

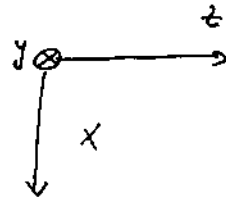
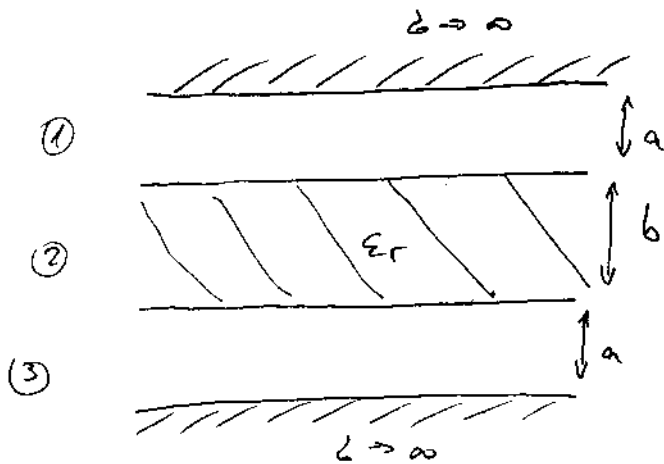
Prüfungs bsp.

(9)

Dielelektrische Wellenleiter

①

*)



TM-welle

$$\frac{d}{dy} = 0$$

$$k_y = 0$$

a) Ansatz für E_z :

TM-Welle $\Rightarrow H_z = 0$

$$E_{z1} = A_1 \sin(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_z \cdot z}$$

$$E_{z2} = A_2 \sin[k_{x2} (x-a)] e^{-j k_z \cdot z}$$

$$E_{z3} = A_3 \sin[k_{x3} (x-(2a+b))] e^{-j k_z \cdot z}$$

b) Restliche Feldkomponenten:

Gleichung 1) $K^2 = k_x^2$

$$E_{x1} = \frac{-j}{K^2} k_z \frac{dE_{z1}}{dx} = \frac{-j}{k_{x1}} k_z A_1 \cos(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_z \cdot z}$$

$$E_{y1} = 0 ; E_{z1} \rightarrow \text{Ansatz}$$

$$H_{y1} = \frac{-j}{K^2} \omega \sigma_1 \frac{dE_{z1}}{dx} = \frac{-j A_1}{k_{x1}} \omega \sigma_1 \cos(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_z \cdot z}$$

$$H_{z1} = 0, H_{x1} = 0$$

Fall 2)

$$E_{x2} = \frac{-j}{k_{x2}} k_z A_2 \cos [k_{x2} (x-a)] e^{-j k_z z}$$

$$\bar{E}_{y2} = 0 \quad E_{z2} \rightarrow \text{Ansatz}$$

$$H_{x2} = 0 \quad H_{z2} = 0$$

$$H_{y2} = \frac{-j}{k_{x2}} \omega \mu_2 A_2 \cos [k_{x2} (x-a)] e^{-j k_z z}$$

Fall 3)

$$E_{x3} = \frac{-j}{k_{x3}} k_z A_3 \cos [k_{x3} (x - (2a+b))] e^{-j k_z z}$$

$$\bar{E}_{y3} = 0 \quad E_{z3} \rightarrow \text{Ansatz}$$

$$H_{x3} = 0 \quad H_{z3} = 0$$

$$H_{y3} = \frac{-j}{k_{x3}} \omega \mu_3 A_3 \cos [k_{x3} (x - (2a+b))] e^{-j k_z z}$$

c) Separationsbed.

$$\nabla^2 E_{zi} + k^2 E_{zi} = 0 \quad \text{w/ \mu_0 \epsilon_0} \quad \delta = e^{-j \sqrt{\epsilon} z}$$

$$-k_{xi}^2 E_{xi} - k_z^2 E_{xi} + k^2 E_{xi} = 0$$

$$k^2 = k_{xi}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_i$$

$$\Rightarrow k_{x1}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$$

$$k_{x2}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r$$

$$k_{x3}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$$

$$\rightarrow k_{x1} = k_{x3}$$

d) Randbedingungen

$$\underline{[E_t]} = 0 \quad x=0 \quad \bar{E}_{t1} = 0$$

$$x=a \quad \bar{E}_{t1} = \bar{E}_{t2}$$

$$A_1 \sin(kx_1 - a) e^{-j\beta z} = 0 \Rightarrow kx_1 = \underline{\underline{\frac{n\pi}{2}}}$$

$$x=a+b \quad \bar{E}_{t2} = \bar{E}_{t3}$$

$$\underline{A_2 \sin(kx_2 - b) e^{-j\beta z} = A_3 \sin[kx_3(-a)] e^{-j\beta z}}$$

$$x=2a+b \quad \bar{E}_{t3} = 0$$

$$\underline{[H_t]} = 0$$

$$x=a \quad H_{y1} = H_{y2}$$

$$\cancel{\frac{A_1}{kx_1}} \cancel{\sqrt{\epsilon_1}} \cos(kx_1 - a) e^{-j\beta z} = \cancel{\frac{A_2}{kx_2}} \cancel{\sqrt{\epsilon_2}} \overset{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon_2}} e^{-j\beta z}$$

$$\Rightarrow \frac{A_1}{kx_1} \cos(kx_1 - a) = \underline{\underline{\frac{A_2 \epsilon_r}{kx_2}}}$$

$$x=a+b \quad H_{y2} = H_{y3}$$

$$\cancel{\frac{A_2}{kx_2}} \cancel{\sqrt{\epsilon_2}} \overset{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon_2}} \cos(kx_2 - b) = \cancel{\frac{A_3}{kx_3}} \cancel{\sqrt{\epsilon_3}} \cos[kx_3(-a)]$$

$$\Rightarrow \frac{A_2 \epsilon_r}{kx_2} \cos(kx_2 - b) = \underline{\underline{\frac{A_3}{kx_3} \cos[kx_3(-a)]}}$$

$$\underline{[B_n]} = 0$$

$$H_{xi} = 0$$

$$\underline{[D_n] = 0}$$

$$x = a \quad E_{x1} = \epsilon_r E_{x2}$$

$$\frac{-j k_z A_1 \cos(k_{x1} a)}{k_{x1}} = \epsilon_r \frac{-j k_z A_2}{k_{x2}}$$

$$x = a + b \quad E_{x2} \cdot \epsilon_r = E_{x3}$$

$$\frac{-j k_z A_2}{k_{x2}} \cdot \epsilon_r \cos(k_{x2} \cdot b) = \frac{-j k_z A_3}{k_{x3}} \cos[k_{x3} (-a)]$$

⇒ keine neue Info!

c) Dispersionsgleichung

$$A_2 \sin(k_{x2} \cdot b) = A_3 \sin[k_{x3} \cdot (-a)]$$

$$A_2 \frac{\epsilon_r}{k_{x2}} \cos(k_{x2} \cdot b) = \frac{A_3}{k_{x3}} \cos[k_{x3} \cdot (-a)]$$

$$\Rightarrow \frac{k_{x2}}{\epsilon_r} \tan(k_{x2} \cdot b) = -k_{x3} \tan(k_{x3} \cdot a)$$

Aus der Sep. bedingung: $k_i^2 = k_z^2 + k_{xi}^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_i$

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_{x1}^2$$

$$k_{x1} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_z^2}$$

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r - k_{x2}^2$$

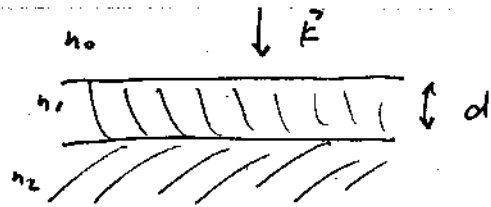
$$k_{x2} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r - k_z^2}$$

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_{x3}^2$$

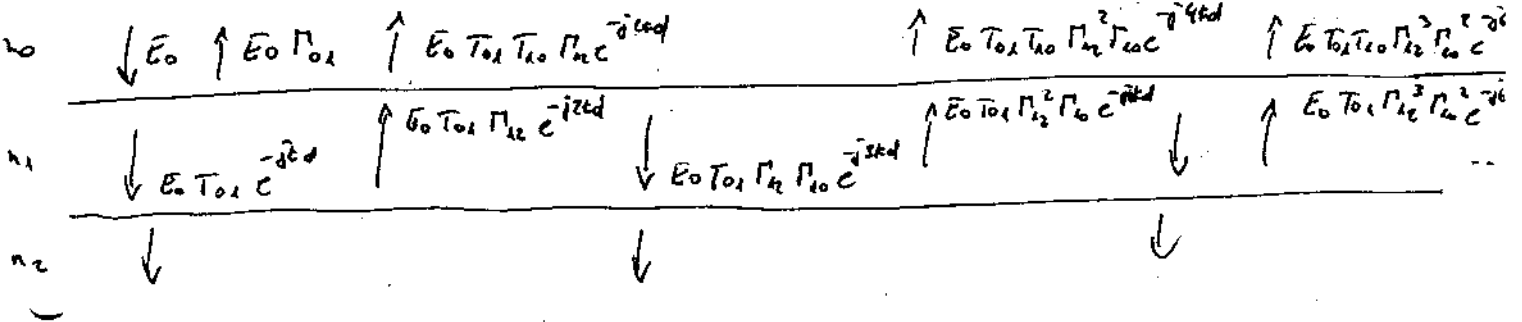
$$k_{x3} = k_{x1}$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r - k_z^2}}{\epsilon_r} \cdot \tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r - k_z^2} \cdot b\right] = -\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_z^2} \cdot \tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_z^2} \cdot a\right]$$

② H) Antireflexbelag



a) $\Gamma = \frac{E_{\text{reflektiert}}}{E_{\text{einfallend}}} = ?$



$$E_r = E_0 \Gamma_{01} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12} e^{-j2kd} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12}^2 \Gamma_{10} e^{-j4kd} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12}^3 \Gamma_{10}^2 e^{-j6kd} + \dots$$

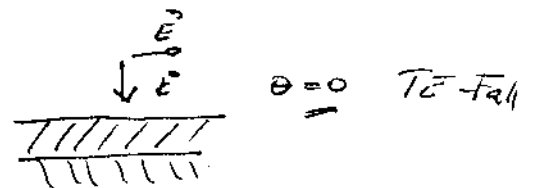
$$= E_0 \Gamma_{01} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12} e^{-j2kd} \sum_{n=0}^{\infty} (\Gamma_{12} \Gamma_{10} e^{-j2kd})^n$$

$$= E_0 \Gamma_{01} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12} e^{-j2kd} \frac{1}{1 - \Gamma_{12} \Gamma_{10} e^{-j2kd}}$$

$E_e = E_0$

$$\Gamma = \Gamma_{01} + \frac{T_{01} T_{10} \Gamma_{12} e^{-j2kd}}{1 - \Gamma_{12} \Gamma_{10} e^{-j2kd}}$$

b) $d = \frac{\lambda}{4}$ $n_1 = \sqrt{n_0 n_2}$



$$\Gamma_{TE} = \frac{1-h}{1+h} \quad \Gamma_{TE} = \frac{2}{1+h}$$

19

$$\Gamma_{01} : n = \frac{h_1}{h_0}$$

$$\Gamma_{01} = \frac{1 - \frac{h_1}{h_0}}{1 + \frac{h_1}{h_0}} = \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1}$$

$$\Gamma_{10} : n = \frac{h_0}{h_1}$$

$$\Gamma_{10} = \frac{h_1 - h_0}{h_0 + h_1}$$

$$\Gamma_{12} : n = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\Gamma_{12} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$$

$$T_{01} : n = \frac{h_1}{h_0}$$

$$T_{01} = \frac{2}{1 + \frac{h_1}{h_0}} = \frac{2h_0}{h_0 + h_1}$$

$$T_{10} : n = \frac{h_0}{h_1}$$

$$T_{10} = \frac{2h_1}{h_0 + h_1}$$

$$kd = \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1}{4} = \frac{\pi}{2} \quad e^{-j2kd} = e^{-j\pi} = -1$$

$$\Gamma = \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1} - \frac{\frac{2 \cdot h_0}{(h_0 + h_1)} \cdot \frac{2 \cdot h_1}{(h_0 + h_1)} \cdot \frac{h_1 - h_2}{(h_1 + h_2)}}{1 + \frac{(h_1 - h_2) \cdot (h_1 - h_0)}{(h_1 + h_2) \cdot (h_0 + h_1)}}$$

$$= \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1} - \frac{4h_0h_1(h_1 - h_2)}{(h_0 + h_1) \cdot (h_0 + h_1 + h_1 - h_2) - (h_1 - h_0)(h_1 + h_2)}$$

$$= \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1} - \frac{4h_0h_1(h_1 - h_2)}{h_0^2 + h_1^2 + h_2^2 + 2h_0h_1 + 2h_1h_2 - h_1^2 - h_0h_1 - h_2h_1 - h_2h_0}$$

$$= \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1} - \frac{4h_0h_1(h_1 - h_2)}{h_0^2 + h_2^2 + 2h_0h_2}$$

$$= \frac{h_0 - h_1}{h_0 + h_1} - \frac{4h_0h_1(h_1 - h_2)}{h_2(h_0 + h_1)}$$

$$= \frac{h_0h_2 - h_1^2}{h_2(h_0 + h_1)} = 0 \quad \text{da } h_1^2 = h_0h_2$$

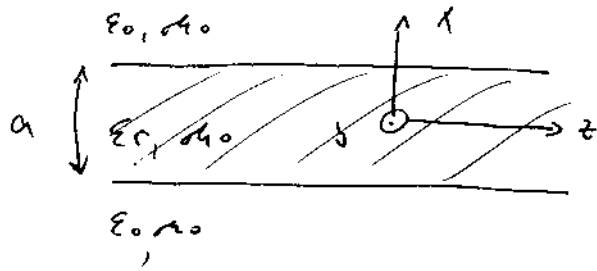
Also keine Reflexion nur Transmission

WA

(C)



③ *) Dielektrischer Wellenleiter



∞ ausgedehnte dielektrische Platte.

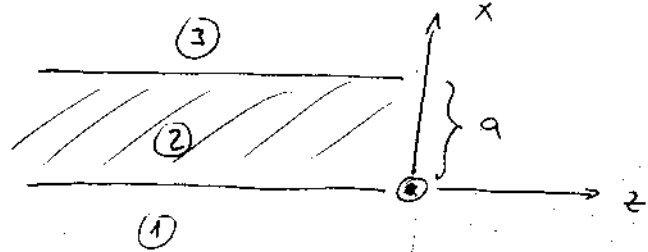
$$A_1 \cdot e^{-ik_1 x - jk_z z}$$

$$A_2 \cdot e^{ik_1 x - jk_z z}$$

a) Ansatz für eine H₁₀-ähnliche Welle?

