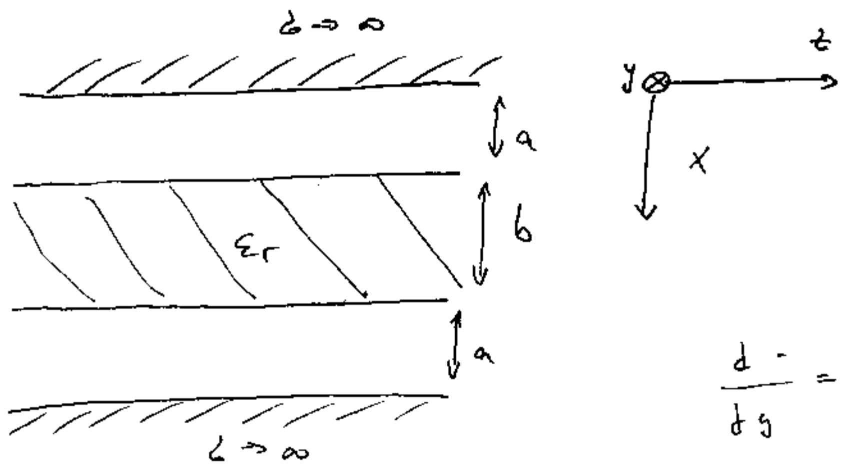
Prüfungs bsp. 19

Dielektrischer Wellenleiter

(1)

*)



TM-Welle

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

a) Ansatz für E_z:

TM-Welle $\Rightarrow$ $H_z = 0$

$E_{z_1} = A_1 \sin(k_{x_1} \cdot x)\, e^{-j k_z \cdot z}$

$E_{z_2} = A_2 \sin[k_{x_2}(x-a)]\, e^{-j k_z \cdot z}$

$E_{z_3} = A_3 \sin[k_{x_3}(x-(2a+b))]\, e^{-j k_z \cdot z}$

b) Restliche Feldkomponenten

Raum 1) $\quad k^2 = k_x^2$

$E_{x_1} = \frac{-j}{k^2} k_z \frac{d E_{z_1}}{dx} = \frac{-j}{k_{x_1}} k_z A_1 \cos(k_{x_1} \cdot x)\, e^{-j k_z \cdot z}$

$E_{y_1} = 0 \quad ; \quad E_{z_1} \to$ Ansatz

$H_{y_1} = \frac{-j}{k^2} \omega \sigma_1 \frac{d E_{z_1}}{dx} = \frac{-j A_1}{k_{x_1}} \omega \sigma_1 \cos(k_{x_1} \cdot x)\, e^{-j k_z \cdot z}$

$H_{z_1} = 0 \quad , \quad H_{x_1} = 0$

WA

Raum 2)

$$E_{x_2} = \frac{-j}{k_{x_2}} k_z A_2 \cos[k_{x_2}(x-a)] e^{-jk_z \cdot z}$$

$E_{y_2} = 0$ $\qquad E_{z_2} \rightarrow$ Ansatz

$H_{x_2} = 0$ $\qquad H_{z_2} = 0$

$$H_{y_2} = \frac{-j}{k_{x_2}} \omega \delta_2 A_2 \cos[k_{x_2}(x-a)] e^{-jk_z \cdot z}$$

Raum 3)

$$E_{x_3} = \frac{-j}{k_{x_3}} k_z A_3 \cos[k_{x_3}(x-(2a+b))] e^{-jk_z \cdot z}$$

$E_{y_3} = 0$ $\qquad E_{z_3} \rightarrow$ Ansatz

$H_{x_3} = 0$ $\qquad H_{z_3} = 0$

$$H_{y_3} = \frac{-j}{k_{x_3}} \omega \delta_3 A_3 \cos[k_{x_3}(x-(2a+b))] e^{-jk_z \cdot z}$$

c) Separationsbed.

$$\nabla^2 E_{z_i} + k^2 E_{z_i} = 0 \qquad \boxed{\omega^2 \mu_0 \delta} \quad \delta = \varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega}$$

$$-k_{x_i}^2 \cancel{E_{z_i}} - k_z^2 \cancel{E_{z_i}} + k^2 \cancel{E_{z_i}} = 0$$

$$k^2 = k_{x_i}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \delta_i$$

$$\Rightarrow \quad k_{x_1}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0$$

$$k_{x_2}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$k_{x_3}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \qquad \Rightarrow \quad k_{x_1} = k_{x_3}$$

WA

d) Randbedingungen

$[\![E_t]\!] = 0$ $\quad x=0 \quad E_{z1} = 0$

$x = a \quad E_{z1} = E_{z2}$

$A_1 \sin(k_{x1} \cdot a)\, e^{-jk_z \cdot z} = 0 \Rightarrow k_{x1} = \frac{n\pi}{a}$

$x = a+b \quad E_{z2} = E_{z3}$

$$\underbrace{A_2 \sin(k_{x2} \cdot b) \cdot \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = A_3 \sin[k_{x3}(-a)]\, \cancel{e^{-jk_z \cdot z}}}$$

$x = 2a+b \quad E_{z3} = 0$

$[\![H_t]\!] = 0$ $\quad x = a \quad H_{y1} = H_{y2}$

$$\frac{\cancel{-j} A_1}{k_{x1}} \cancel{\omega \varepsilon_1} \cos(k_{x1} \cdot a)\, \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = \frac{\cancel{-j}}{k_{x2}} A_2 \cancel{\omega \varepsilon_2}^{\varepsilon_r} \cancel{e^{-jk_z \cdot z}}$$

$$\Rightarrow \frac{A_1}{k_{x1}} \cos(k_{x1} \cdot a) = \frac{A_2 \varepsilon_r}{k_{x2}}$$

