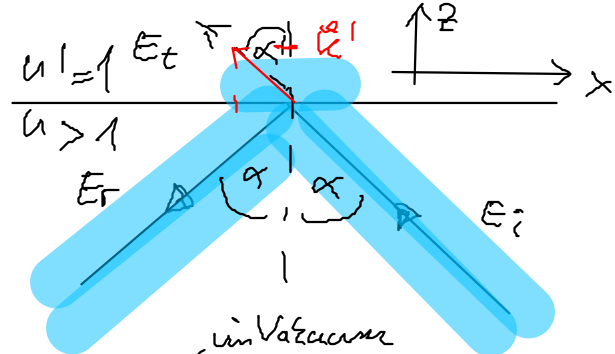
Totalreflexion

Oberflächenwelle

Ein $\vec{E}$-Feld reicht in den Raum n_0



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'} = \frac{n'}{n} \Rightarrow \sin\alpha_{krit} = \frac{n'}{n}$$

Ansatz $\vec{E}_i = \vec{E}_{i0}(t)\, e^{i\vec{k}\vec{r}}$ mit $k = |\vec{k}| = n k_0 = n\frac{2\pi}{\lambda_0}$ (im Vakuum)

$\vec{E}_t = \vec{E}_{t0}(t)\, e^{i\vec{k}'\vec{r}}$ mit $k' = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

$k'_x = k'\sin\alpha'$

$k'_z = k'\cos\alpha'$

$$\vec{k}'\vec{r} = \begin{pmatrix} k_x' \\ k_y' \\ k_z' \end{pmatrix}\begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} = k_x' x + \underbrace{k_y' y}_{=0} + k_z' z$$

$$= k' x \sin\alpha' + k' z\cos\alpha'$$

- Totalreflexion: $\sin\alpha' = n\sin\alpha > 1 \Rightarrow \alpha'$ ist imaginär

$$\cos\alpha' = \sqrt{1-\sin^2\alpha'} = i\sqrt{\sin^2\alpha' - 1} = i\sqrt{n^2\sin^2\alpha - 1}$$

$$\vec{k}'\vec{r} = k' x\, n\sin\alpha + i k' z\sqrt{n^2\sin^2\alpha - 1}$$

$$\Rightarrow \vec{E}_t = \vec{E}_{t0}\, \underbrace{\exp[i k' x\, n\sin\alpha]}_{\text{propagierende Welle in x-Richtung entlang der Oberfläche}}\, \underbrace{\exp[-k' z\sqrt{n^2\sin^2\alpha - 1}]}_{E \text{ mit } z>0}$$

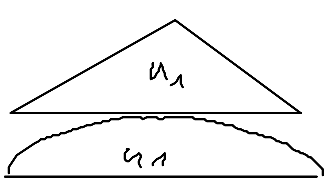
$z \to \infty$ $E \to \exp[-k' \ldots]$ kleiner

- E_t existiert nur bei Einstrahlung von Licht

E_t „sieht" man nicht

$\Rightarrow$ **experimentell ist E_t nachweisbar**

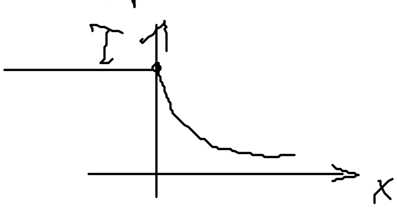
- lege Prisma auf Linsenoberfläche ($f = 1m$)



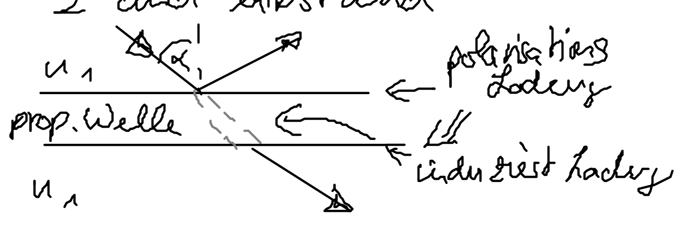
$\Rightarrow$ frustrierte Totalreflexion $\hat{=}$ Aufhebung der Totalrefl.

