$

schreibt sich folgendermaßen:

$$\boxed{n_1\left(E_{ey}^2 - E_{ry}^2\right)\cos\alpha = n_2 E_{gy}^2 \cos\beta}$$

Eliminiert man aus beiden Gleichungen die Größe E_{gy} und verwendet das Brechungsgesetz, so erhält man folgende Beziehung zwischen den Effektivwerten der einfallenden (E_{ey}) und reflektierten (E_{ry}) Amplitude:

$$E_{ry} = E_{ey} \frac{\cos\alpha \sin\beta - \sin\alpha \cos\beta}{\cos\alpha \sin\beta + \sin\alpha \cos\beta} = -E_{ey} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Für den Reflexionskoeffizienten gilt dann:

$$\boxed{R_s = \left(\frac{E_{er}}{E_{ey}}\right)^2 = \left(\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}\right)^2}$$

Im Spezialfall fast senkrechten Einfalls ($\cos\alpha \approx 1$, $\cos\beta \approx 1$) erhält man:

$$\boxed{R_\perp = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2}$$

Polarisation des Lichtes in der Einfallsebene (p-Wellen)

Wegen der Stetigkeit der **E**-Komponenten in x-Richtung gilt

$$\boxed{(E_e + E_r)\cos\alpha = E_g \cos\beta}$$

Die Bedingung für den Energiestrom ist identisch:

$$\boxed{n_1\left(E_{ey}^2 - E_{ry}^2\right)\cos\alpha = n_2 E_{gy}^2 \cos\beta}$$

Diesmal erhält man für den Reflexionskoeffizienten:

$$\boxed{R_p = \left(\frac{\tan(\alpha-\beta)}{\tan(\alpha+\beta)}\right)^2}$$

Für senkrechten Einfall gilt analog wie bei s-Wellen:

$$\boxed{R_\perp = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2}$$

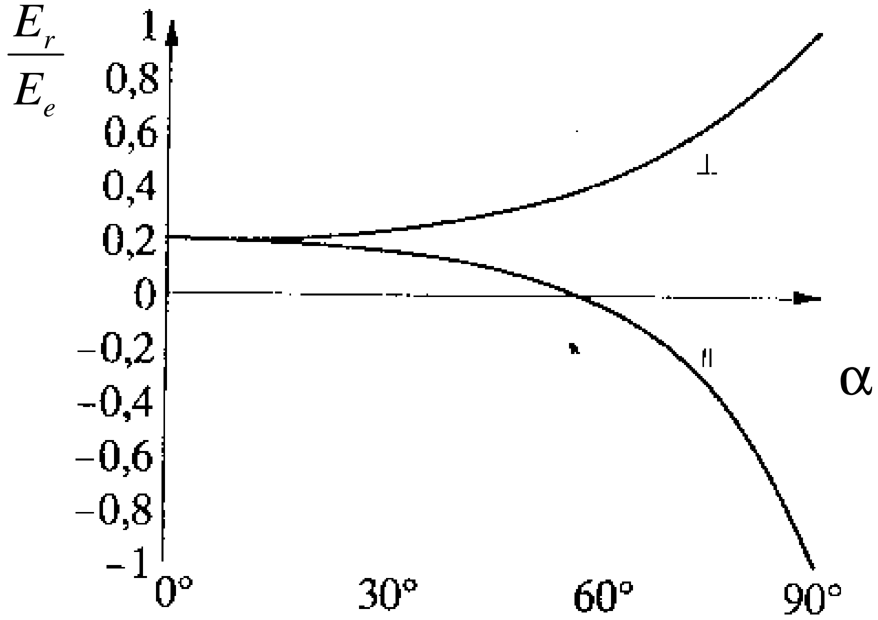
Für nahezu parallelen Einfall gilt für s-wie p-Wellen:

$$\boxed{R_\parallel = 1}$$

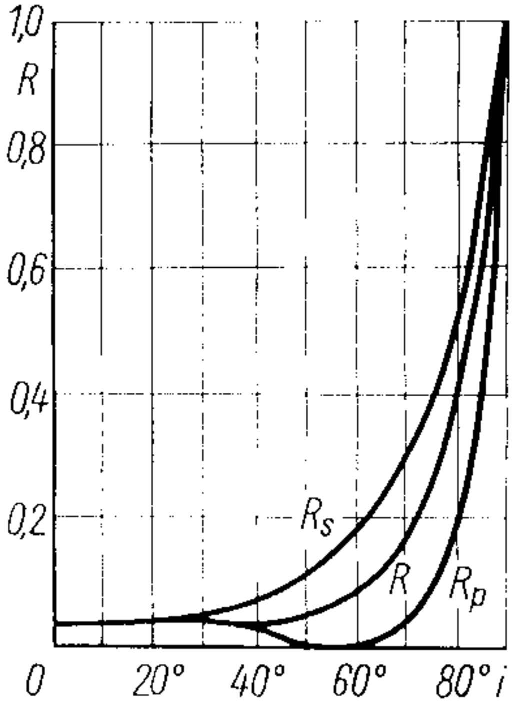
Im Falle $\alpha + \beta = 90°$ ist für p-Wellen $R_p = 0$. Man erhält dann mittels des Brechungsgesetzes das **Brewster'sche Gesetz**:

$$\boxed{\tan\alpha_{Br} = n_2 / n_1}$$

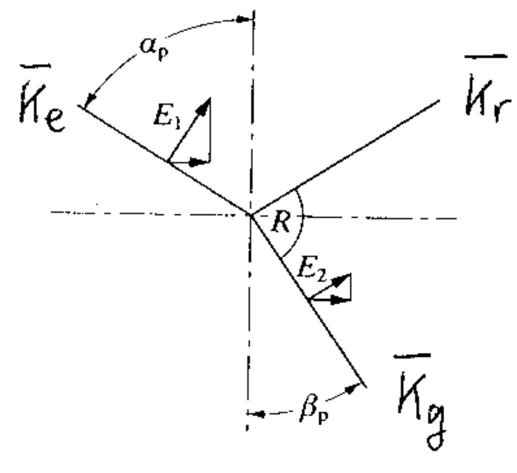
Trifft ein Lichtgemisch aus s-Wellen und p-Wellen unter dem Winkel α_{Br} auf eine Grenzfläche, so ist der reflektierte Lichtstrahl vollständig senkrecht zur Einfallsebene polarisiert.



Abhängigkeit der normierten reflektierten Amplitude für den Übergang Luft-Glas



Reflexionskoeffizient für den Übergang Luft-Glas



Bedingung für die Erzeugung von vollständig polarisiertem Licht

Rechenbeispiele für den Übergang Glas-Wasser