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

$$\frac{\cancel{-j} A_2 \cancel{\omega \varepsilon_2}^{\varepsilon_r}}{k_{x2}} \cos(k_{x2} \cdot b) = \frac{\cancel{-j} A_3 \cancel{\omega \varepsilon_3}}{k_{x3}} \cos[k_{x3}(-a)]$$

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

$[\![B_n]\!] = 0$ $\quad H_{x_i} = 0$

$[D_n] = 0$ $\quad x = a \quad E_{x1} = \varepsilon_r E_{x2}$

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

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

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

$\Rightarrow$ keine neue Info!

c) Dispersionsgleichung

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

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

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

Aus der Sep. bedingung : $k_i^2 = k_z^2 + k_{xi}^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_{ri}$

$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_{x1}^2 \qquad k_{x1} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_z^2}$

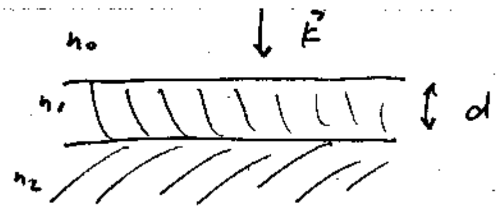
$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r - k_{x2}^2 \qquad k_{x2} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r - k_z^2}$

$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_{x3}^2 \qquad k_{x3} = k_{x1}$

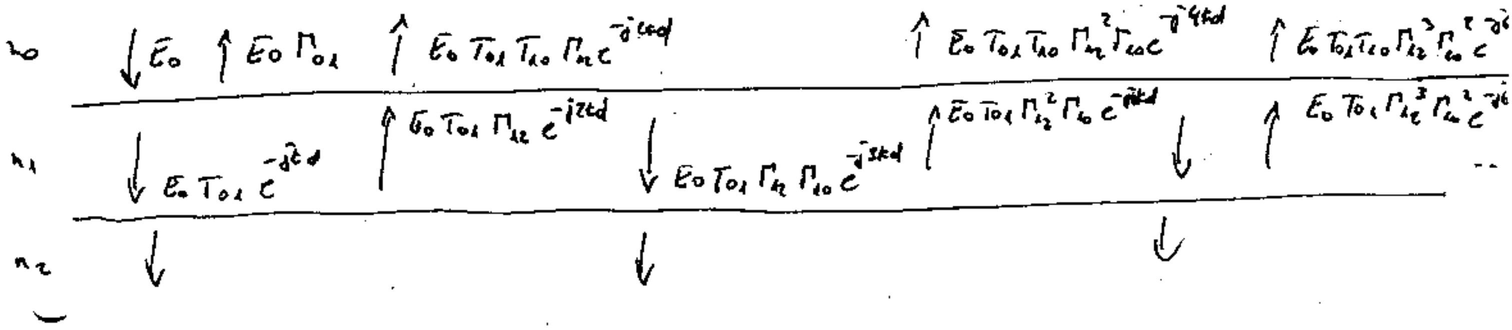
$$\Rightarrow \frac{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r - k_z^2}}{\varepsilon_r} \cdot \tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r - k_z^2} \cdot b\right] = -\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_z^2} \cdot \tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_z^2} \cdot a\right]$$

Prüfungsbeispiel

(2) 1) Antireflexbelag



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



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

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

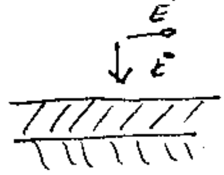
$$= E_0 \Gamma_{01} + E_0 T_{01} T_{10} \Gamma_{12} e^{-j2kd} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\Gamma_{12} \Gamma_{10} e^{-j2kd} \right)^n$$

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

$$E_e = E_0$$

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

b) $d = \dfrac{\lambda_1}{4}$ $\qquad n_1 = \sqrt{n_0 n_2}$



$\theta = 0$ TE-Fall

$$\Gamma_{TE} = \frac{1-n}{1+n} \qquad T_{TE} = \frac{2}{1+n}$$

WA

$$\Gamma_{01}: \quad n = \frac{n_1}{n_0} \qquad \Gamma_{01} = \frac{1 - \frac{n_1}{n_0}}{1 + \frac{n_1}{n_0}} = \underline{\underline{\frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}}}$$

$$\Gamma_{10}: \quad n = \frac{n_0}{n_1} \qquad \Gamma_{10} = \underline{\underline{\frac{n_1 - n_0}{n_0 + n_1}}}$$

$$\Gamma_{12}: \quad n = \frac{n_2}{n_1} \qquad \Gamma_{12} = \underline{\underline{\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}}}$$

$$T_{01}: \quad n = \frac{n_1}{n_0} \qquad T_{01} = \frac{2}{1 + \frac{n_1}{n_0}} = \frac{2 n_0}{n_0 + n_1}$$

$$T_{10}: \quad n = \frac{n_0}{n_1} \qquad T_{10} = \frac{2 n_1}{n_0 + n_1}$$

$$kd = \frac{\cancel{2}\pi}{\cancel{\lambda_1}} \cdot \frac{\cancel{\lambda_1}}{\cancel{4}\,2} = \frac{\pi}{2} \qquad e^{-j2kd} = e^{-j\pi} = \underline{\underline{-1}}$$