TE Fall

$E_{zi} = 0$



$$H_{z1} = A_1 \cdot \cos(k_{x1} \cdot x) \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z2} = A_2 \cdot \cos(k_{x2} \cdot x) \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z3} = A_3 \cdot \cos[k_{x3} \cdot (x-a)] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

Separationsbed.

$$\nabla^2 H_{zi} + \epsilon^2 H_{zi} = 0 \Rightarrow k^2 = k_{xi}^2 + k_z^2 = \omega^2 \epsilon_i \mu_0$$

$\frac{d}{dx} = 0 \quad k_{xi} = 0$

$k^2 = k_x^2$

→ unvariabel sind in z-Gleichung

b) Restliche Feldkomponente?

① $E_{x1} = 0$

$$\vec{E}_{y1} = \frac{j}{\kappa^2} \omega \mu_0 \frac{dH_{z1}}{dx} = -j \frac{\omega \mu_0}{\kappa x_1} A_1 \sin(\kappa x_1) e^{-j\kappa z - z}$$

$$E_{z1} = 0$$

$$H_{x1} = \frac{-j}{\kappa^2} \kappa z \frac{dH_{z1}}{dx} = \frac{j}{\kappa x_1} \kappa z A_1 \sin(\kappa x_1) e^{-j\kappa z - z}$$

$$H_{y1} = 0, \quad H_{z1} \text{- Ansatz}$$

② $E_{x2} = 0$

$$\vec{E}_{y2} = -j \frac{\omega \mu_0}{\kappa x_2} A_2 \sin(\kappa x_2) e^{-j\kappa z - z}$$

$$E_{z2} = 0$$

$$H_{x2} = \frac{j}{\kappa x_2} \cdot \kappa z \cdot A_2 \sin(\kappa x_2) e^{-j\kappa z - z}$$

$$H_{y2} = 0, \quad H_{z2} \text{- Ansatz}$$

③ $E_{x3} = 0$

$$\vec{E}_{y3} = \frac{-j \omega \mu_0}{\kappa x_3} A_3 \sin[\kappa x_3 (x-a)] e^{-j\kappa z - z}$$

$$E_{z3} = 0$$

$$H_{x3} = \frac{j}{\kappa x_3} \kappa z A_3 \sin[\kappa x_3 (x-a)] e^{-j\kappa z - z}$$

$$H_{y3} = 0, \quad H_{z3} \text{- Ansatz}$$

c, d) ZB d Grenzfrequenz des Grundmodus

$$\text{ZB. } [H_z] = 0$$

$$x=0 \quad \underline{A_1 = A_2}$$

$$x=a \quad A_2 \cos(kx_2 - a) = A_3$$

$$[E_y] = 0$$

$$x=0 \quad E_{y1} = E_{y2} = 0 \quad \checkmark$$

$$\text{Grenz. } a \in m \cdot \lambda \Rightarrow$$

$$kx_2 = \frac{m \cdot \lambda}{a}$$

$$x=a \quad E_{y2} = -j \frac{\omega \mu_0}{kx_2} A_2 \sin(kx_2 - a) = 0$$

$$\Rightarrow kx_2 = \frac{m \cdot \pi}{a} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$[D_n] = 0 \quad E_{xi} = 0 \quad \checkmark$$

$$[B_n] = 0$$

$$x=0 \quad H_{x1} - H_{x2} = 0 \quad \checkmark$$

$$x=a \quad H_{x2} = H_{x3}$$

$$\frac{j}{kx_2} k_2 \cdot A_2 \sin(kx_2 - a) = 0 \quad \Rightarrow \quad \underline{kx_2 = \frac{m \cdot \pi}{a}}$$

Separationsbed. für k_x

$$\omega_0^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r = k^2 = k_x^2 + k_z^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2$$

$$k_z = \frac{2\pi}{\lambda_H}$$

$$\rightarrow \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2 = \left(\frac{u\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_H}\right)^2$$

$$\rightarrow \frac{2\pi}{\lambda_H} = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{u\pi}{a}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} \lambda_H &= \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{u\pi}{a}\right)^2}} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 \left(\frac{u\pi}{a}\right)^2}} \\ &= \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \left(\frac{u}{2a}\right)^2}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}} \end{aligned}$$

$$\boxed{\lambda_g = \frac{2a}{u}}$$

Grundmodus $u=1$

$$\underline{\underline{\lambda_g = 2a}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

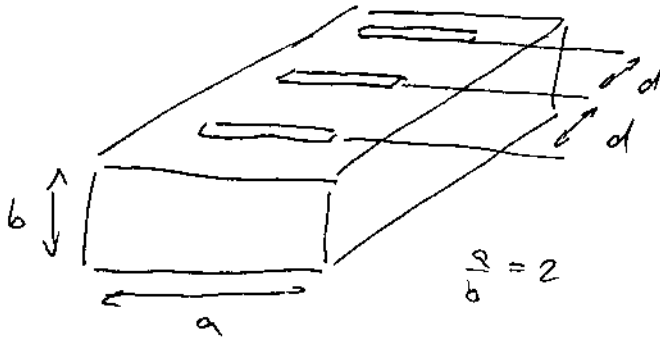
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}}$$

Prüfungsbeispiel

(4)

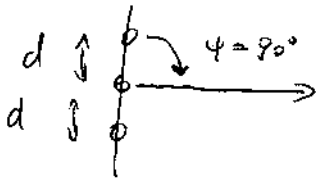
*) Rechteckhohlleiter

$$f = 3 \text{ GHz}$$

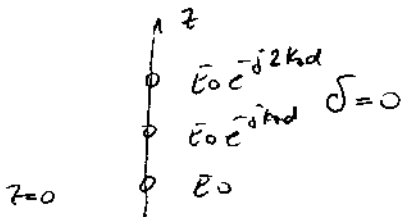
TE₁₀ - Modus

a) Hohlleiterquerschnitt a , sodass Anordnung als Querstrahler wirkt

Jeder Schlitz wirkt als eine Quelle (Huygens-Prinzip)
3 Antennen:

Querstrahler für $\beta = 0$

$$z_H = \beta + kd \cos \varphi$$



$$\beta = 0 \quad \text{für} \quad \Delta l = 2\mu\bar{a}$$

$$\Delta l = k_2 \cdot d = \frac{2\pi}{\lambda_H} \cdot d = \mu \cdot 2\bar{a}$$

$$\mu = 1 \rightarrow$$

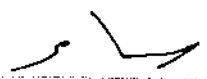
$$\underline{\underline{d = \lambda_H}}$$

$$\text{TE}_{10} \quad \lambda_H = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = d \quad \Rightarrow \quad \frac{\lambda^2}{d^2} = \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]$$

$$\frac{\lambda}{2a} = \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{d^2}} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{\lambda}{2\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{d^2}}}$$

WA

(11)



$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{3000} \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

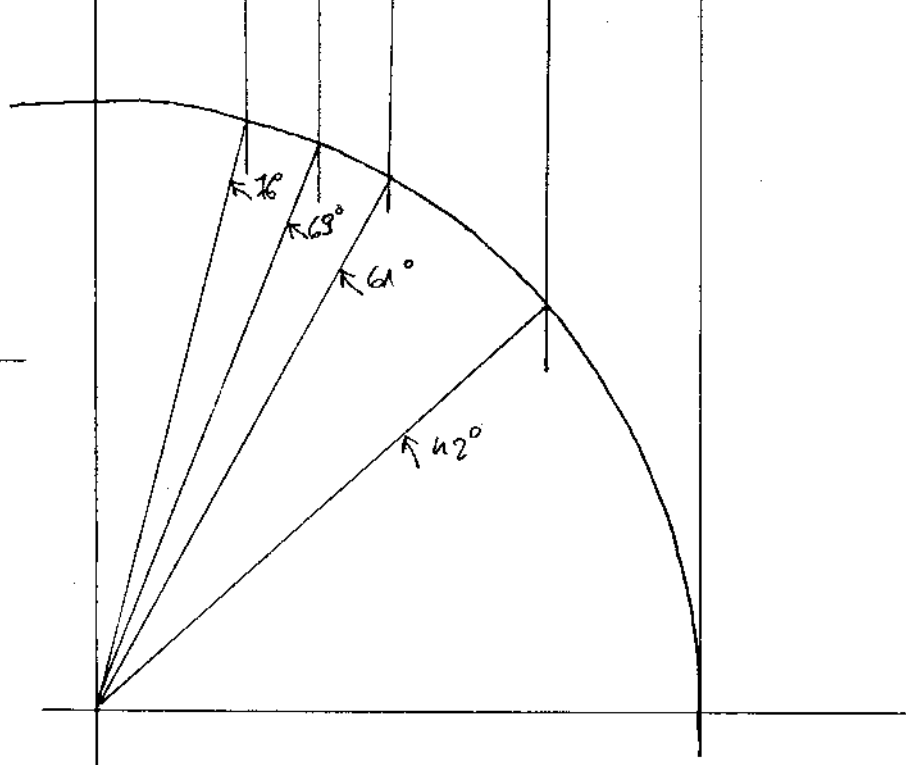
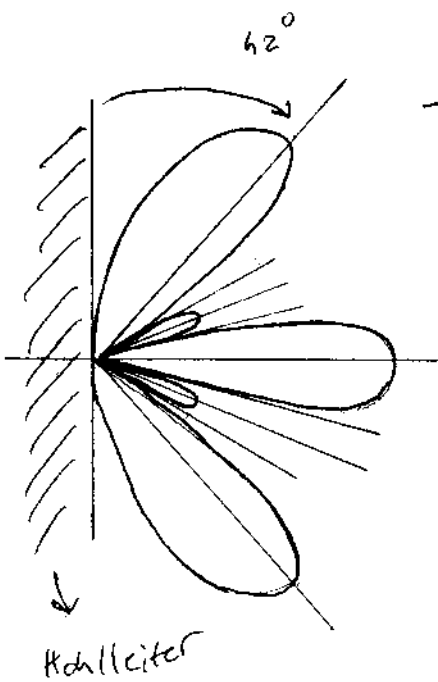
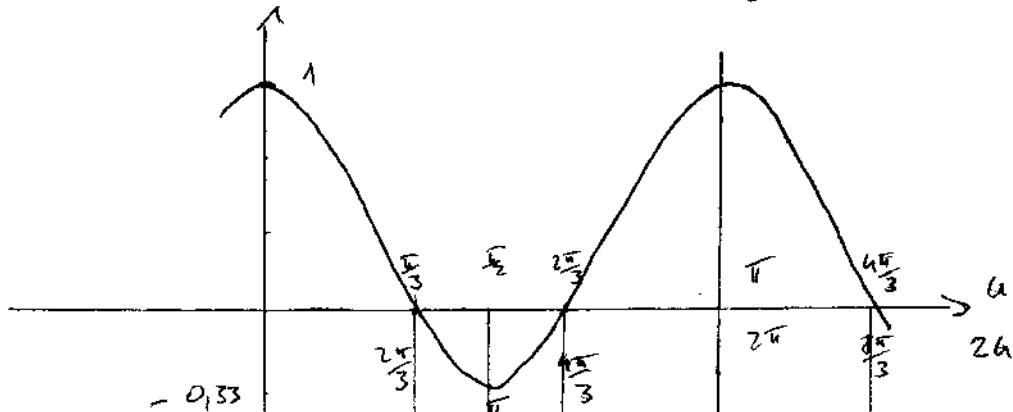
$$d = \lambda \cdot n \geq \lambda = 0,1 \text{ m} \quad \text{for } d = \frac{4\lambda}{3} \Rightarrow a = 0,0756 \text{ m}$$

3-er Gruppe

$$f(\psi) = \frac{\sin(3\psi)}{3 \sin \psi}$$

$$2\psi = \psi^0 + kd \cos \psi$$

$$kd = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \geq 2\pi$$

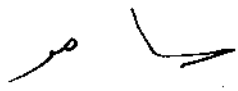


b)

Gibt es weitere Hauptkeulen? univiale?
In welchen Richtungen?

76, 200-100-20 d. 42

Es gibt noch 2 weitere $\psi = 42^\circ$ & $\psi = 138^\circ$



Prüfungsbeispiel

- ⑤ *1) Welchen Durchmesser muss ein opt. Teleskop besitzen um eine Winkelauflösung von 2 Grad zu erreichen ($\lambda \approx 0,5 \mu\text{m}$)

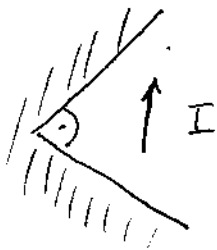
$$\theta_{\text{3dB}} \approx \frac{\lambda}{D}$$

$$\theta = 2 \text{ Grad}$$

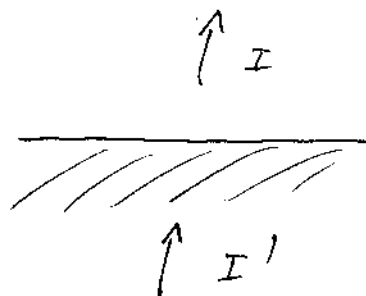
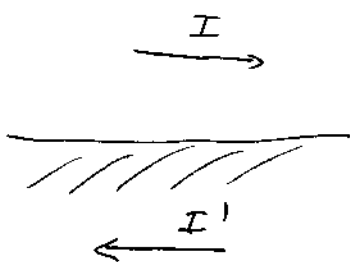
$$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$$

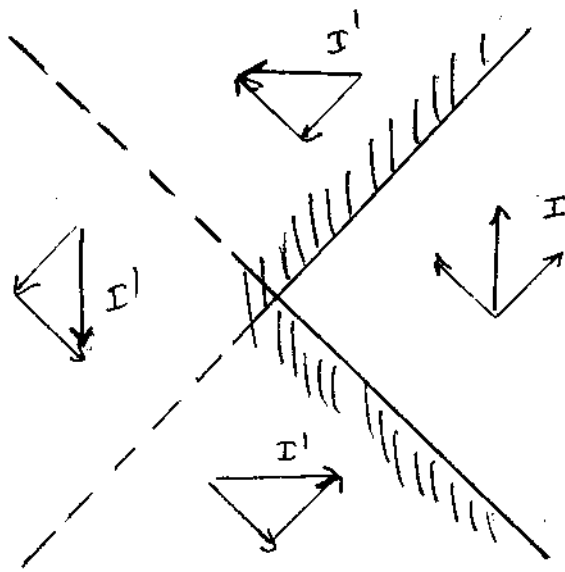
$$D = \frac{\lambda}{\theta_{\text{3dB}}} = \frac{0,5 \mu\text{m}}{2 \text{ Grad}} = 0,25 \mu\text{m} \quad \underline{\underline{D = 25 \mu\text{m}}}$$

- ⑥ *1) Ersetzanordnung durch das Spiegelungsprinzip?