Oberflächenladung wird induziert im Spalt

$\Rightarrow$ exponentieller Zusammenhang I und Abstand



Spalt



≙ optischer Tunneleffekt

- Strahlversatz in Abhängigkeit der Breite des einfallenden Strahls (Goos-Hänchen-Shift)

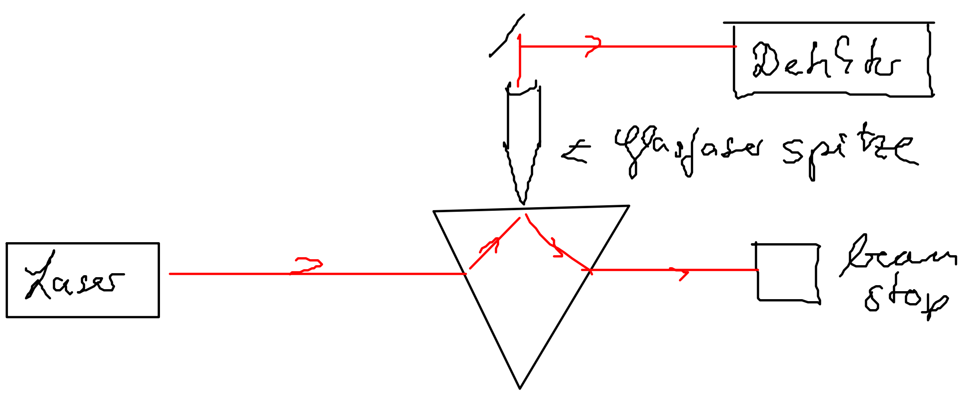
TIRF Mikroskopie

Total Internal Reflection Fluorescense

- Membran der Zelle beobachtbar
  Beleuchtung mit Totalreflexion
  mit evaneszentem Feld wird Zellmembran beleuchtet
  ⇒ sehr guter **Kontrast** (bei zu großer Eindringtiefe ⇒ schlechter Kontrast)
  gut für schwache Fluoreszenz

PSTM Photon Scanning Tunneling Microscopy

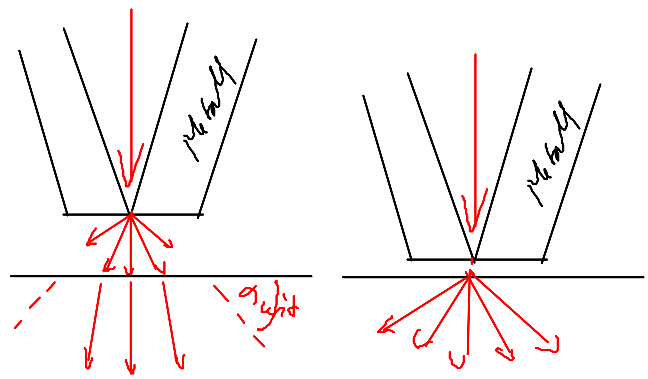
= STOM Scanning Tunneling Optical Microscopy



- Totalreflexion ⇒ mess evaneszentes Feld
- Metallmantel um Spitze
  andere Weise (collection mode)
- durch Spitze mit Metallmantel beleuchten
  ⇒ Totalreflexion

- polarisation von Licht mit Wicklungen in Lichtleitern
- Abstandsabhängigkeit Spitze ⇔ Probe zu Intensität
  ⇒ optischer Resonator an Oberfläche

⇒ stehende Welle



Metallische Oberflächen

evaneszente Wellen an Oberfläche ohne externe Anregung

⇒ resonante Wellen

Optik an Metallen

⇒ komplexe $n = n' + i n''$ $\qquad k_0 = \frac{\omega}{c_0}$ (Dispersion Vakuum)

$$E(x) = E_0 \exp[i(kx - \omega t)] \qquad ik = n k_0$$

$$= E_0 \exp[i\omega t] \exp[i n' k_0 x] \underbrace{\exp[-n'' k_0 x]}_{\text{Dämpfung der Amplitude}}$$

$$\Rightarrow I(x) \propto E(x)^2 = E_0^2 e^{-\alpha x}$$

$\alpha = 2 n'' k_0$ Absorptionskoeffizient α ist messbar bzw Extinktionskoeffizient

allgemein: $n(\omega) = \sqrt{\varepsilon(\omega)}$ $\qquad \varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' = (n' + in'')^2$

$$= n'^2 - n''^2 + i2n'n''$$

$$\Rightarrow n' = \sqrt{\frac{\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}}$$

$$n'' = \sqrt{\frac{\sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} - \varepsilon'}{2}}$$

Plasmonen

elektr. geladene Teilchen im Festkörper z.B. freie Elektronen

- Modell des freien Elektronengases

$m\ddot{x} = -eE$ $\qquad$ Auslenkung des Elektrons

Ansatz $x(t) = x_0 e^{-i\omega t}$ $\qquad E(t) = E_0 e^{-i\omega t}$

$$-\omega^2 m x = -eE \qquad \boxed{x(t) = e\,\frac{E(t)}{m\omega^2}}$$ ⇒ Phasenverschiebung