$$\Gamma = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} - \frac{\frac{2 \cdot n_0}{(n_0 + n_1)} \cdot \frac{2 \cdot n_1}{(n_0 + n_1)} \cdot \frac{n_1 - n_2}{(n_1 + n_2)}}{1 + \frac{(n_1 - n_2) \cdot (n_1 - n_0)}{(n_1 + n_2) \cdot (n_0 + n_1)}}$$

$$= \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} - \frac{\frac{4 n_0 n_1 (n_1 - n_2)}{(n_0 + n_1) \cdot \cancel{(n_0 + n_1) \cdot (n_1 + n_2)}}}{\frac{\cancel{n_1 n_0} + n_1^2 + n_2 n_0 + \cancel{n_2 n_1} + n_1^2 - \cancel{n_1 n_0} - \cancel{n_2 n_1} - n_2 n_0}{\cancel{(n_1 + n_2) \cdot (n_0 + n_1)}}}$$

$$= \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} - \frac{\frac{4 n_0 n_1 (n_1 - n_2)}{n_0 + n_1}}{\underset{\underset{4 n_0 n_2}{\underline{n_0 n_2}}}{\downarrow}{2 n_1^2 + 2 n_2 n_0}}$$

$$= \frac{(n_0 - n_1) \cdot \cancel{4 n_0} n_2 - \cancel{4 n_0} n_1 (n_1 - n_2)}{\cancel{4 n_0} n_2 (n_0 + n_1)} = \frac{n_0 n_2 - \cancel{n_1 n_2} - n_1^2 + \cancel{n_1 n_2}}{n_2 (n_0 + n_1)}$$

$$= \frac{\cancel{n_0 n_2 - n_1^2}}{n_2 (n_0 + n_1)} = 0 \qquad \text{da} \quad \underline{\underline{n_1^2 = n_0 n_2}}$$

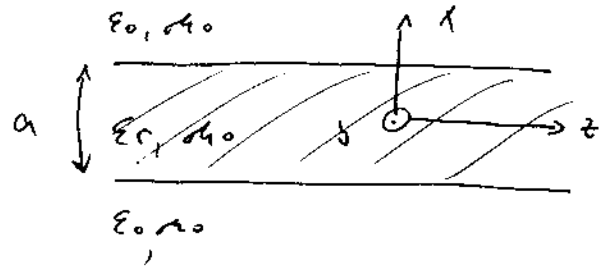
Also keine Reflexion nur Transmition

WA

Prüfungsbeispiel

(3)

*) Dielektrischer Wellenleiter



∞ ausgedehnte dielektrische Platte.

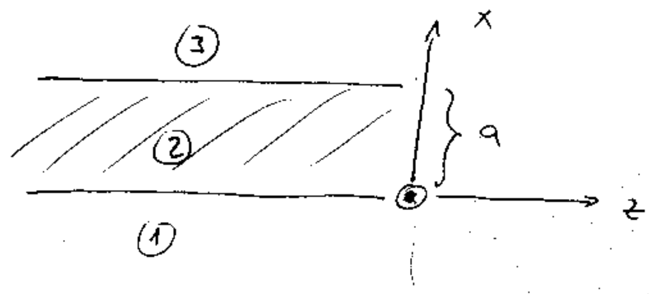
$A_1 e^{-k_{x_1} x} \cdot e^{-jk_z z}$

$A_2 \cdot e^{k_x x}$

a) Ansatz für eine H_{10} – ähnliche Welle?

TE Fall

$E_{z_i} = 0$



$$H_{z_1} = A_1 \cdot \cos(k_{x_1} \cdot x) \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z_2} = A_2 \cdot \cos(k_{x_2} \cdot x)\, e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z_3} = A_3 \cdot \cos[k_{x_3} \cdot (x-a)]\, e^{-jk_z \cdot z}$$

Separationsbed.

$$\nabla^2 H_{z_i} + k^2 H_{z_i} = 0 \quad \Rightarrow \quad k^2 = k_{x_i}^2 + k_z^2 = \omega^2 \varepsilon_i \mu_0$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = 0 \qquad k_{y_i} = 0$$

$$k^2 = k_x^2$$

Unendlich weit in y-Richtung

WA

b) Restliche Feldkomponente ?

(1) $E_{x1} = 0$

$$E_{y1} = \frac{j}{k^2}\,\omega\mu_0\,\frac{dH_{z1}}{dx} = -\frac{j\omega\mu_0}{k_{x1}}\,A_1\,\sin(k_{x1}\cdot x)\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$E_{z1} = 0$

$$H_{x1} = \frac{-j}{k^2}\,k_z\,\frac{dH_{z1}}{dx} = \frac{j}{k_{x1}}\,k_z\,A_1\,\sin(k_{x1}\cdot x)\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$H_{y1} = 0$, H_{z1} – Ansatz

(2) $E_{x2} = 0$

$$E_{y2} = -\frac{j\omega\mu_0}{k_{x2}}\,A_2\,\sin(k_{x2}\cdot x)\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$E_{z2} = 0$

$$H_{x2} = \frac{j}{k_{x2}}\cdot k_z\cdot A_2\,\sin(k_{x2}\cdot x)\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$H_{y2} = 0$, H_{z2} – Ansatz