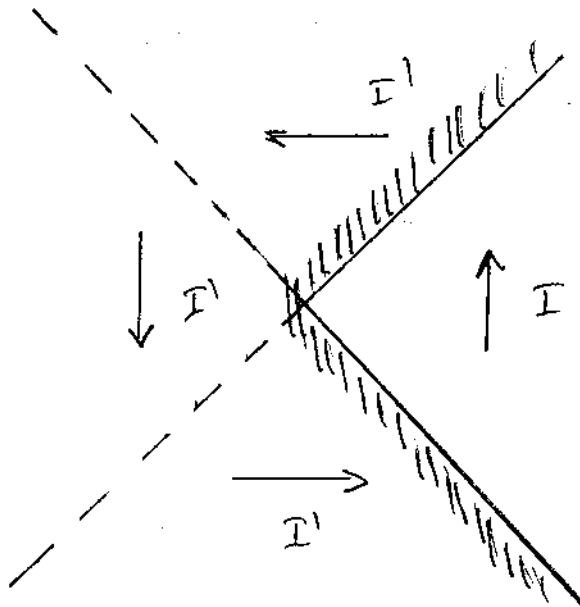


Allgemein gilt:



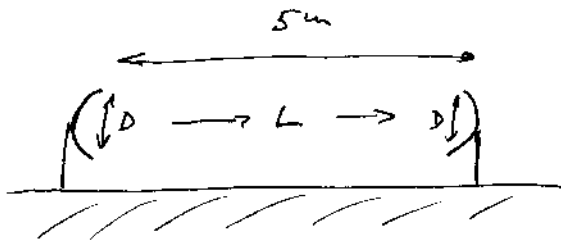


also :



Prüfungsbeispiel.

- ⑦ * 2 Parabolspiegel in Entfernung von $d = 5 \text{ m}$, $f = 10 \text{ GHz}$, Übertragungsverlust (Streckendämpfung) $L = 10 \text{ dB}$



$$L = 10 \log \frac{P_s}{P_e} = 10 \Rightarrow P_s = 10 P_e$$

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad d = 5 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

- a) Antennendurchmesser? $D = ?$

$$T_e = \frac{\overbrace{P_s G_s}^{\text{EIRP}}}{4\pi d^2}$$

$$P_e = T_e \cdot A_e = \frac{P_s G_s}{4\pi d^2} \cdot A_e$$

$$G_s = A_s \frac{4\pi}{\lambda^2}$$

$$A_s = A_e$$

$$\frac{P_e}{P_s} = \frac{A^2}{\lambda^2 d^2}$$

$$L = 10 \log \frac{P_s}{P_e} \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

$$\underbrace{P_s = 10 P_e}$$

$$\frac{A^2}{\lambda^2 d^2} = \frac{1}{10}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0,03 \text{ m} \quad d = 5 \text{ m}$$

$$A = \frac{\lambda d}{\sqrt{10}} = 4,743 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A \approx \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,246 \text{ m} \Rightarrow \underline{\underline{D \approx 25 \text{ cm}}}$$

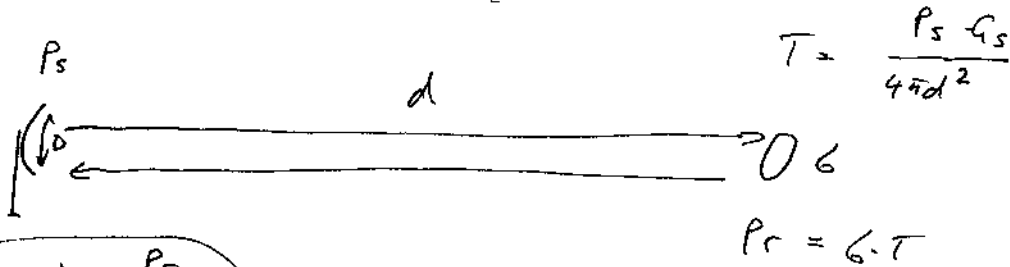
- b) Ist die Fernfeldbedingung erfüllt?

$$r = \frac{2D^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{2} \quad r \approx 4,2 \text{ m}$$

JA!

Prüfungsbeispiel

- *) Ein Radar ($P_s = 1 \text{ kW}$, $\lambda = 10 \text{ cm}$ Antennendurchmesser $D = 10 \text{ cm}$) verfolgt in 36000 m Entfernung ein isotrop streuendes Ziel (effektiver Querschnitt $\sigma = 2 \text{ m}^2$). Berechnen Sie die Leistung am Empfänger des Radargerätes! $P_e = ?$



$$P_e = A \cdot \frac{P_r}{4\pi d^2}$$

$$P_e = A \cdot \frac{P_r}{4\pi d^2} = A \cdot \frac{G_r T}{4\pi d^2} = \frac{A \cdot G_r \cdot G_s \cdot P_s}{(4\pi)^2 d^4}$$

$$A \approx \frac{D^2 \pi}{4} \quad A = \frac{\lambda^2 G_s}{4\pi} \Rightarrow G_s = \frac{A \cdot 4\pi}{\lambda^2}$$

$$P_e = \frac{A^2 \cdot G_r \cdot P_s}{4\pi \lambda^2 d^4}$$

$$D = 10 \text{ cm}$$

$$A \approx 78,5 \text{ cm}^2$$

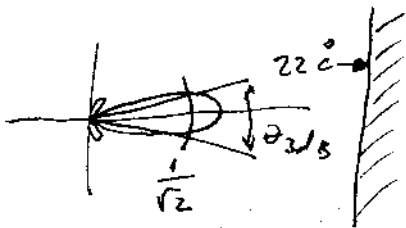
$$\sigma = 2 \text{ m}^2$$

$$P_e = 5,84 \cdot 10^{-11} \text{ W} = 58,4 \text{ pW}$$

Prüfungsbeispiel

- 9*) Die Antenne ($G = 42 \text{ dB}$) einer Messordnung ist auf die Wand ($T = 22^\circ \text{C}$) des Messraumes gerichtet. Berechnen Sie die Rauschleistung am Empfängeranfang für $f = 1 \text{ GHz}$ und $B = 1 \text{ MHz}$.

Eine Antenne mit sehr großem Gewinn (mit einer engen Keule), rauscht mit der Temperatur des Hintergrunds in Hauptstrahlrichtung



$$T_A = \frac{\int_{\Omega} |f(\theta, \varphi)|^2 T(\theta, \varphi) d\Omega}{\int_{\Omega} |f(\theta, \varphi)|^2 d\Omega}$$

$f(\theta, \varphi)$ ist nur in einem kleinen Winkelbereich von Null verschieden. Dort gilt $T(\theta, \varphi) = \text{const} = 22^\circ \text{C}$

$$T_A = \frac{T \cdot \int_{\Omega} |f|^2 d\Omega}{\int_{\Omega} |f|^2 d\Omega} = T = 22^\circ \text{C} \quad T = 295 \text{ K}$$

für $f = 1 \text{ GHz}$ gilt $hf \ll kT$

$$\text{Daher} \quad P_c = k \cdot T_A \cdot B = 4,073 \cdot 10^{-15} \text{ W}$$

$$\theta_{3\text{dB}} \approx \frac{\lambda}{D} \quad \text{z.B. Parabolantenne:} \quad A = \frac{D^2 \pi}{4} \quad G = \frac{4A}{\lambda^2} = \frac{D^2 \pi^2}{\lambda^2}$$

$$\Rightarrow D = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G} \quad \text{und} \quad \theta_{3\text{dB}} = \frac{\lambda}{\sqrt{G}} \quad G = 42 \text{ dB} \hat{=} 15850$$

WA

(17)

$$\Rightarrow \theta_{3\text{dB}} \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ rad} \hat{=} 1,43^\circ$$

10) Prüfungsbeispiel

*) Leiten Sie aus $v_{ph} \cdot v_{gr} = c^2$ eine Beziehung für die Ausbreitungskonstanten her. Für welche Art von Leitungen gilt dieses bewertenswerte Gesetz?

$$v_{ph} = \frac{\omega}{k_z} \quad v_{gr} = \frac{d\omega}{dk_z}$$

$$\frac{\omega}{k_z} \cdot \frac{d\omega}{dk_z} = c^2 \quad \omega d\omega = c^2 k_z dk_z \quad \int$$

$$\frac{\omega^2}{2} = c^2 \frac{k_z^2}{2} + \text{const}_1 \quad \left| \cdot \frac{2}{c^2} \right.$$

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 = k_z^2 + \text{const}_2$$

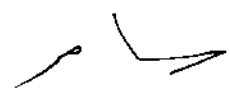
bzw. $k^2 - k_z^2 = \text{const}$ Dies ist

die Separationsbed., die man durch die Lösung von Wellengleichung erhalten hat:

$$k^2 - k_z^2 = k_x^2 + k_y^2 \quad \text{bzw.}$$

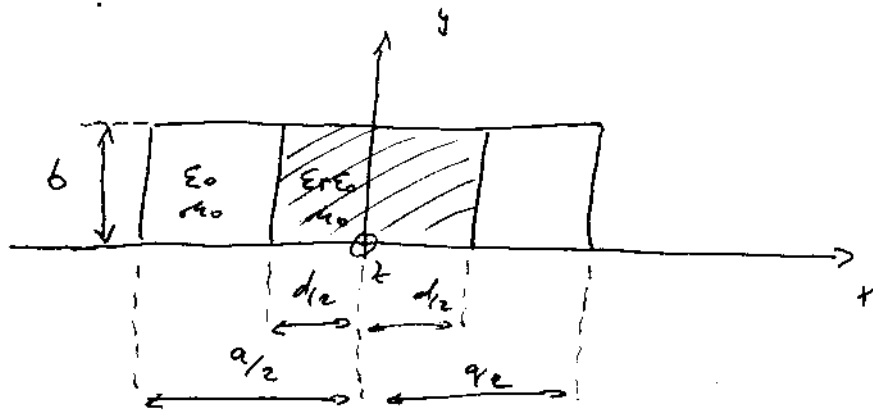
$$\underline{k^2 - \omega^2/c^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$$

Dies gilt daher für alle Wellentypen bzw. Leitungen!



Prüfungsbeispiel

(11) k) Berechnen Sie für den Grundmodus in einem teilweise mit Dielektrikum gefüllten Hohlleiter, dessen Feldverteilung der H₁₀-Welle im leeren Hohlleiter ähnlich ist, die Ausbreitungseigenschaften.

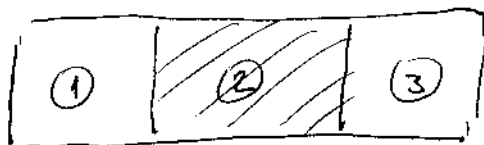


a) Stellen Sie einen Ansatz für die magnet. Feldkomponente H_z auf!

H₁₀ wäre: $H_z = A \cos(k_x x) \cos(k_y y) \exp(-j k_z z)$

$k_x = \frac{m\pi}{a}$ $k_y = \frac{n\pi}{a}$ $m=1$ $n=0$ $k_y = 0$

Also keine Feldänderung in y-Richtung!



$k_{y1} = k_{y2} = k_{y3} = 0$

TE-Welle \rightarrow $E_{z1} = E_{z2} = E_{z3} = 0$

$$Hz_1 = A_1 \cos \left[k_{x_1} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z}$$

$$Hz_2 = A_2 \cos \left[k_{x_2} \left(x + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z}$$

$$Hz_3 = A_3 \cos \left[k_{x_3} \left(x - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z}$$

b) Bestimmen Sie die restlichen Feldkomponenten.

Reue ① $k_i^2 = k^2 - k_2^2 = k_{x_i}^2 + k_{y_i}^2 = k_{x_i}^2$

$$E_{x_1} = \frac{-j}{k_{x_1}^2} \text{ w.m. } \frac{\partial Hz_1}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} E_{y_1} &= \frac{j}{k_{x_1}^2} \text{ w.m. } \frac{\partial Hz_1}{\partial x} = \frac{-j A_1}{k_{x_1}^2} \text{ w.m. } k_{x_1} \sin \left[k_{x_1} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z} \\ &= \frac{-j A_1 \text{ w.m.}}{k_{x_1}} \sin \left[k_{x_1} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z} \end{aligned}$$

$$E_{z_1} = 0$$

$$H_{x_1} = \frac{-j}{k_{x_1}^2} k_2 \frac{\partial Hz_1}{\partial x} = \frac{j}{k_{x_1}} k_2 A_1 \sin \left[k_{x_1} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right] \cdot e^{-jk_2 \cdot z}$$

$$H_{y_1} = \frac{-j}{k_{x_1}^2} k_2 \frac{\partial Hz_1}{\partial y} = 0$$

$H_{z_1} \rightarrow$ Ansatz!

Raum ②

$$E_{x2} = 0$$

$$E_{y2} = \frac{-j A_2 \omega \mu}{k_{x2}} \sin \left[k_{x2} \left(x + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-j k_{z2} \cdot z}$$

$$E_{z2} = 0$$

$$H_{x2} = \frac{j k_{z2} A_2}{k_{x2}} \sin \left[k_{x2} \left(x + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-j k_{z2} \cdot z}$$

$$H_{y2} = 0$$

$$H_{z2} \rightarrow \text{Ansatz!}$$

Raum ③

$$E_{x3} = 0$$

$$E_{y3} = \frac{-j A_3 \omega \mu}{k_{x3}} \sin \left[k_{x3} \left(x - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-j k_{z3} \cdot z}$$

$$E_{z3} = 0$$

$$H_{x3} = \frac{j k_{z3} A_3}{k_{x3}} \sin \left[k_{x3} \left(x - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot e^{-j k_{z3} \cdot z}$$

$$H_{y3} = 0$$

$$H_{z3} \rightarrow \text{Ansatz!}$$

c) Charakteristische Gleichung für die Ausbreitungskonstante aus RB.

$$\text{RB. } \nabla \cdot \vec{E} = 0$$

$$y=0, y=b \quad E_{xi} = 0 \quad \checkmark \quad E_{zi} = 0 \quad \checkmark$$

$$x = -\frac{a}{2} \quad E_{y1} = 0 \quad \checkmark$$

$$x = \frac{a}{2} \quad E_{y3} = 0 \quad kx_3 \left(\frac{a}{2} - \frac{d}{2} \right) = 0$$

$$kx_3 = \frac{2n\pi}{a-d}$$

$$x = -\frac{d}{2} \quad E_{y1} = E_{y2}$$

$$\frac{-j A_1 \omega \mu}{kx_1} \sin \left[kx_1 \left(\frac{a}{2} - \frac{d}{2} \right) \right] = 0 \quad \Rightarrow$$

$$kx_1 = \frac{2n\pi}{a-d} = kx_3$$

$$x = \frac{d}{2} \quad E_{y2} = E_{y3}$$

$$\frac{-j A_2 \omega \mu}{kx_2} \sin [kx_2 \cdot d] = 0 \quad \Rightarrow$$

$$kx_2 = \frac{n\pi}{d}$$

$$[H_t] = 0$$

$$x = -\frac{d}{2} \quad H_{y1} = H_{y2} = 0 \quad \checkmark$$

$$x = \frac{d}{2} \quad H_{y2} = H_{y3} = 0 \quad \checkmark$$

$$[B_n] = 0$$

$$y = 0, y = b \quad H_{y1} = 0 \quad \checkmark$$

$$x = -\frac{a}{2} \quad H_{x1} = 0 \quad \checkmark$$

$$x = -\frac{d}{2} \quad H_{x1} = H_{x2} \quad \Rightarrow \quad kx_1 = \frac{2n\pi}{a-d}$$

$$x = \frac{d}{2} \quad H_{x2} = H_{x3} \quad \Rightarrow \quad kx_2 = \frac{n\pi}{d}$$

$$x = \frac{a}{2} \quad H_{x3} = 0 \quad \Rightarrow \quad kx_3 = kx_1$$

} take
here
into.