Frequenz der eingestrahlten Welle ω

Anzahldichte Elektronen pro Raumelement f

Ladungsdichte $\rho = f \cdot e$

$p = -e\,x(t)$

- Polarisation $P = f e x = -\frac{f e^2}{m\omega^2} E$ $\qquad P = \varepsilon_0 \chi(\omega) E$

$$\omega_p := \sqrt{\frac{f e^2}{\varepsilon_0 m}}$$

$$\boxed{\varepsilon(\omega) = 1 + \chi(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}$$

- Wo kann Licht propagieren, wo nicht im Festkörper

$\varepsilon(\omega) > 0$ Welle kann eindringen

$\varepsilon(\omega) < 0$ Dämpfung ⇒ Welle kann nicht eindringen

Dispersionsrelation im Plasma

allgemein: $\omega = \frac{c}{n} k$ $\qquad n^2\omega^2 = c^2k^2$

⇒ $\varepsilon(\omega)\,\omega^2 = c^2k^2$

$$\boxed{\omega = \sqrt{\omega_p^2 + c^2k^2}}$$

⇒ verbotene Frequenzlücke bei Metallen

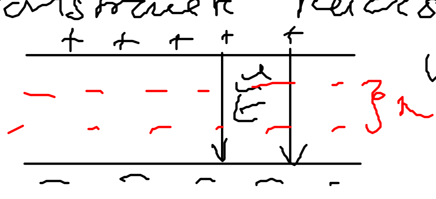
z.B. Alkalimetalle unter 300 nm transparent

Volumen Plasmonen

- nur longitudinale Wellen können angeregt werden

⇒ keine Rückstellkraft

- konstruiere Rückstellkraft mit Oberflächen



momentan angeregtes Feld

Bei Resonanz $\Rightarrow$ anregendes Feld $\vec{D}=0$

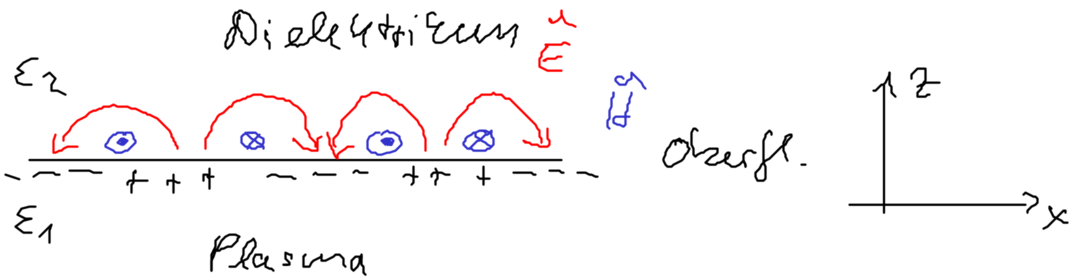
$\Rightarrow D = P + \varepsilon_0 E = \varepsilon(\omega) E = 0$

$\boxed{\varepsilon(\omega) \overset{!}{=} 0}$ bei $\omega = \omega_p = \omega_{rs}$

Oberflächen Plasmonen

Schwingungen des Plasmas an der Oberfläche

- Bedingungen:



Maxwell-Gleichungen müssen erfüllt sein

- Stetigkeitsbedingungen bei $z=0$:

$E_x = E_{x_1} = E_{x_2}$ und $H_y = H_{y_1} = H_{y_2} \Rightarrow k_x = k_{x_1} = k_{x_2}$

$\text{rot}\,\vec{H} = \dot{\vec{D}} = \varepsilon_0 \varepsilon \dot{\vec{E}}$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial y} H_z - \frac{\partial}{\partial z} H_y = \varepsilon_0 \varepsilon \dot{E}_x$$

$z>0$: $-i k_{z2} H_y = -i\omega \varepsilon_2 \varepsilon_0 E_x$

$z<0$: $i k_{z1} H_y = -i\omega \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_x$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{k_{z2}}{k_{z1}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

- $k^2 = \varepsilon \left(\frac{\omega}{c}\right)^2$ Dispersionsrelation des Lichts

$z>0$: $k_x^2 + k_{z2}^2 = \varepsilon_2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \Rightarrow k_{z2}^2 = \varepsilon_2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2$

$z<0$: $k_x^2 + k_{z1}^2 = \varepsilon_1 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \Rightarrow k_{z1}^2 = \varepsilon_1 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2$

$$\boxed{\frac{k_{z2}^2}{k_{z1}^2} = \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)^2 = \frac{\varepsilon_2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2}{\varepsilon_1 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2}}$$

$\boxed{k_x = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}} \left(\frac{\omega}{c}\right)}$ Dispersionsrelation für Oberfl. Plasmonen