(3) $E_{x3} = 0$

$$E_{y3} = \frac{-j\omega\mu_0}{k_{x3}}\,A_3\,\sin[k_{x3}(x-a)]\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$E_{z3} = 0$

$$H_{x1} = \frac{j}{k_{x3}}\,k_z\,A_3\,\sin[k_{x3}(x-a)]\,e^{-jk_z\cdot z}$$

$H_{y3} = 0$, H_{z3} – Ansatz

WA

c, d) RB d Grenzfrequenz des Grundmodus

RB. $[\![H_z]\!] = 0$

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

$x = a$ $\qquad A_2 \cos(k_{x_2} \cdot a) = A_3$

$[\![E_y]\!] = 0$

$x = 0$ $\qquad E_{y_1} = E_{y_2} = 0$ ✓ $\qquad k_{x_2} \cdot a = m \cdot \pi \Rightarrow k_{x_2} = \frac{m \cdot \pi}{a}$

$x = a$ $\qquad E_{y_2} = \frac{-j \omega \mu_0}{k_{x_2}} A_2 \sin(k_{x_2} \cdot a) = 0$

$\Rightarrow \quad k_{x_2} = \frac{m\pi}{a} \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$

$[\![D_n]\!] = 0$ $\qquad E_{x_i} = 0$ ✓

$[\![B_n]\!] = 0$

$x = 0$ $\qquad H_{x_1} = H_{x_2} = 0$ ✓

$x = a$ $\qquad H_{x_2} = H_{x_3}$

$\frac{j}{k_{x_2}} k_z \cdot A_2 \sin(k_{x_2} \cdot a) = 0 \quad \Rightarrow \quad \underline{k_{x_2} = \frac{m\pi}{a}}$

Separationsbed. für k_{x_2}

$$\omega_0^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r = k^2 = k_{x_2}^2 + k_z^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2$$

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

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

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

$$\lambda_H = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} = \frac{\cancel{2\pi}}{\frac{\cancel{2\pi}}{\lambda}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}}$$

$$= \frac{\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2\cdot\left(\frac{m}{2a}\right)^2}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}}$$

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

Grundmodus $m = 1$

$$\lambda_g = 2a \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r}}$$

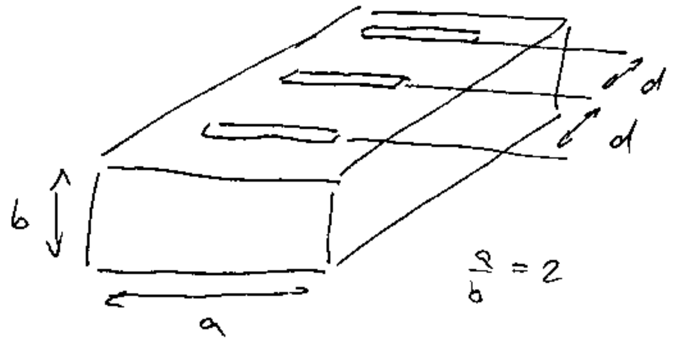
WA

Prüfungsbeispiel

(4) *) Rechteckhohlleiter

$f = 3\,GHz$

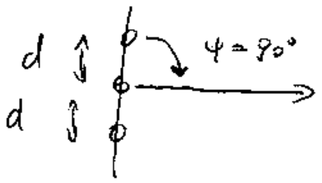
TE_{10} - Modus



a) Hohlleiterquerschnitt a, sodaß Anordnung als Querstrahler wirkt

Jeder Schlitz wirkt als eine Quelle (Huygens-Prinzip)