$$[D_n] = 0$$

$$x = -\frac{d}{2}$$

$$E_{x1} = \epsilon_r E_{x2} = 0$$

$$x = \frac{d}{2}$$

$$\epsilon_r E_{x2} = E_{x3} = 0$$

W

Aus der Separationsbedingung folgt:

$$\textcircled{1} \quad k_{x1}^2 + \cancel{k_{y1}^2} + k_z^2 = k_1^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$$

$$\textcircled{2} \quad k_{x2}^2 + \cancel{k_{y2}^2} + k_z^2 = k_2^2 = \omega^2 \epsilon_0 \epsilon_r \mu_0$$

$$k_{x1} = k_{x3}$$

$$\textcircled{3} \quad k_{x3}^2 + \cancel{k_{y3}^2} + k_z^2 = k_3^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$$

$$k_{y1} = 0$$

$$\Rightarrow k_z^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 - k_{x1}^2$$

$$k_z^2 = \omega^2 \epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 - k_{x2}^2$$

Beide Gleichungen müssen erfüllt sein.

$$\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 (\epsilon_r - 1) = k_{x2}^2 - k_{x1}^2$$

$$k_{x1} = \frac{2\pi u}{a-d}$$

$$k_{x2} = \frac{\pi h}{d}$$

$$\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 (\epsilon_r - 1) = \frac{4\pi^2 u^2}{(a-d)^2} - \frac{\pi^2 h^2}{d^2}$$

darauf folgt eine Beziehung zwischen a u. d
Für gegebenes $a, h, \omega \Rightarrow d(\omega)$ und:

$$k_z^2 = \omega^2 \epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 - \frac{\pi^2 h^2}{d^2(\omega)}$$

(12) * Prüfungsbeispiel

Dimensionieren Sie mit Hilfe der graphischen Methode eine Microstrip-Leitung:

$$Z_w = 50 \Omega, \quad \epsilon_r = 2,5, \quad h = 1,27 \text{ mm}$$

Geben Sie die Grenzfrequenz für den sinnvollen Einsatz der Leitung an und bestimmen Sie ϵ_{eff} für tiefe Frequenzen und für eine Frequenz von 10 GHz.

a) $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_r = 2,5$ (Annahme!)

$$Z_L = Z_w \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} = 79 \Omega$$

$$\Rightarrow \frac{w}{h} = 2,2, \quad q = 0,69 \text{ (Abgelesen)}$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = 1 + q (\epsilon_r - 1) = 1 + 0,69 (2,5 - 1) = \underline{\underline{2,035}}$$

$$Z_L = Z_w \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} = 71,33 \Omega$$

$$\frac{w}{h} = 2,6 \text{ (Abgelesen)} \Rightarrow \underline{\underline{h = 1,27 \text{ mm}, \quad w = 3,3 \text{ mm}}}$$

b) $f_{\text{c,10dB}} = \frac{c_0}{4h \sqrt{\epsilon_r - 1}} = 48,22 \text{ GHz}$

Tiefe Freq.: $\epsilon_{\text{eff}} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} = 1,75$

$f = 10 \text{ GHz}$: $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_r - \frac{\epsilon_r - \epsilon_{\text{eff}}(0)}{1 + \left(\frac{h}{2w}\right)^{1,33} \cdot (0,43 f^2 - 0,009 f^3)} = \underline{\underline{1,9}}$

1. Schritt: Annahme

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r = 2,5$$

19

$$\Rightarrow Z_L = Z_w \sqrt{\epsilon_{eff}} = 79 \Omega$$

$$\Rightarrow \frac{w}{h} = 2,2 \quad \Rightarrow \quad Q = 0,69 \quad \epsilon_{eff} = 1 + Q(\epsilon_r - 1)$$

$$\Rightarrow \epsilon_{eff} = 1 + 0,69(2,5 - 1) = 2,035$$

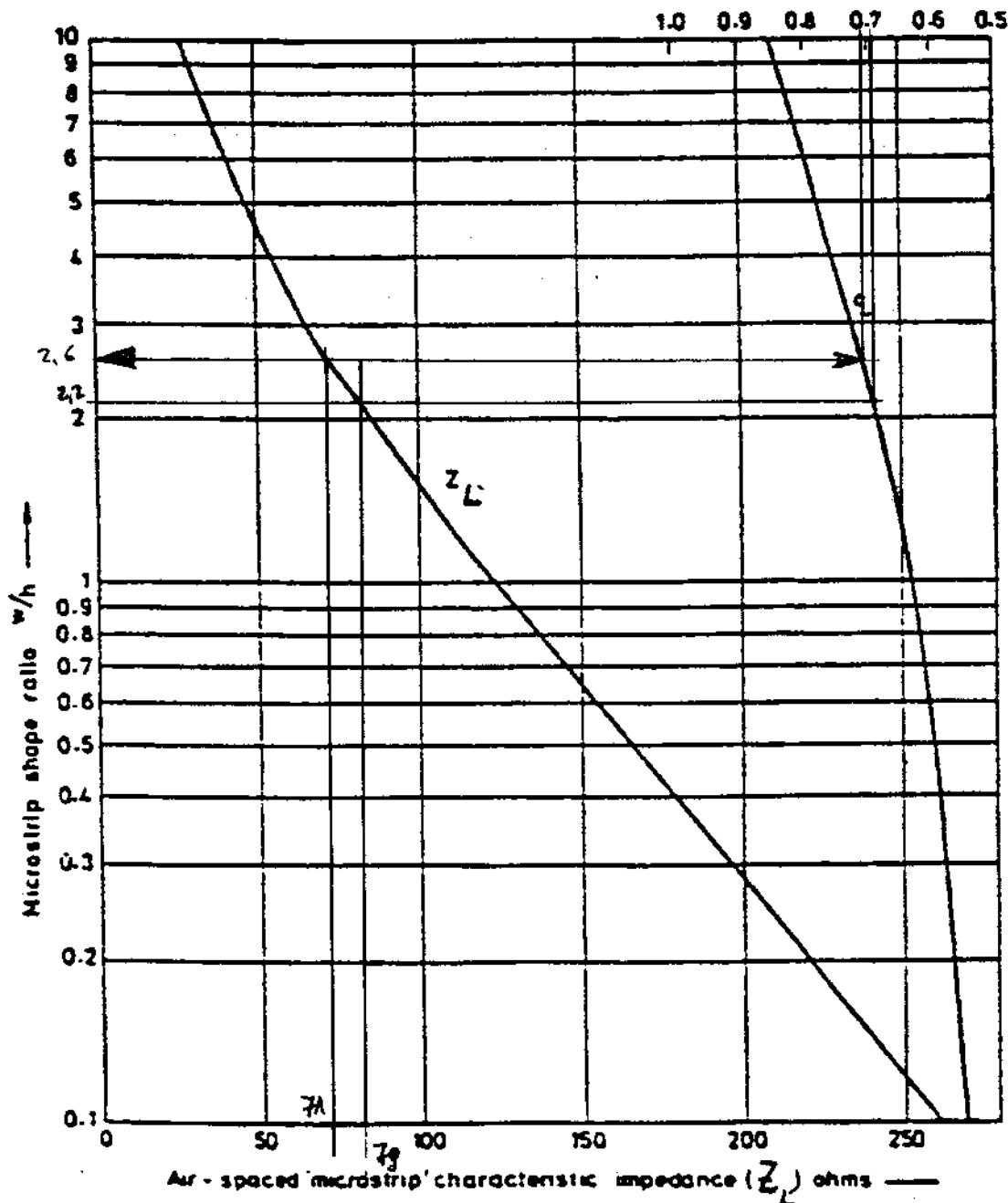
2. Schritt:

$$Z_L = Z_w \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}} = 71,33 \Omega$$

$$\frac{w}{h} = 2,6 \quad \Rightarrow \quad h = 1,27 \text{ mm} \quad w = 3,3 \text{ mm}$$

$Q = 0,71 \rightarrow \epsilon_{eff} = 1 + 0,71(2,5 - 1) = 2,065 \rightarrow$ kleine Änderung um einen weiteren Schritt durchzuführen!

Microstrip filling fraction (q)



Genauere Rechnung durch Synthese-Formeln:

$$\frac{w}{h} \approx 2,65 \text{ (Graphisch)} \Rightarrow \frac{w}{h} > 2 :$$

$$\frac{w}{h} = \frac{z}{f} \left\{ B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0,33 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$B = \frac{\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_r}} \cdot f}{2z \sqrt{\epsilon_r}} = 7,4853211$$

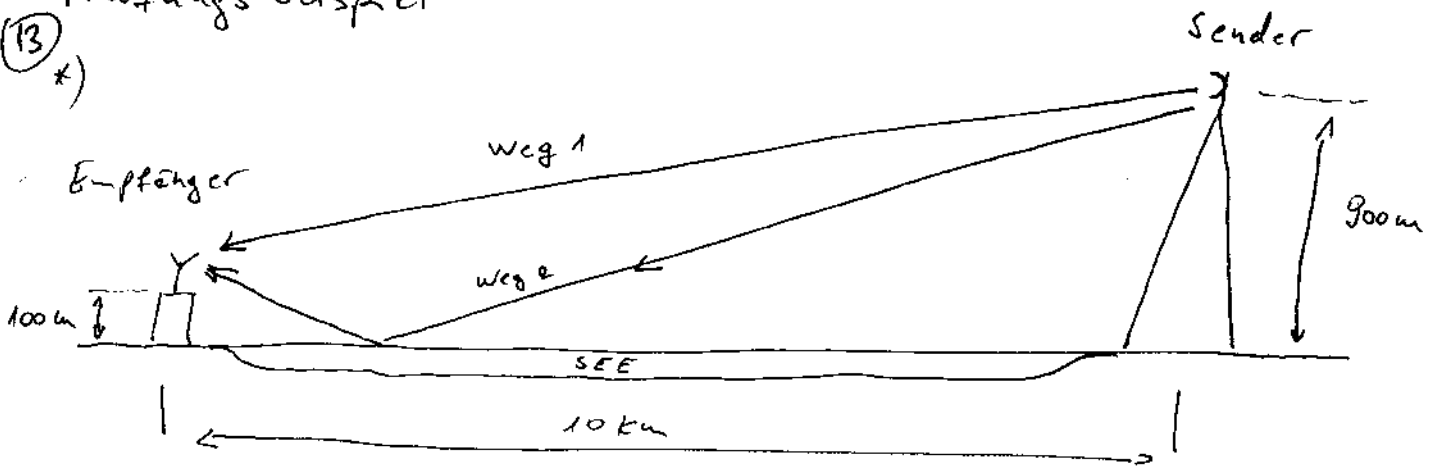
$$\Rightarrow \frac{w}{h} = 2,835 \quad \text{und} \quad w = 3,6 \text{ mm}$$

bzw. durch Analyse-Formeln

$$\frac{w}{h} > 1 : \quad \epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow \epsilon_{\text{eff}} = 2,078$$

Prüfungsbeispiel
 (13) x)



Sender : $P_s = 10 \text{ dBm}$
 $G_s = 8 \text{ dB}$

$A = 2 \text{ dB} \rightarrow$ Dämpfung auf Zuleitung
 Horizontal polarisierte Welle

Empfänger: $G_e = 4 \text{ dB}$

$A = 2 \text{ dB} \rightarrow$ Dämpfung auf Zuleitung
 $P_{\text{in}} = -100 \text{ dBm}$ Empfängerleistung ist notwendig

Zwei Frequenzen stehen zur Verfügung

$f_1 = 1280 \text{ MHz}$ & $f_2 = 1288,5 \text{ MHz}$

An See findet eine spiegelnde Reflexion statt!

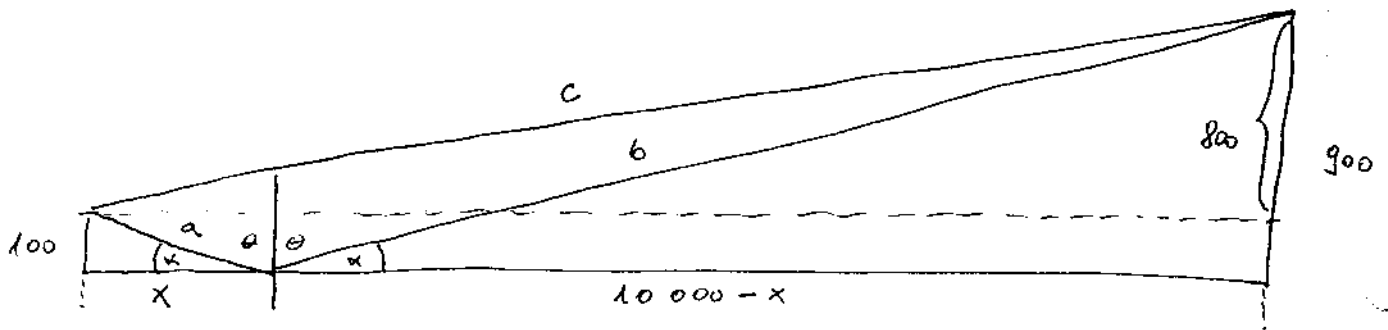
a) Welche Art der Reflexion hat man hier?