3 Antennen:



Querstrahler für $\delta = 0$

$z_u = \delta + kd\cos\varphi$

z

$E_0 e^{-j2kd}$

$E_0 e^{-jkd}$ $\delta = 0$ für $\Delta\varphi = 2m\pi$

$z=0$ E_0

$$\Delta\varphi = k_z \cdot d = \frac{2\pi}{\lambda_H} \cdot d = m \cdot 2\pi$$

$$m = 1 \Rightarrow \underline{\underline{d = \lambda_H}}$$

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

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

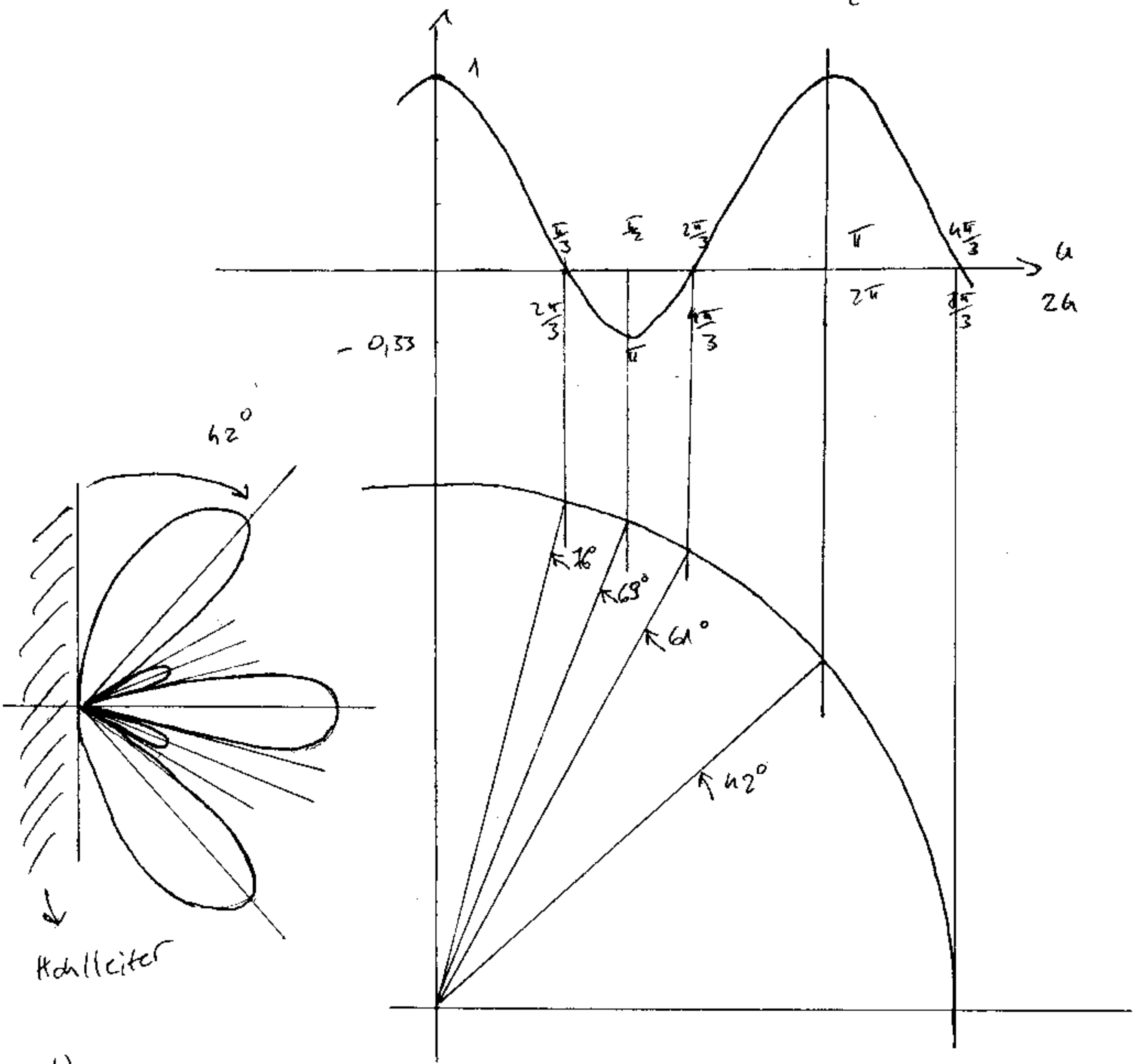
WA

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\cancel{00}}{30\cancel{00}}\,m \approx 0{,}1\,m$

$d = \lambda_H \geq \lambda = 0{,}1\,m$ für $d = \frac{4\lambda}{3} \Rightarrow a = 0{,}0756\,m$

3-er Gruppe $\Pi(u) = \frac{\sin(3u)}{3\sin u}$

$2u = \cancel{\delta}^{\to 0} + kd\cos\psi$ $kd = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot d \geq 2\pi$



b)

Gibt es weitere Hauptkeulen? wieviele?
In welchen Richtungen?

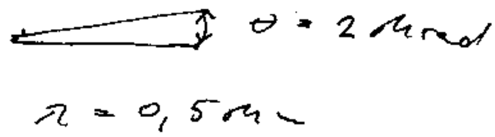
Es gibt noch 2 weitere $\psi = 42°$ & $\psi = 138°$

WA

Prüfungsbespiel

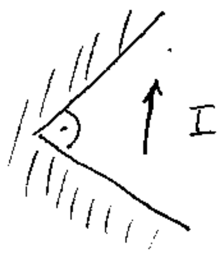
(5) *) Welchen Durchmesser muss ein opt. Teleskop besitzen um eine Winkelauflösung von 2 µrad zu erreichen ($\lambda \approx 0{,}5\,\mu m$)

$$\Theta_{3dB} \approx \frac{\lambda}{D}$$

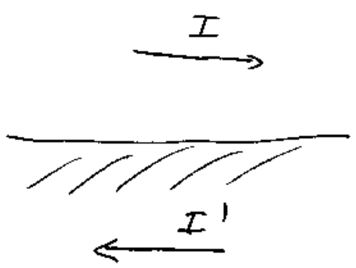


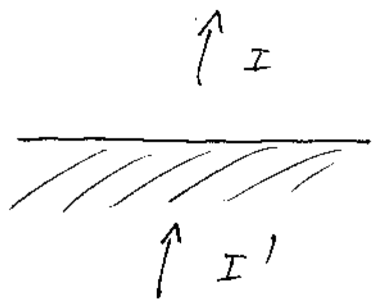
$$D = \frac{\lambda}{\Theta_{3dB}} = \frac{0{,}5\,\mu m}{2\,\mu rad} = 0{,}25\,m \qquad \underline{\underline{D = 25\,cm}}$$

(6) *) Ersatzanordnung durch das Spiegelungsprinzip?

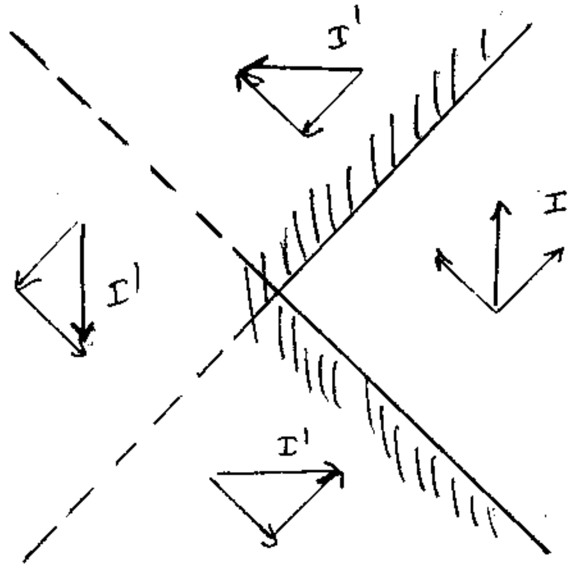


Allgemein gilt:

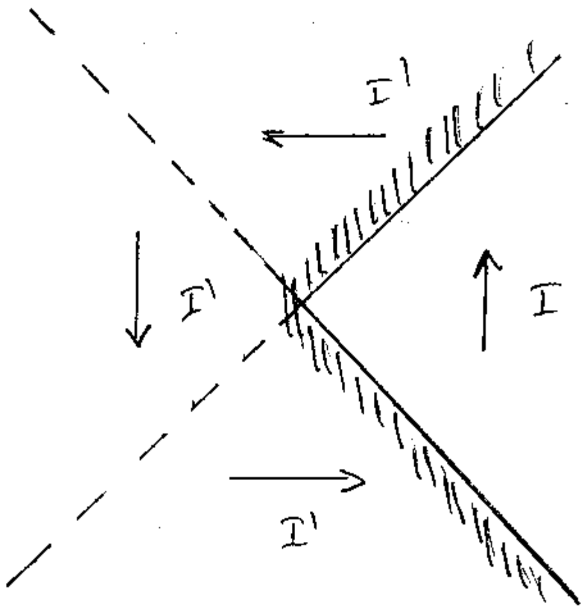




WA



also :

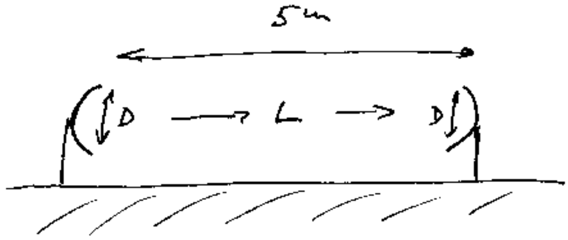


WA

Prüfungsbeispiel.

(7)

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



$L = 10 \log \frac{P_S}{P_e} = 10 \Rightarrow P_S = 10\,P_e$

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

$A = \frac{\pi D^2}{2}$

a) Antennendurchmesser? $D = ?$

$$T_e = \frac{\overbrace{P_S \cdot G_S}^{EIRP}}{4\pi d^2} \qquad P_e = T_e \cdot A_e = \frac{P_S\, G_S}{4\pi d^2} \cdot A_e$$

$$G_S = A_S \frac{4\pi}{\lambda^2} \qquad A_S = A_e \qquad \frac{P_E}{P_S} = \frac{A^2}{\lambda^2 d^2}$$

$$L = 10 \log \frac{P_S}{P_e}\,dB = 10\,dB \qquad \underline{P_S = 10\,P_e}$$

$$\frac{A^2}{\lambda^2 d^2} = \frac{1}{10} \qquad \lambda = \frac{c}{f} = 0{,}03\,m \qquad d = 5\,m$$

$$A = \frac{\lambda d}{\sqrt{10}} = 4{,}743 \cdot 10^{-2}\,m \qquad A \simeq \frac{D^2 \pi}{4}$$

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

b) Ist die Fernfeldbedingung erfüllt?

$$r = \frac{2D^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{2} \qquad r \simeq 4{,}2\,m \qquad \underline{\underline{\text{JA!}}}$$

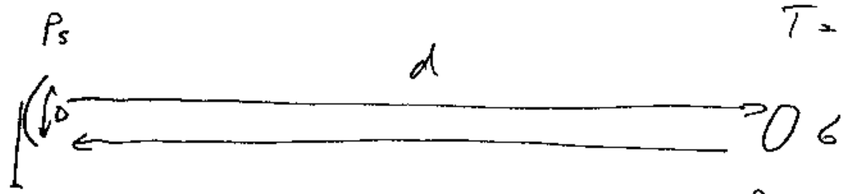
WA

Prüfungsbeispiel

(8) *) Ein Radar ($P_s = 1kW$, $\lambda = 10cm$ Antennendurchmesser $D = 10m$) verfolgt in 36 000 m Entfernung ein isotrop streuendes Ziel (effektiver Querschnitt $\sigma = 2m^2$). Berechnen Sie die Leistung am Empfänger des Radargerätes!

$P_e = ?$

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



$$P_r = \sigma \cdot T$$

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

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

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

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

$D = 10m$ $\qquad A \simeq 78{,}5m^2$

$\sigma = 2m^2$

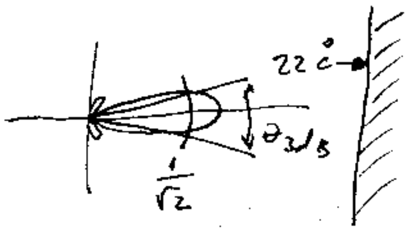
$$P_e = 5{,}84 \cdot 10^{-11} W = 58{,}4 \, pW$$

WA

Prüfungsbeispiel

(9) *) Die Antenne ($G = 42dB$) einer Meßanordnung ist auf die Wand ($T = 22°C$) des Meßraumes gerichtet. Berechnen Sie die Rauschleistung am Empfängereingang für $f = 1GHz$ und $B = 1MHz$.