Horizontale Polarisation \rightarrow TE-Fall



$$|\Gamma_{TE}| = 1 \quad \text{Arg}(\Gamma_{TE}) = \pi \Rightarrow \text{Phasendrehung um } 180^\circ$$

b) Empfangsleistung, die durch Interferenz zweier Wellen an Empfängerort entsteht!



$$c = \sqrt{10000^2 + 800^2} = 10031,9489632 \text{ m}$$

$$\tan \alpha = \frac{100}{x} = \frac{800}{10000 - x} \quad 800x = 10^6 - 100x$$

$$\Rightarrow x = 1000 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{100^2 + 1000^2} = 1004,98756211 \text{ m}$$

$$b = \sqrt{9000^2 + 900^2} = 9044,88805901 \text{ m}$$

$$E_1 = |E_1| e^{-jk \cdot c} = |E_1| e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} \cdot c} \quad \ell_1 = \frac{2\pi \cdot c}{\lambda}$$

$$E_2 = |E_2| e^{-j[k \cdot (a+b) + \pi]}$$

$$= |E_2| e^{-j \left[\frac{2\pi}{\lambda} (a+b) + \pi \right]}$$

π - Wegen Reflexion

$$\ell_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (a+b) + \pi$$

$$T = \frac{|E|^2}{2Z}$$

$$T = \frac{G_s \cdot P_s}{4\pi d^2}$$

$$\Rightarrow |E_1|^2 = \frac{G_s \cdot P_s \cdot 2 \mu_0}{2 \sqrt{\epsilon_0} d^2} \quad |E_1| = \sqrt{\frac{G_s \cdot P_s \cdot \mu_0}{2 \sqrt{\epsilon_0} d^2}}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376,73 \Omega$$

$$G_s = 8 \text{ dB} \quad \underline{A=2 \text{ dB}, P_s=10 \text{ dBm}} \Rightarrow$$

$$\tilde{P}_s = 8 \text{ dBm} \quad \tilde{P}_s - G_s = 16 \text{ dBm} \hat{=} 39,811 \text{ mW}$$

$$\text{Weg 1: } d=c \Rightarrow |E_1| = 1,540074 \cdot 10^{-4} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\text{Weg 2: } d=a+b \Rightarrow |E_2| = 1,537327 \cdot 10^{-4} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$f_1 = 1280 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{c_0}{f_1} = 0,2342129 \text{ m}$$

$$f_2 = 1288,5 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{c}{f_2} = 0,2326678 \text{ m}$$

$$\textcircled{\lambda_1} \quad \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot c = 269125,2033 \text{ rad}$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot (a+b) + \pi = 269609,259964 \text{ rad}$$

$$E_g = E_1 + E_2 \quad |E_g| = |E_1 + E_2| = \left| |E_1| e^{-j\varphi_1} + |E_2| e^{-j\varphi_2} \right|$$

$$= 3,053122 \cdot 10^{-4} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\textcircled{\lambda_2} \quad \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_2} \cdot c = 270912,409573 \text{ rad}$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} \cdot (a+b) + \pi = 271399,659897 \text{ rad}$$

$$|E_{g2}| = |E_1 + E_2| = 4,651865 \cdot 10^{-5} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$T = \frac{|\bar{E}_g|^2}{2Z}$$

$$\Rightarrow T_{\pi 1} = \frac{|\bar{E}_{g1}|^2}{2Z} = 1,2371664 \cdot 10^{-10} \frac{W}{m^2}$$

$$T_{\pi 2} = \frac{|\bar{E}_{g2}|^2}{2Z} = 2,871693 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

$$P_e = T \cdot A_e$$

$$A_e = \frac{\pi^2}{4\pi} \cdot G_e$$

$$G_e = 4 \text{ dB} \hat{=} 2,51189$$

$$A_{e, \pi 1} = 1,09651 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{e, \pi 2} = 1,0820898 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$P_{e, \pi 1} = T_{\pi 1} \cdot A_{e, \pi 1} = 1,356565 \cdot 10^{-12} \text{ W} \hat{=} -88,7 \text{ dBm}$$

$$P_{e, \pi 2} = T_{\pi 2} \cdot A_{e, \pi 2} = 3,10743 \cdot 10^{-14} \text{ W} \hat{=} -105,1 \text{ dBm}$$

Und $A = 2 \text{ dB}$ Dämpfung:

$$P_{e1} = -90,7 \text{ dBm} > -100 \text{ dBm} \quad \text{OK W}$$

$$P_{e2} = -107,1 \text{ dBm} < -100 \text{ dBm} \quad \text{Schlecht!}$$

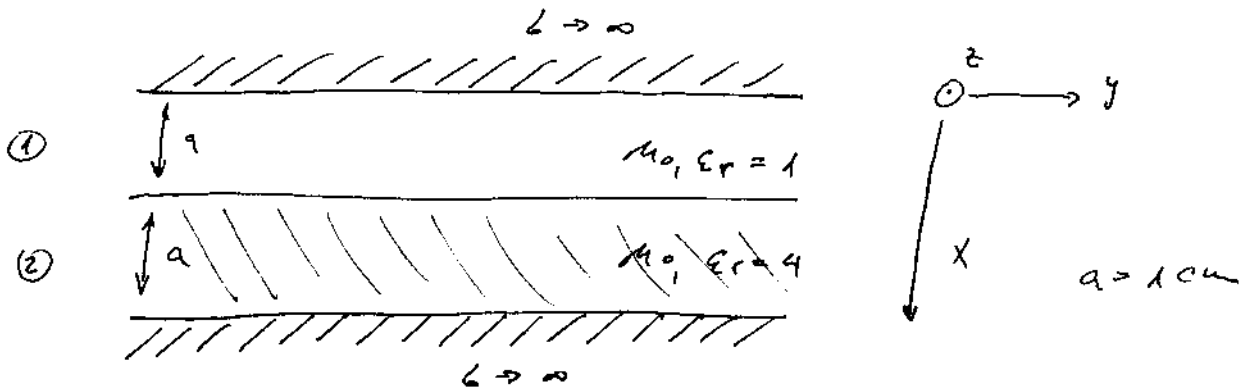
c) Welche Maßnahmen kann man treffen?

Richtantennen mit zirkularpolarisation!

Prüfungsbispiel



- (14) *) Untersuchen Sie die Ausbreitung einer TE_{10} -ähnlichen Welle in der skizzierten Wellenleiterstruktur!



TE_{10} -ähnlich $\Rightarrow \frac{\partial \cdot}{\partial y} = 0 \quad k_{y_i} = 0 \quad E_{z_i} = 0$

a) Ansatz für H_z :

$$H_{z1} = A_1 \cdot \cos(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_{z1} \cdot z}$$

$$H_{z2} = A_2 \cdot \cos[k_{x2} (x - 2a)] e^{-j k_{z2} \cdot z}$$

b) Restliche Feldkomponente:

Raum ① $E_{x1} = 0 \quad K^2 = k_x^2 + k_z^2 = k^2$

$$E_{y1} = \frac{j}{k_{x1}^2} \text{ wegen } \frac{\partial H_{z1}}{\partial x} = -j \frac{A_1 \omega \mu_0}{k_{x1}} \sin(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_{z1} \cdot z}$$

$$E_{z1} = 0$$

$$H_{x1} = \frac{-j}{k_{x1}^2} k_{z1} \frac{\partial H_{z1}}{\partial x} = \frac{j}{k_{x1}} k_{z1} A_1 \cdot \sin(k_{x1} \cdot x) e^{-j k_{z1} \cdot z}$$

$$H_{y1} = 0$$

H_{z1} - Ansatz!

Rauw ②

$$\bar{E}_{x2} = 0$$

$$E_{y2} = -\frac{j A_2 \omega \mu}{k_{x2}} \sin [k_{x2} (x-2a)] \cdot e^{-j k_{z2} z}$$

$$G_{z2} = 0$$

$$H_{x2} = \frac{j}{k_{x2}} k_z A_2 \sin [k_{x2} (x-2a)] \cdot e^{-j k_{z2} z}$$

$$H_{y2} = 0$$

$H_{z2} \rightarrow$ Ansatz!

c) Randbedingungen

$$\bar{E}_t = 0$$

$$x=0$$

$$\bar{E}_{y1} = 0$$

$$x=a$$

$$E_{x1} = E_{x2}$$

$$\cancel{\frac{j A_1 \omega \mu}{k_{x1}} \sin(k_{x1} a)} \cdot \cancel{e^{-j k_{z1} z}} = \cancel{\frac{j A_2 \omega \mu}{k_{x2}} \sin(-k_{x2} a)} \cdot \cancel{e^{j k_{z2} z}}$$

$$\Rightarrow \frac{A_2}{k_{x1}} \overset{A_1}{\sin(k_{x1} a)} = \frac{A_2}{k_{x2}} \sin(-k_{x2} a)$$

$$x=2a$$

$$E_{y2} = 0$$

$$[H_t] = 0 \quad x = a$$

$$H_{z1} = H_{z2}$$

$$A_1 \cdot \cos(k_{x1} \cdot a) \cdot \cancel{e^{-j k_{z2} \cdot z}} = A_2 \cos(-k_{x2} \cdot a) \cdot \cancel{e^{-j k_{z2} \cdot z}}$$

$$[D_n] = 0 \quad x = a$$

$$E_{x1} = \epsilon_2 E_{x2} = 0 //$$

$$[B_n] = 0 \quad x = 0 \quad H_{x1} = 0 //$$

$$x = a \quad H_{x1} = H_{x2}$$

$$\frac{j}{k_{x1}} \cancel{k_{z2}} A_1 \sin(k_{x1} \cdot a) \cancel{e^{-j k_{z2} \cdot z}} = \frac{j}{k_{x2}} \cancel{k_{z2}} A_2 \sin(-k_{x2} \cdot a) \cancel{e^{-j k_{z2} \cdot z}}$$

$$x = 2a \quad H_{x2} = 0 //$$

d) Dispersionsgleichung

$$\frac{A_1}{k_{x1}} \sin(k_{x1} \cdot a) = \frac{A_2}{k_{x2}} \sin(-k_{x2} \cdot a)$$

$$A_1 \cos(k_{x1} \cdot a) = A_2 \cos(-k_{x2} \cdot a) \quad | \cdot$$

$$\frac{\tan(k_{x1} \cdot a)}{k_{x1}} = - \frac{\tan(k_{x2} \cdot a)}{k_{x2}} \quad \text{mit } k_{x1}, k_{x2}$$

aus der Separationsbedingung

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - k_{x1}^2$$

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r - k_{x2}^2 //$$

c) Grenzfrequenz

keine Wellenausbreitung für $k_z = 0$

$$\Rightarrow k_{x1}^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 = k_0^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \right)^2, \quad k_{x1} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$k_{x2}^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r2} = k_0^2 \epsilon_{r2} = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \right)^2 \epsilon_{r2}, \quad k_{x2} = \frac{4\pi}{\lambda_0}$$

da $\epsilon_{r2} = 4$;

$$\frac{\tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a\right)}{\frac{2\pi}{\lambda_0}} = - \frac{\tan\left(2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a\right)}{2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_0}}$$

$$A = \frac{2\pi a}{\lambda_0}$$

$$\cancel{2} \cdot \tan(A) = - \tan(2A) = - \frac{\cancel{2} \tan(A)}{1 - \tan^2(A)}$$

$$1 - \tan^2(A) = 1, \quad \tan^2(A) = 2, \quad \tan(A) = \pm \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow A = 0,9553 + n\pi = \frac{2\pi a}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi a}{0,9553 + n\pi}$$

Grundmodus (mit größter Grenzwellenlänge):

$$n=0 \quad \lambda_0 = \frac{2\pi a}{0,9553} = 6,5772 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{\delta} = \frac{c_0}{\lambda_0} = 4,56 \text{ GHz}$$

Prüfungsbeispiel

(15) *) Gegeben: ein Retroreflektor $A = 2 \text{ m}^2$, $r = 0,6$

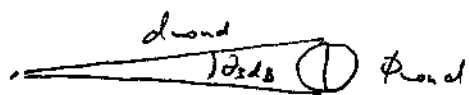
Gesucht: Radarquerschnitt (Rückstreuquerschnitt)
bei $f = 15 \text{ GHz}$

$$\sigma = A_r \cdot G = A_r \cdot \frac{A_r \cdot 4\pi}{\lambda^2} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_r^2$$

$$A_r = A \cdot r = 1,2 \text{ m}^2 \quad \lambda = \frac{c}{f} = 0,02 \text{ m}$$

$$\sigma = 45238,9 \text{ m}^2$$

(16) *) Welchen Gewinn maß eine Yagi-Antenne haben, damit der Mond bei $f = 3 \text{ GHz}$ gerade von der Hauptseite ausgeleuchtet wird?



$$d_{\text{mond}} = 380\,000 \text{ km}$$

$$\phi_{\text{mond}} = 3200 \text{ km}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0,1 \text{ m}$$

$$\theta_{3\text{dB}} \approx \frac{\phi_{\text{mond}}}{d_{\text{mond}}} = \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D = 10 \text{ m}$$

Yagi ist keine flächenhafte Antenne. Um die wirksame Fläche zu schätzen, betrachtet man eine Antenne mit ähnlichem Richtdiagramm z.B.

$$\text{Parabolantenne} \quad A = \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{D^2 \pi^2}{\lambda^2} = 98700 \hat{=} 50 \text{ dB}$$

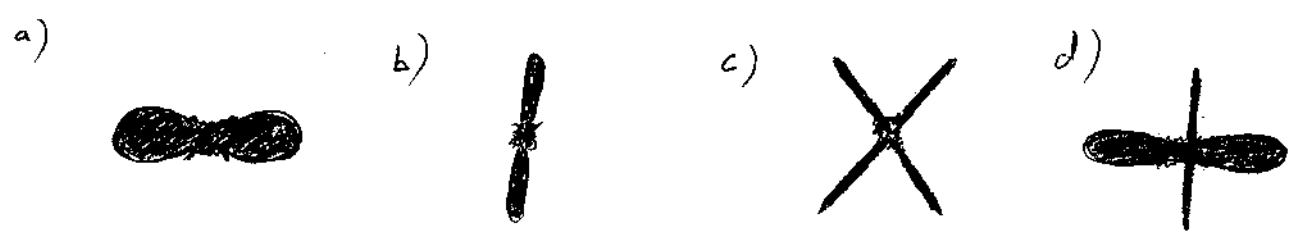


Prüfungsbeispiel

(17) x) Gegeben: Antennengruppe mit P -Elementen
 d - Abstand zw. Elementen δ - Stromphasenunterschied

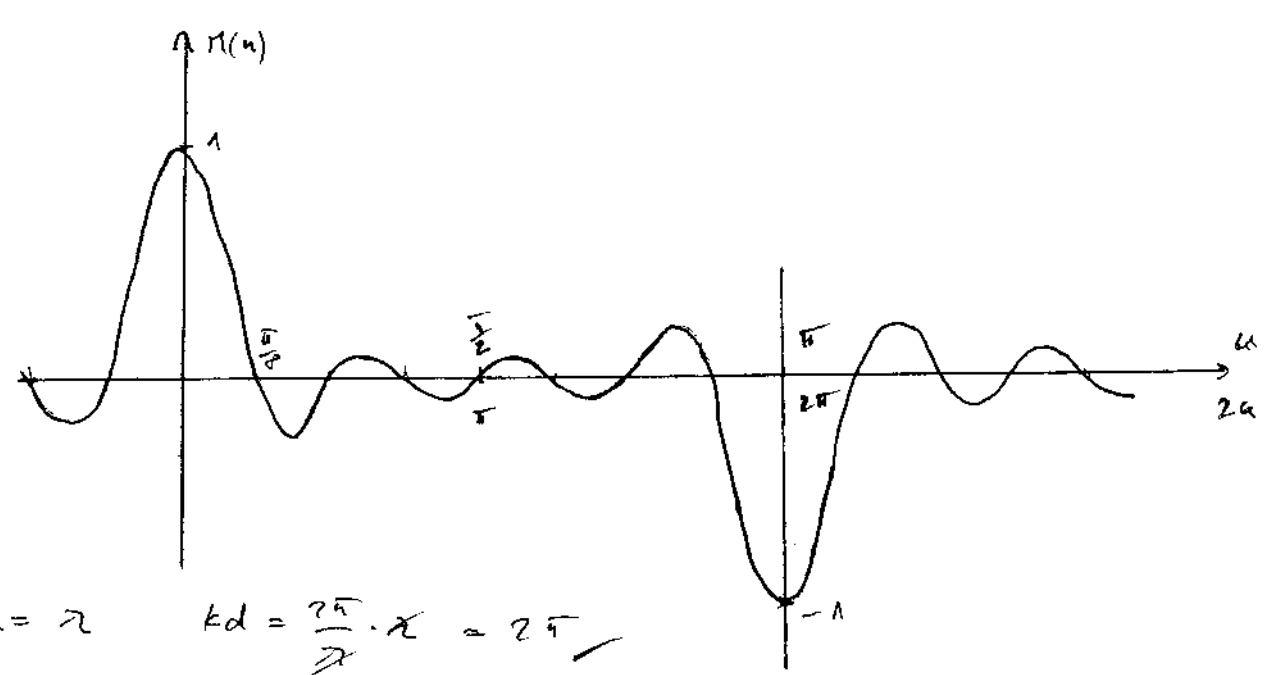
- a) $d = \frac{\lambda}{2}$ $\delta = 0$ b) $d = \frac{\lambda}{2}$ $\delta = \frac{\pi}{4}$ c) $d = \lambda$ $\delta = 0$ d) $d = \lambda$ $\delta = \frac{\pi}{4}$