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



$$T_A = \frac{\oint_{4\pi} |f(\vartheta, \varphi)|^2 T(\vartheta, \varphi)\, d\Omega}{\oint_{4\pi} |f(\vartheta, \varphi)|^2 d\Omega}$$

$f(\vartheta, \varphi)$ ist nur in einen kleinen Winkelbereich von Null verschieden. Dort gilt $T(\vartheta, \varphi) = const = 22°C$

$$T_A = \frac{T \cdot \oint_{4\pi} \cancel{|f|^2 d\Omega}}{\cancel{\oint_{4\pi} |f|^2 d\Omega}} = T = 22°C \qquad T = 295 K$$

für $f = 1GHz$ gilt $hf \ll kT$

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

$\theta_{3dB} \approx \frac{\lambda}{D}$ zB. Parabolantenne: $A = \frac{D^2 \pi}{4}$ $G = \frac{A\, 4\pi}{\lambda^2} = \frac{D^2 \pi^2}{\lambda^2}$

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

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

WA

(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 bemerkenswerte Gesetz?

$$V_{ph} = \frac{\omega}{k_z} \qquad V_{gr} = \frac{d\omega}{dk_z}$$

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

$$\frac{\omega^2}{2} = c^2 \frac{k_z^2}{2} + const1 \quad / \cdot \frac{2}{c^2}$$

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 = k_z^2 + const2$$

bzw. $k^2 - k_z^2 = \underline{\underline{const}}$ Dies ist die Separationsbed., die man durch die Lösung von Wellengleichung erhalten hat:

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

$$\underline{k^2 = \omega^2 \mu \varepsilon = k_z^2 + k_y^2 + k_x^2}$$

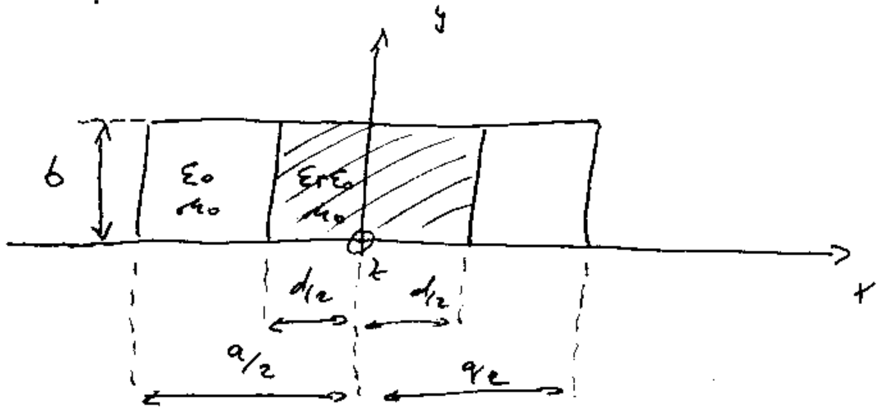
Dies gilt daher für alle Wellentypen bzw. Leitungen!

WA

Prüfungsbeispiel

(11)

*) Berechnen Sie für den Grundmodus in einen teilweise mit Dielektrikum gefüllten Hohlleiter, dessen Feldverteilung der H_{10}-Welle im leeren Hohlleiter ähnlich ist, die Ausbreitungseigenschaften.

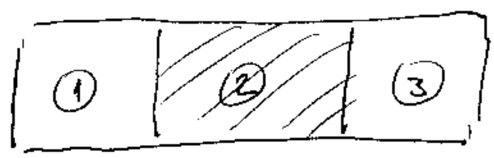


a) Stellen Sie einen Ansatz für die magnet. Feldkomponente H_z auf!

H_{10} wäre ! $H_z = A\cos(k_x x)\cos(k_y y)\exp(-jk_z \cdot z)$

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

Also keine Feldänderung in y-Richtung!



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

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

$$H_{z_1} = A_1 \cos[k_{x_1}(x + \tfrac{a}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z_2} = A_2 \cos[k_{x_2}(x + \tfrac{d}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{z_3} = A_3 \cos[k_{x_3}(x - \tfrac{d}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

b) Bestimmen Sie die restlichen Feldkomponenten.

Raum ①

$$k_i^2 = k^2 - k_z^2 = k_{x_i}^2 + k_{y_i}^2 = k_{x_i}^2$$

$$E_{x_1} = \frac{-j}{k_1^2} \omega\mu \frac{\partial H_{z_1}}{\partial y} = 0$$

$$E_{y_1} = \frac{j}{k_1^2} \omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial x} = \frac{-j A_1}{k_{x_1}^{\cancel{2}}} \omega\mu \cancel{k_{x_1}} \sin[k_{x_1}(x + \tfrac{a}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$= \frac{-j A_1 \omega\mu}{k_{x_1}} \sin[k_{x_1}(x + \tfrac{a}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$E_{z_1} = 0$$

$$H_{x_1} = \frac{-j}{k_1^2} k_z \frac{\partial H_{z_1}}{\partial x} = \frac{j}{k_{x_1}} k_z A_1 \sin[k_{x_1}(x + \tfrac{a}{2})] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$$H_{y_1} = \frac{-j}{k_1^2} k_z \frac{\partial H_{z_1}}{\partial y} = 0$$

$H_{z_1} \rightarrow$ Ansatz!

WA

Raum ②

$E_{x_2} = 0$

$$E_{y_2} = \frac{-j A_2 \omega \mu}{k_{x_2}} \sin\left[k_{x_2}\left(x+\frac{d}{2}\right)\right] \cdot e^{-j k_z \cdot z}$$

$E_{z_2} = 0$

$$H_{x_2} = \frac{j k_z A_2}{k_{x_2}} \sin\left[k_{x_2}\left(x+\frac{d}{2}\right)\right] \cdot e^{-j k_z \cdot z}$$

$H_{y_2} = 0$

$H_{z_2} \Rightarrow$ Ansatz!