Folgende Richtdiagramme sind gegeben



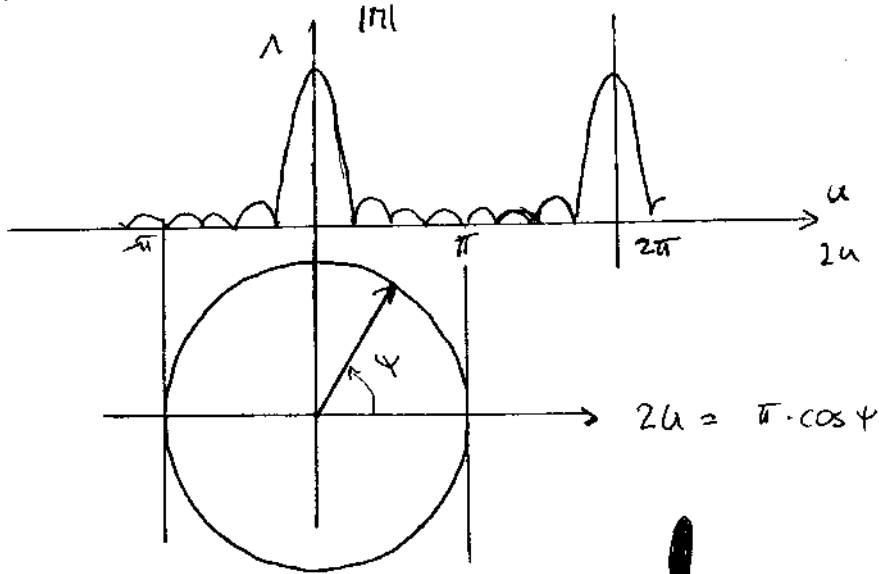
Ordnen Sie sie richtig zu.

$n = P$ $\Pi(u) = \frac{\sin(Pu)}{P \cdot \sin(u)}$ $2u = \delta + kd \cos \theta$



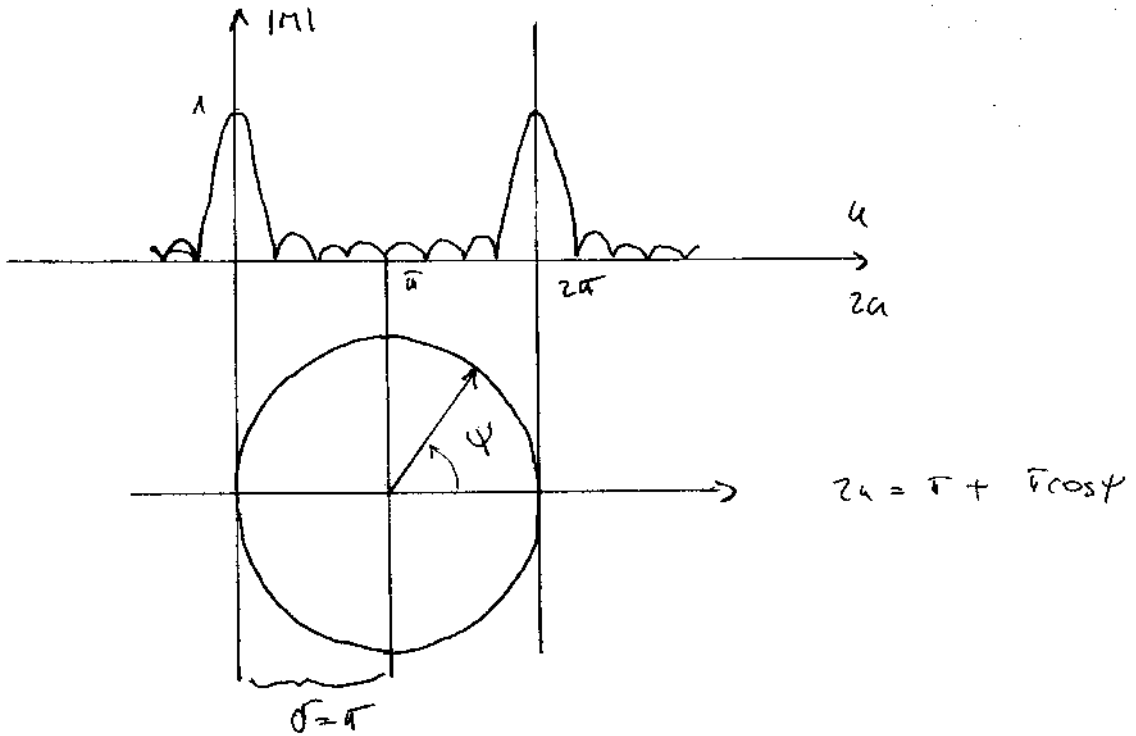
$d = \lambda$ $kd = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \lambda = 2\pi$
 $d = \frac{\lambda}{2}$ $kd = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = \pi$

a) $d = \frac{\lambda}{2}$ $kd = \pi$ $\delta = 0$



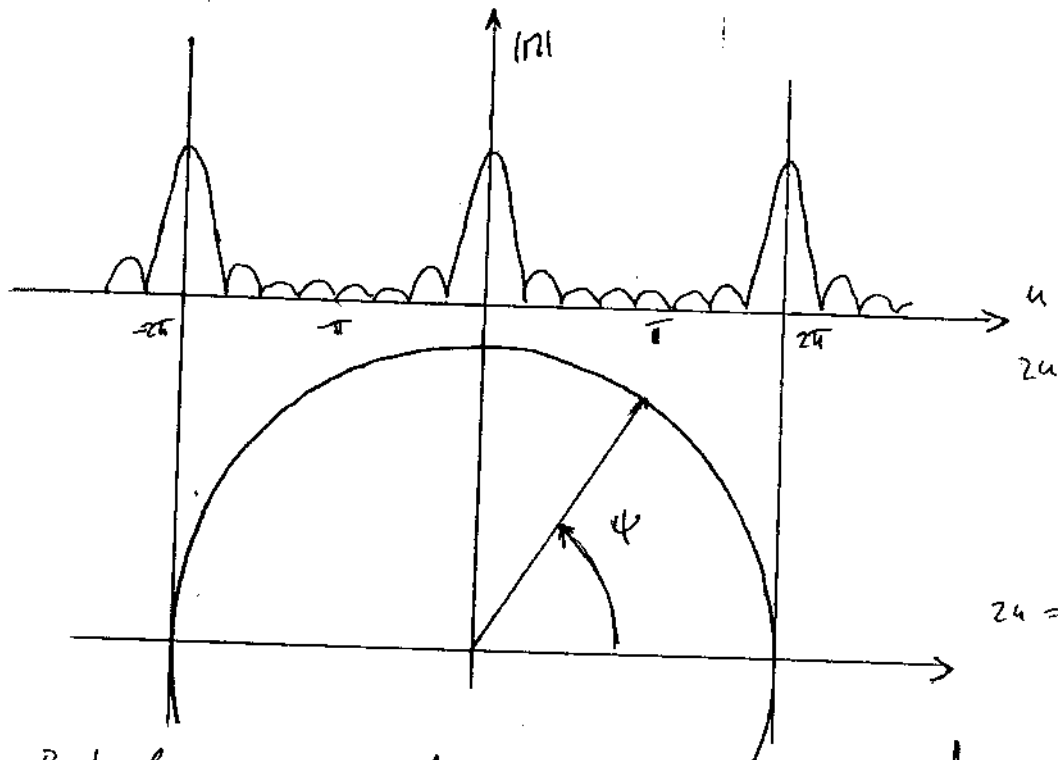
⇒ Richtdiagramm b)

b) $d = \frac{\lambda}{2}$ $kd = \pi$ $\delta = \pi$



⇒ Richtdiagramm a)

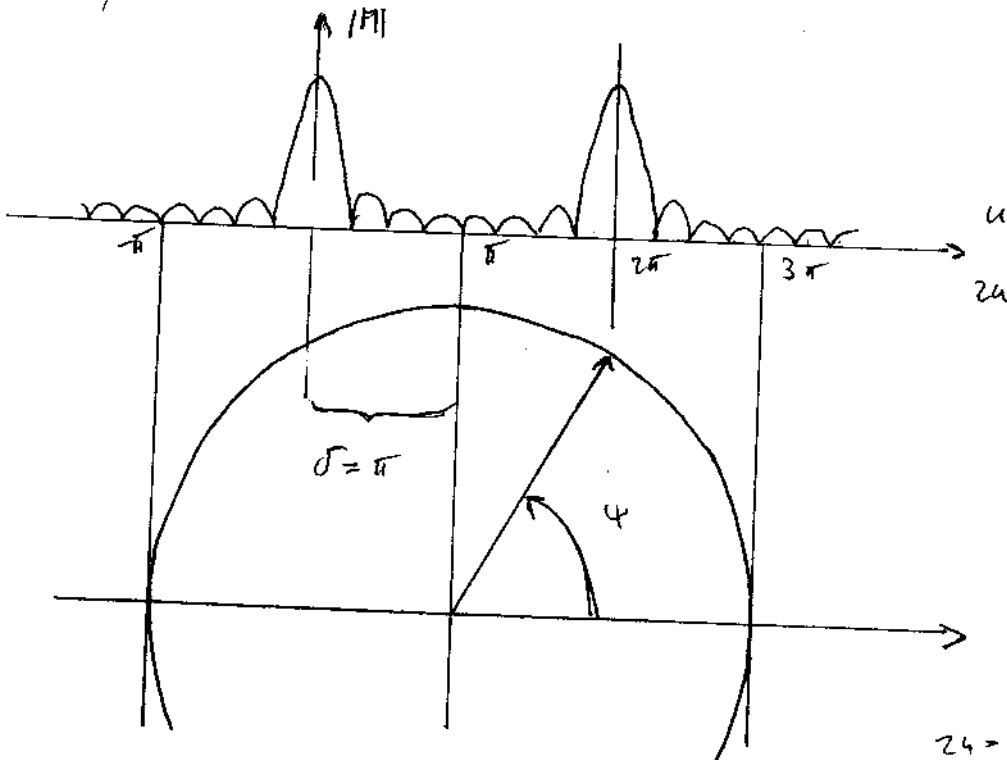
c) $d = \pi$, $kd = 2\pi$, $\delta = 0$



⇒ Richtdiagramm d)



d) $d = \pi$, $kd = 2\pi$, $\delta = \pi$

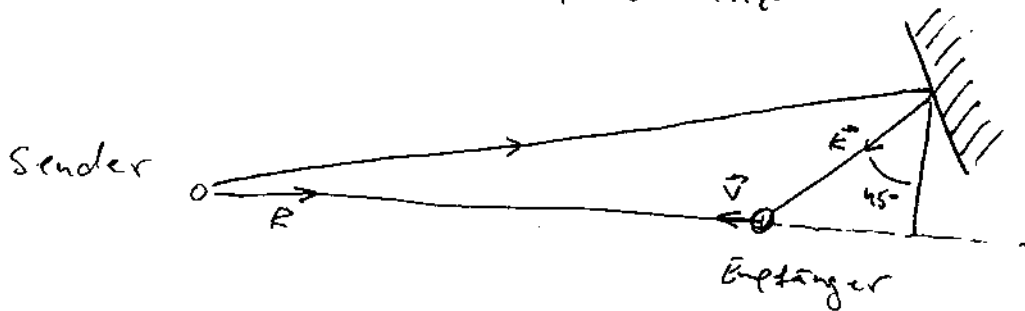


⇒ Richtdiagramm c)



Prüfungsbeispiel

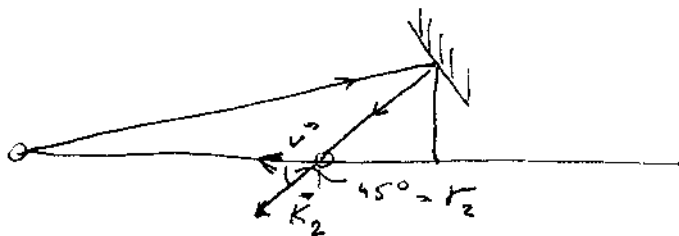
* Mobilfunkstrecke $f = 900 \text{ MHz}$



Direkter Pfad 12 km , Reflektionspfad 18 km
 Das Auto fährt mit $v = 80 \text{ km/h}$ in Richtung Sender.
 Dämpfung des refl. Signals am Empfangsort -20 dB .

a) Schwundrate?

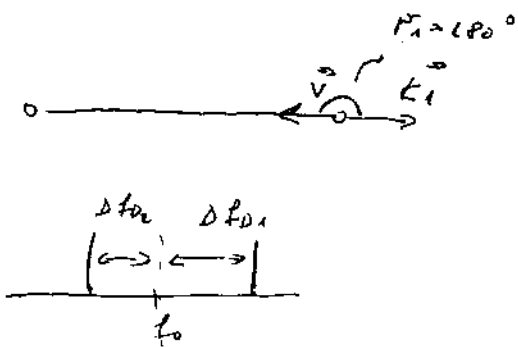
Δf_D



$$\Delta f_{D2} = -\frac{v}{\lambda} \cos \varphi_2$$

$$\varphi = 45^\circ$$

$$\Delta f_{D2} = -47,14 \text{ Hz}$$



$$\Delta f_{D1} = -\frac{v}{\lambda} \cos \varphi_1 = \frac{v}{\lambda}$$

$$\varphi_1 = 180^\circ$$

$$\Delta f_{D1} = 66,66 \text{ Hz}$$

Schwundrate = $\Delta f_{D1} - \Delta f_{D2} = 113,8 \text{ Hz}$

b) Tiefe der Schwindlöcher

$$20 \log \frac{|E_2|}{|E_1|} = -20 \text{ dB} \Rightarrow \frac{|E_2|}{|E_1|} = 0,794$$

$$|\bar{E}_{\text{max}}| = |E_1| + |E_2| = |E_1| \cdot 1,794$$

$$|\bar{E}_{\text{min}}| = |E_1| - |E_2| = |E_1| \cdot 0,20567$$

$$20 \log \frac{|\bar{E}_{\text{min}}|}{|\bar{E}_{\text{max}}|} = 20 \log \frac{0,20567}{1,794} = \hat{=} \underline{\underline{-20,81 \text{ dB}}}$$

c) Systembandbreite = 200 kHz

Wieviele Einbrüche innerhalb des Nutzbandes

$$\tau_1 = \frac{d_1}{c} \quad \tau_2 = \frac{d_2}{c} \quad d_1 = 12 \text{ km} \\ d_2 = 18 \text{ km}$$

$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 \quad \tau_1 = 40 \mu\text{s}$$

$$\tau_2 = 60 \mu\text{s}$$

$$\Delta \tau = 20 \mu\text{s}$$

$$\Delta f_{\text{notch}} = \frac{1}{\Delta \tau} = 50 \text{ kHz}$$

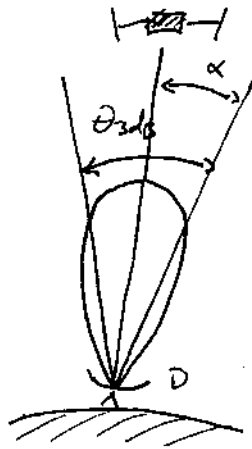
\Rightarrow Vier Einbrüche! $\left(= \frac{B}{\Delta f_{\text{notch}}} \right)$

Prüfungsbeispiel

✱

(19) *) Gegeben: Parabolantenne $\phi: D = 3,2\text{ m}$
 $f = 6\text{ GHz}$

Auf wieviel Grad genau sollte das Empfangs-
 parabol auf den Satelliten ausgerichtet sein, damit
 weniger als 3dB Signal verloren gehen?



$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{6000} \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

$$D = 3,2 \text{ m}$$

$$\theta_{3\text{dB}} = \frac{\lambda}{D} = 0,015625 \text{ rad}$$

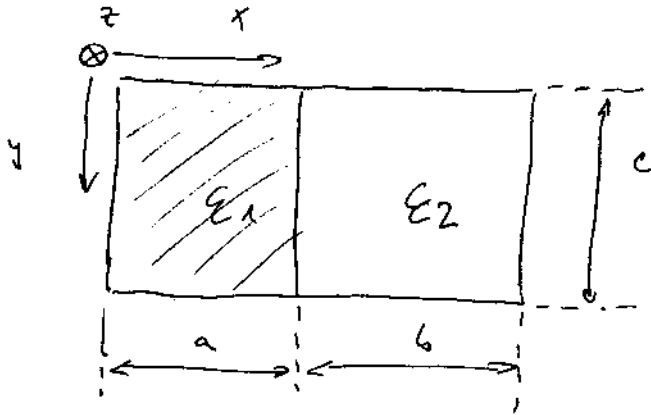
$$\theta_{3\text{dB}}^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \theta_{\text{rad}} = 0,895^{\circ} \approx 0,9^{\circ}$$

$$\alpha = \frac{\theta_{3\text{dB}}^{\circ}}{2} = 0,45^{\circ} \hat{=} 27'$$

(20) * Prüfungsbispiel

Ausbreitung einer TE_{10} -ähnlichen Welle in
Rechteckhohlleiter

$$\mu = \mu_0, \nu = 0$$



$$H_{z0} \Rightarrow$$

$$E_y = 0 \quad \frac{d}{dy} = 0$$

a) Ansatz für H_z :

$$H_{z1} = A_1 \cdot \cos(k_{x1} \cdot x) e^{-\sqrt{k_z} \cdot z}$$

$$H_{z2} = A_2 \cdot \cos[k_{x2} (x - (a+b))] e^{-\sqrt{k_z} \cdot z}$$

$$\underline{\underline{E_z = 0}}$$

b) Separationsbedingung

$$H_{zi} \quad \text{in} \quad \nabla^2 H_{zi} + k^2 H_{zi} = 0 \quad \text{Ansatz} \Rightarrow$$

$$k_{x1}^2 + k_z^2 = k_1^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_1$$

$$k_{x2}^2 + k_z^2 = k_2^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_2$$

$$\Rightarrow \quad k_{x1} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_1 - k_z^2}$$

$$k_{x2} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_2 - k_z^2}$$

c) Restliche Feldkomponente: $K_i^2 = \epsilon_{x_i}^2$, $k_{y_i} = 0$

Raum ① $E_{x_1} = 0$

$$E_{y_1} = \frac{j}{\epsilon_{x_1}^2} \text{ wdm } \frac{dH_{z_1}}{dx} = \frac{-j}{\epsilon_{x_1}} \text{ wdm } A_1 \sin(k_{x_1} x) e^{-j k_{z_1} z}$$

$$E_{z_1} = 0$$

$$H_{x_1} = \frac{-j}{\epsilon_{x_1}^2} k_{z_1} \frac{dH_{z_1}}{dx} = \frac{j}{\epsilon_{x_1}} k_{z_1} A_1 \sin(k_{x_1} x) e^{-j k_{z_1} z}$$

$$H_{y_1} = 0$$

H_{z_1} - Ansatz!

Raum ② $E_{x_2} = 0$

$$E_{y_2} = \frac{-j}{\epsilon_{x_2}} \text{ wdm } A_2 \sin[k_{x_2} (x - (a+b))] e^{-j k_{z_2} z}$$

$$E_{z_2} = 0$$

$$H_{x_2} = \frac{j}{\epsilon_{x_2}} k_{z_2} A_2 \sin[k_{x_2} (x - (a+b))] e^{-j k_{z_2} z}$$

$$H_{y_2} = 0$$

H_{z_2} - Ansatz!

d) Randbedingungen!

$$\llbracket E_t \rrbracket = 0 \quad x=0 \quad E_{y_1} = 0$$

$$x=a \quad E_{y_1} = E_{y_2}$$

$$\frac{-j}{\epsilon_{x_1}} \text{ wdm } A_1 \sin(k_{x_1} a) e^{-j k_{z_1} z} = \frac{j}{\epsilon_{x_2}} \text{ wdm } A_2 \sin[k_{x_2} (a-b)] e^{-j k_{z_2} z}$$

$$x=a+b$$

$$E_{y_2} = 0$$



$$\llbracket H_x \rrbracket = 0 \quad x=a \quad H_{y1} = H_{y2} = 0 //$$

$$H_{z1} = H_{z2}$$

$$A_1 \cos(kx_1 \cdot a) \cancel{e^{-j\beta z}} = A_2 \cos[kx_2 \cdot (-b)] \cancel{e^{-j\beta z}}$$

$$\llbracket B_y \rrbracket = 0 \quad x=0 \quad H_{x1} = 0 //$$

$$x=a \quad H_{x1} = H_{x2}$$

$$\Rightarrow \frac{A_1}{kx_1} \sin(kx_1 \cdot a) = \frac{A_2}{kx_2} \sin[kx_2 \cdot (-b)] //$$

$$x = a+b \quad H_{x2} = 0 //$$

$$y=0 \quad H_{y1} = 0$$

$$y=c \quad H_{y1} = 0 //$$

$$\llbracket D_n \rrbracket = 0 \quad x=a \quad \epsilon_1 E_{x1} = \epsilon_2 E_{x2} = 0 //$$

e) Dispersionsgleichung

$$\frac{A_1}{kx_1} \sin(kx_1 \cdot a) = \frac{A_2}{kx_2} \sin[kx_2 \cdot (-b)]$$

$$A_1 \cos(kx_1 \cdot a) = A_2 \cos[kx_2 \cdot (-b)] //$$

$$\frac{\tan(kx_1 \cdot a)}{kx_1} = - \frac{\tan(kx_2 \cdot b)}{kx_2}$$

und mit kx_1, kx_2 aus der Sep. bed.:

$$\frac{\tan[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_1 - k_z^2} \cdot a]}{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_1 - k_z^2}} + \frac{\tan[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_2 - k_z^2} \cdot b]}{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_2 - k_z^2}} = 0 //$$

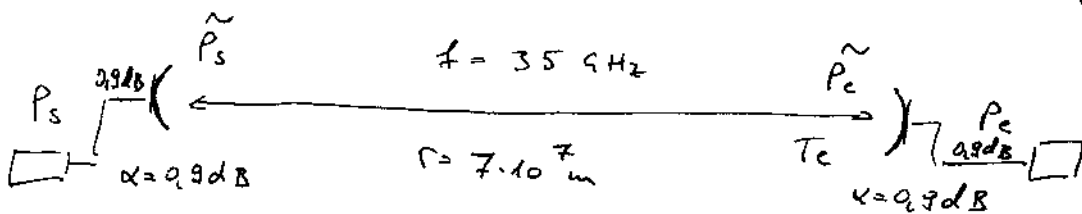
(21) *) Prüfungsbeispiel

Zwischen 2 Nachrichtensatelliten in geostationärer Umlaufbahn (Entfernung von einander $r = 7 \cdot 10^7 \text{ m}$) soll eine Übertragungsstrecke bei $f = 35 \text{ GHz}$ eingerichtet werden.

a) Welchen Durchmesser müssen die als Sende- und Empfangsantennen verwendeten gleichen Parabolspiegel haben, wenn:

- ihr Flächenwirkungsgrad $w = 60\%$ beträgt,
- 1,5 W Sendeleistung zur Verfügung stehen,
- Die Leistung am Empfänger mindestens -70 dBm betragen muss!

Die Verluste in den Zuleitungen von Sender zu Antenne und Antenne zum Empfänger betragen je $0,9 \text{ dB}$.



$$P_s = 1,5 \text{ W} \hat{=} 31,761 \text{ dBm} \quad \tilde{P}_s = P_s - 0,9 \text{ dB} = 30,861 \text{ dBm}$$

$$P_c = -70 \text{ dBm} \quad \tilde{P}_c = P_c + 0,9 \text{ dB} \hat{=} 1,2193 \text{ W}$$

$$= -69,1 \text{ dBm} \hat{=} 1,2303 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

$$T_c = \frac{\tilde{P}_s \cdot G_s}{4\pi r^2}$$

$$\tilde{P}_c = A \cdot T_c = A \cdot \frac{\tilde{P}_s \cdot G_s}{4\pi r^2}$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_s$$

$$\Rightarrow \tilde{P}_c = \frac{A^2 \cdot G_s}{\lambda^2} \cdot \frac{\tilde{P}_s}{4\pi r^2} = \frac{A^2 \cdot \tilde{P}_s}{2\pi \cdot r^2}$$

$$A = w \cdot A_e$$

$$A^2 = \frac{\tilde{P}_e}{\tilde{P}_s} \lambda^2 r^2 \quad A = 2r \cdot \sqrt{\frac{\tilde{P}_e}{\tilde{P}_s}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 8,571 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad r = 7 \cdot 10^7 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A = 6,027 \text{ m}^2 \quad A_e = \frac{A}{w} = 10,045 \text{ m}^2$$

$$A_e \approx \frac{D^2 \pi}{4} \quad D = \sqrt{\frac{4 A_e}{\pi}} = 3,576 \text{ m}$$

b) Dieselbe Strecke soll mit einem CO_2 -Laser, $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$, als Sender aufgebaut werden. Welche Sendeleistung müsste der Laser abgeben, wenn - bei sonst gleichen Bedingungen wie unter a) - die als Antennen wirkenden Teleskopspiegel $D = 10 \text{ cm}$ Durchmesser und $w = 95\%$ Flächenwirkungsgrad aufweisen?

$$\lambda = 10,6 \mu\text{m} \quad w = 0,95 \quad A_e = \frac{D^2 \pi}{4} \Rightarrow A = A_e \cdot w = 7,4613 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\tilde{P}_s = \frac{\tilde{P}_e \cdot \lambda^2 \cdot r^2}{A^2} = 1,2167 \text{ W} \hat{=} 30,852 \text{ dBm}$$

$$P_s = \tilde{P}_s + 0,9 \text{ dB} = 31,752 \text{ dBm} \hat{=} 1,497 \text{ W}$$

c) Prüfen Sie in beiden Fällen, ob die Empfangsantenne mindestens die Rayleighdistanz von der Sendantenne entfernt ist.

$$r_g = \frac{2D^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{2}$$

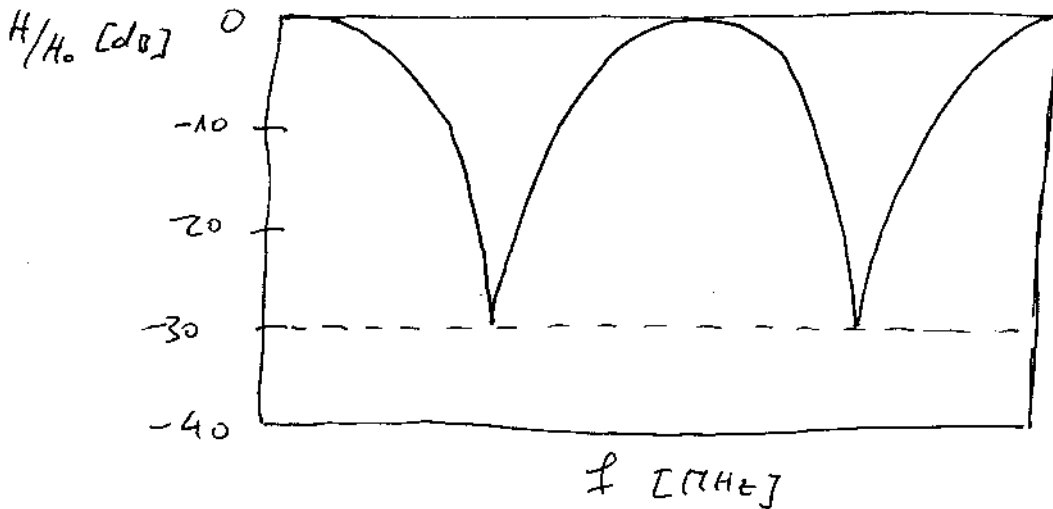
$$\lambda = 8,571 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \quad D = 3,575 \text{ m} \Rightarrow r_g \approx 3 \text{ km} \quad \text{JA!}$$

$$\lambda = 10,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}, \quad D = 0,1 \text{ m} \Rightarrow r_g = 1,8 \text{ km} \quad \text{JA!}$$

Prüfungsbeispiel

(22) * Gegeben: Das Diagramm von frequenzselektivem Schwund

Gesucht: Das Verhältnis zweier Amplituden!



$$|H(j\omega)| = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\omega\Delta\tau)}$$

Maximum für $\cos(\omega\Delta\tau) = 1$ $|H|_{\max} = A_1 + A_2 = H_0$

Minimum für $\cos(\omega\Delta\tau) = -1$ $|H|_{\min} = A_1 - A_2$ ($A_1 > A_2$)

$$20 \log \frac{|H|_{\min}}{H_0} \text{ dB} = -30 \text{ dB} \Rightarrow \frac{|H|_{\min}}{H_0} = 3,1623 \cdot 10^{-2}$$

$$\Rightarrow \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2} = 3,1623 \cdot 10^{-2} \quad A_1 - A_2 = 3,1623 \cdot 10^{-2} (A_1 + A_2)$$

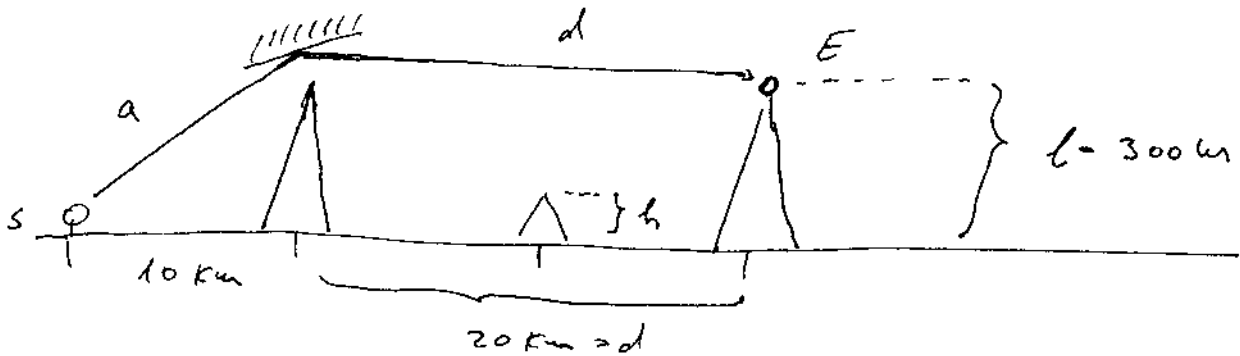
$$0,9684 \cdot A_1 = 1,0316 A_2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \underline{\underline{0,9387}}$$

(23)

*) Prüfungsbeispiel

Gegeben : Richtfunkstrecke mit Spiegel



$$f = 900 \text{ MHz}$$

$$\text{Spiegel : } d = 5 \text{ m} \quad |\Gamma| = 0,9$$

$$\text{Empfänger : } T_{\text{antenn}} = 1000 \text{ K} \quad B = 5 \text{ MHz}$$

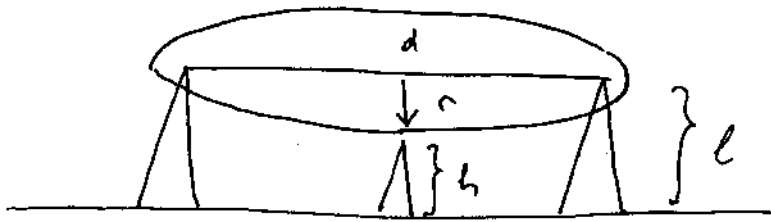
$$\text{SNR}_{\text{min}} = 20 \text{ dB}$$

$$\text{E-pfangsantenne : } D = 2 \text{ m}, \quad \eta = 0,6$$

a) Wie hoch darf h sein, damit die dadurch verursachte Dämpfung minimal bleibt?

Es soll das erste Fresnel-Ellipsoid frei bleiben

In der Mitte beträgt sein Radius $r = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{4}}$



$$r = \sqrt{\frac{d^2}{4}}$$

$$h + r \leq l$$

$$r = 41 \text{ m}$$

$$\Rightarrow h \leq l - r = \underline{\underline{259 \text{ m}}}$$

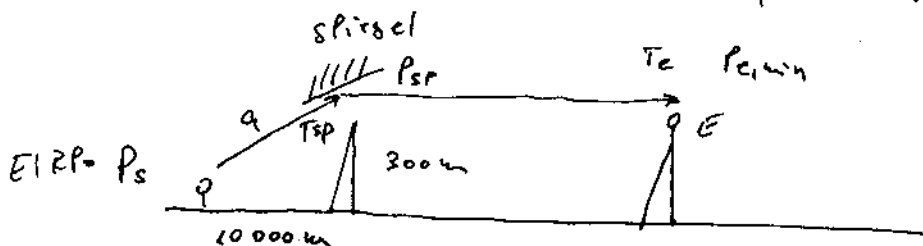
b) Berechnen Sie Senderleistung (EIRP) für SNR_{min} . (für h aus Punkt a))

$$\text{SNR}_{\text{min}} = 10 \log \frac{P_{e,\text{min}}}{P_n} \text{ dB} = 20 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow P_{e,\text{min}} = 100 \cdot P_n \quad P_n = kT \cdot B = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$\text{und } P_{e,\text{min}} = 6,9 \cdot 10^{-12} \text{ W} = \underline{\underline{6,9 \text{ pW}}}$$

EIRP: Sender als Isotropstrahler:



$$\text{Bei Spiegel: } T_{sp} = \frac{\text{EIRP}}{4\pi a^2}$$

$$a = \sqrt{10000^2 + 300^2} \text{ m}$$

$$a = 10004,5 \text{ m}$$

An Spiegel wird reflektiert:

$$P_{sp} = T_{sp} \cdot A_{sp} \cdot |\Gamma|^2$$

($|\Gamma|$) \rightarrow Reflexionsfaktor für das Feld \Rightarrow
 $|\Gamma|^2$ ist Reflexionsfaktor für die Leistung)

Bei Empfänger:

$$T_c = \frac{P_{sp} \cdot G_{sp}}{4\pi d^2} \quad G_{sp} = \frac{4\pi A_{sp}}{\lambda^2}$$

und $P_{e, \min} = T_c \cdot A_e$

$$\Rightarrow P_{e, \min} = \frac{P_{sp} \cdot G_{sp}}{4\pi d^2} \cdot A_e = \frac{T_{sp} \cdot A_{sp} \cdot |\Gamma|^2}{4\pi d^2} \cdot \frac{4\pi A_{sp}}{\lambda^2} A_e$$

$$= \frac{EIRP}{4\pi r^2} \cdot \frac{A_{sp}^2 \cdot |\Gamma|^2 \cdot A_e}{d^2 \lambda^2}$$

$$\Rightarrow EIRP = \frac{P_{e, \min} \cdot 4\pi r^2 d^2 \lambda^2}{A_{sp}^2 A_e |\Gamma|^2}$$

mit $A_{sp} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ $A_e = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot w}{4}$ $d = 5 \text{ m}$

$$D = 2 \text{ m}$$

$$w = 0,6$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{EIRP = 655,3 \text{ W}}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{3} \text{ m}$$

$$|\Gamma| = 0,9$$

c) Berechnen Sie Sendeleistung für SNR_{min}, wenn Sender und Empfangsantenne gleich sind!

$$EIRP = P_s \cdot G_{iso}$$

$$G_{iso} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = 213,2$$

$$\Rightarrow P_s = \frac{EIRP}{G_{iso}} = \underline{\underline{3,1 \text{ W}}}$$

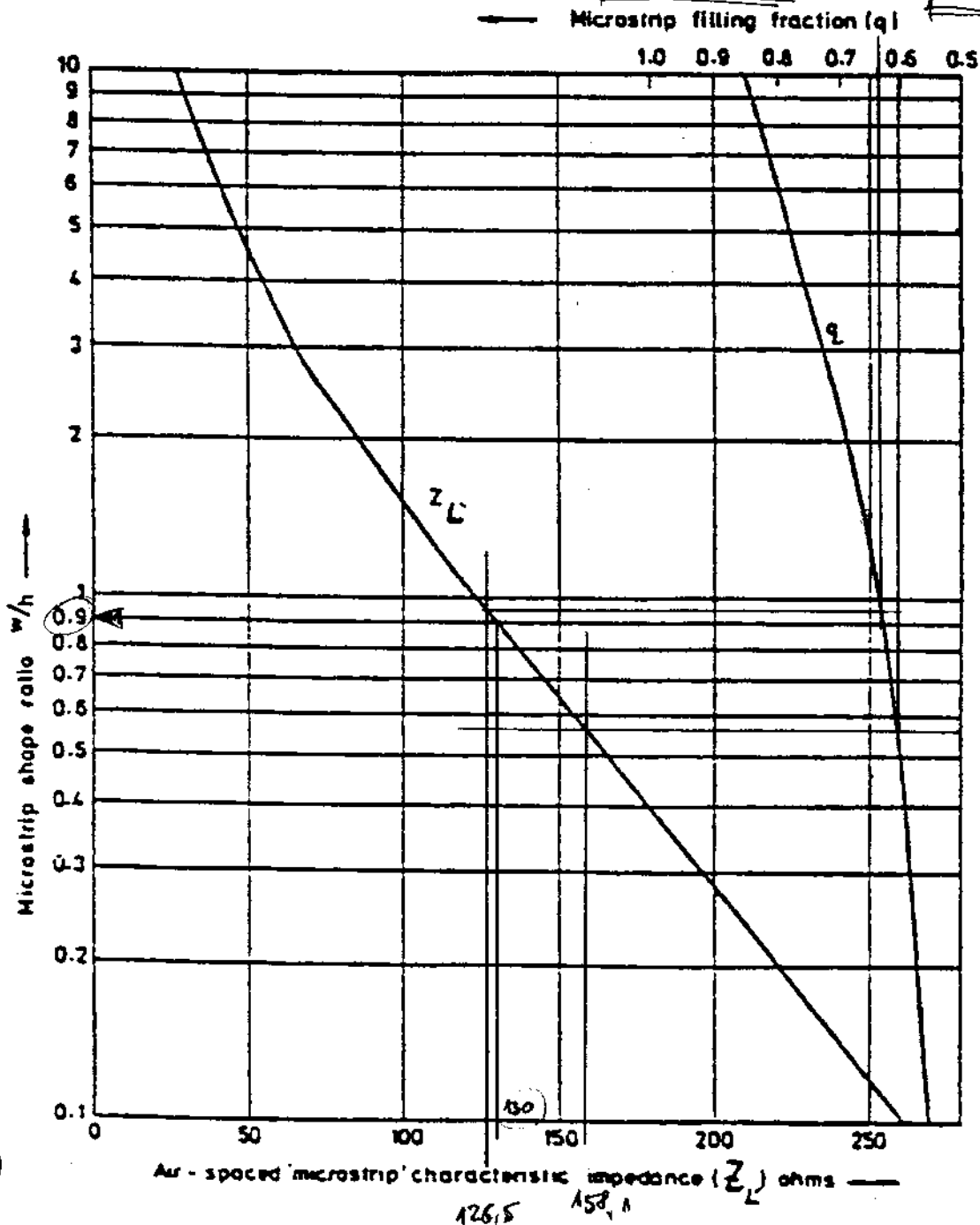
24) *1) Prüfungsbeispiel

Dimensionieren Sie mit Hilfe der graphischen Methode und rechnerisch eine Microstrip Leitung:

$z_w = 50 \Omega$ $\epsilon_r = 10$ $h = 0,5 \text{ mm}$

a) Annahme $\epsilon_{eff} = \epsilon_r = 10 \Rightarrow z_L = z_w \sqrt{\epsilon_{eff}} = 158,1 \Omega$
 $\Rightarrow Q = 96$ $\epsilon_{eff} = 1 + Q(\epsilon_r - 1) = 6,4$

b) $z_L = z_w \sqrt{6,4} = 126,5 \Omega \Rightarrow Q = 963 \Rightarrow \epsilon_{eff} = 6,67$
 und $z_L = z_w \sqrt{6,67} = 130 \Omega \Rightarrow \frac{w}{h} = 9,9 \Rightarrow w = 0,45 \text{ mm}$



Rechnerisch:

Graphisch erhalten $\frac{w}{h} = 0,9 < 2$

Synthese-Formeln:

$$A = \frac{25 Z w}{\sqrt{\frac{\sigma_{z0}}{\epsilon_0}}} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 2,152875$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8 e^A}{e^{2A} - 2} = \underline{\underline{0,955}} \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{w = 0,4775 \text{ mm}}}$$

Weiters aus den Analyse-Formeln:

$$\frac{w}{h} < 1 \quad \epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow \epsilon_{\text{eff}} = \underline{\underline{6,722}}$$

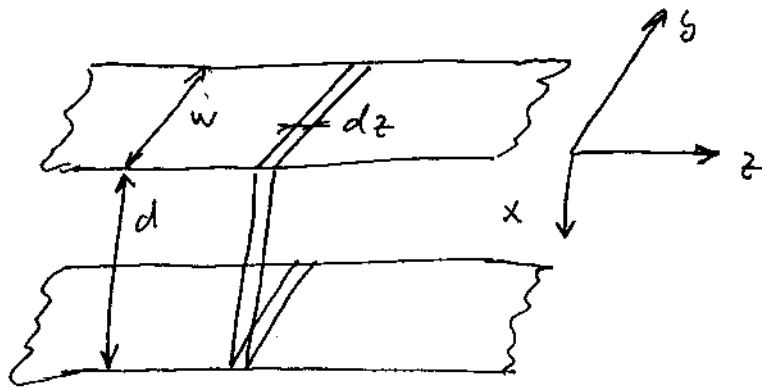
und schließlich

$$P = \frac{\epsilon_{\text{eff}} - 1}{\epsilon_r - 1} = \underline{\underline{0,636}}$$

Wellenausbreitung: Rechenbeispiel

12.05.2003

1) 25%



$w \gg d$

R_n -Bereich

TEM in z -Richtung wird betrachtet!

a) 10%

Ansatz für TEM \checkmark , $H_z = 0$
 $E_z = 0$
 Feldbilder zeichnen \checkmark

b) 5%

Transportierte Leistung

$P_{\text{tot}}? \checkmark$ 3.15

c) 5%

Dissipierte Leistung

$\frac{dP}{dz} = ?$

d) 5%

Dämpfungsbeleg $\alpha = ?$

$$P_{\text{ZF}} = \frac{|\vec{E}_{y0} e^{-jkz}|^2}{2\eta} w d$$

$\frac{dP}{dz}$

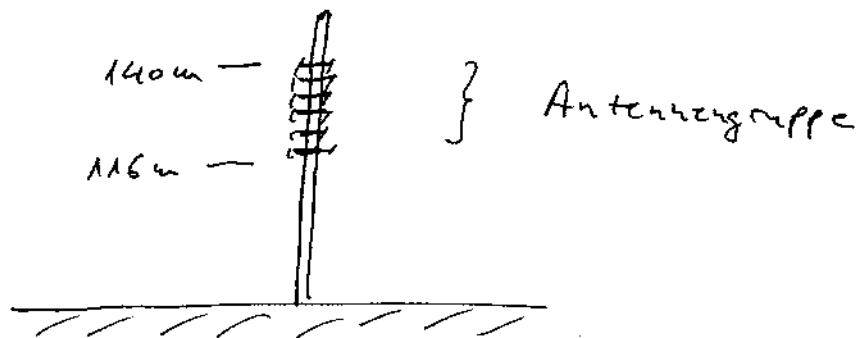
$$-\frac{dP(z)}{dz} = 2 \quad |$$

(2)

107.1

?

TV-Sender an Kahleberg:

Band III, Kanal 5, $f = 179 - 182 \text{ MHz}$ 

Außerdem gegeben ist die Skizze einzelner Antennen in der Gruppe (nicht wichtig!)

a) Ab wann spricht man vom Fernfeld?

Wie groß darf in diesem Fall der Phasenfehler ($\Delta\alpha_{\max}$) maximal werden?

(Hinweis! $D = 24 \text{ m}$)

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} + \lambda \quad \text{ab } r_R$$

b) Wie groß ist die modifizierte

Rayleigh-Distanz, wenn gefordert wird, dass

$$\Delta\alpha_{\max} = 10^\circ$$

$$\Delta\alpha_{\max} = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{D^2}{r_R} \Rightarrow r_R' = \frac{\pi \cdot D^2}{\lambda \cdot \Delta\alpha_{\max}}$$