Raum ③

$E_{x_3} = 0$

$$E_{y_3} = \frac{-j A_3 \omega \mu}{k_{x_3}} \sin\left[k_{x_3}\left(x-\frac{d}{2}\right)\right] \cdot e^{-j k_z \cdot z}$$

$E_{z_3} = 0$

$$H_{x_3} = \frac{j k_z A_3}{k_{x_3}} \sin\left[k_{x_3}\left(x-\frac{d}{2}\right)\right] \cdot e^{-j k_z \cdot z}$$

$H_{y_3} = 0$

$H_{z_3} \Rightarrow$ Ansatz!

c) Charakteristische Gleichung für die Ausbreitungs-konstante aus RB.

RB. $[E_{tD}] = 0$

$y = 0$, $y = b$ $\qquad E_{x_i} = 0$ ✓ $\qquad E_{z_i} = 0$ ✓

WA

$x = -\frac{a}{2}$ $\quad E_{y_1} = 0$ ✓

$x = \frac{a}{2}$ $\quad E_{y_3} = 0$ $\quad k_{x_3}\left(\frac{a}{2} - \frac{d}{2}\right) = 0$

$$k_{x_3} = \frac{2m\pi}{a-d}$$

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

$$E_{y_1} = E_{y_2}$$

$$\frac{-j A_1 \omega\mu}{k_{x_1}} \sin\left[k_{x_1}\left(\frac{a}{2} - \frac{d}{2}\right)\right] = 0 \Rightarrow$$

$$\underbrace{k_{x_1} = \frac{2m\pi}{a-d} = k_{x_3}}$$

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

$$E_{y_2} = E_{y_3}$$

$$\frac{-j A_2 \omega\mu}{k_{x_2}} \sin\left[k_{x_2} \cdot d\right] = 0 \Rightarrow \underbrace{k_{x_2} = \frac{n\pi}{d}}$$

$[\![H_t]\!] = 0$

$x = -\frac{d}{2}$ $\quad H_{y_1} = H_{y_2} = 0$ ✓

$x = \frac{d}{2}$ $\quad H_{y_2} = H_{y_3} = 0$ ✓

$[\![B_n]\!] = 0$

$y = 0,\ y = b$ $\quad H_{y_i} = 0$ ✓

$x = -\frac{a}{2}$ $\quad H_{x_1} = 0$ ✓

$$\left.\begin{array}{llll} x = -\frac{d}{2} & H_{x_1} = H_{x_2} & \Rightarrow & k_{x_1} = \frac{2n\pi}{a-d} \\ x = \frac{d}{2} & H_{x_2} = H_{x_3} & \Rightarrow & k_{x_2} = \frac{n\pi}{d} \\ x = \frac{a}{2} & H_{x_3} = 0 & \Rightarrow & k_{x_3} = k_{x_1} \end{array}\right\} \text{keine neue Info.}$$

WA

$[D_n] = 0$

$x = -\frac{d}{2} \qquad E_{x_1} = \varepsilon_r E_{x_2} = 0$

$x = \frac{d}{2} \qquad \varepsilon_r E_{x_2} = E_{x_3} = 0$

Aus der Separationsbedingung folgt:

① $k_{x_1}^2 + \cancel{k_{y_1}^2} + k_z^2 = k_1^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0$

② $k_{x_2}^2 + \cancel{k_{y_2}^2} + k_z^2 = k_2^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \qquad k_{x_1} = k_{x_3}$

③ $k_{x_3}^2 + \cancel{k_{y_3}^2} + k_z^2 = k_3^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 \qquad k_{y_i} = 0$

$$\Rightarrow \quad k_z^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 - k_{x_1}^2$$

$$k_z^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 - k_{x_2}^2$$

Beide Gleichungen müssen erfüllt sein.

$$\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 (\varepsilon_r - 1) = k_{x_2}^2 - k_{x_1}^2$$

$$k_{x_1} = \frac{2\pi m}{a-d} \qquad k_{x_2} = \frac{\pi n}{d}$$

$$\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 (\varepsilon_r - 1) = \frac{4\pi^2 m^2}{(a-d)^2} - \frac{\pi^2 n^2}{d^2}$$

daraus folgt eine Beziehung zwischen a u. d

Für gegebenes $a, m, n \Rightarrow d(\omega)$ und:

$$k_z^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 - \frac{\pi^2 n^2}{d^2(\omega)}$$

WA

(12) *) Prüfungsbeispiel

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

$Z_W = 50\,\Omega$, $\varepsilon_r = 2{,}5$, $h = 1{,}27\,mm$.

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) $\varepsilon_{eff} = \varepsilon_r = 2{,}5$ (Annahme!)

$Z_L = Z_W \sqrt{\varepsilon_{eff}} = 79\,\Omega$

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

$\varepsilon_{eff} = 1 + q\,(\varepsilon_r - 1) = 1 + 0{,}69\,(2{,}5-1) = \underline{\underline{2{,}035}}$

$Z_L = Z_W \sqrt{\varepsilon_{eff}} = 71{,}33\,\Omega$

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

b) $f_{c,TE1} = \frac{c_0}{4h\sqrt{\varepsilon_r - 1}} = 48{,}22\ GHz$

Tiefe Freq.: $\varepsilon_{eff} \approx \frac{(\varepsilon_r + 1)}{2} = 1{,}75$

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

WA

1. Schritt : Annahme $\varepsilon_{eff} = \varepsilon_r = 2,5$

$\Rightarrow \quad Z_L = Z_W \sqrt{\varepsilon_{eff}} = 79\,\Omega$

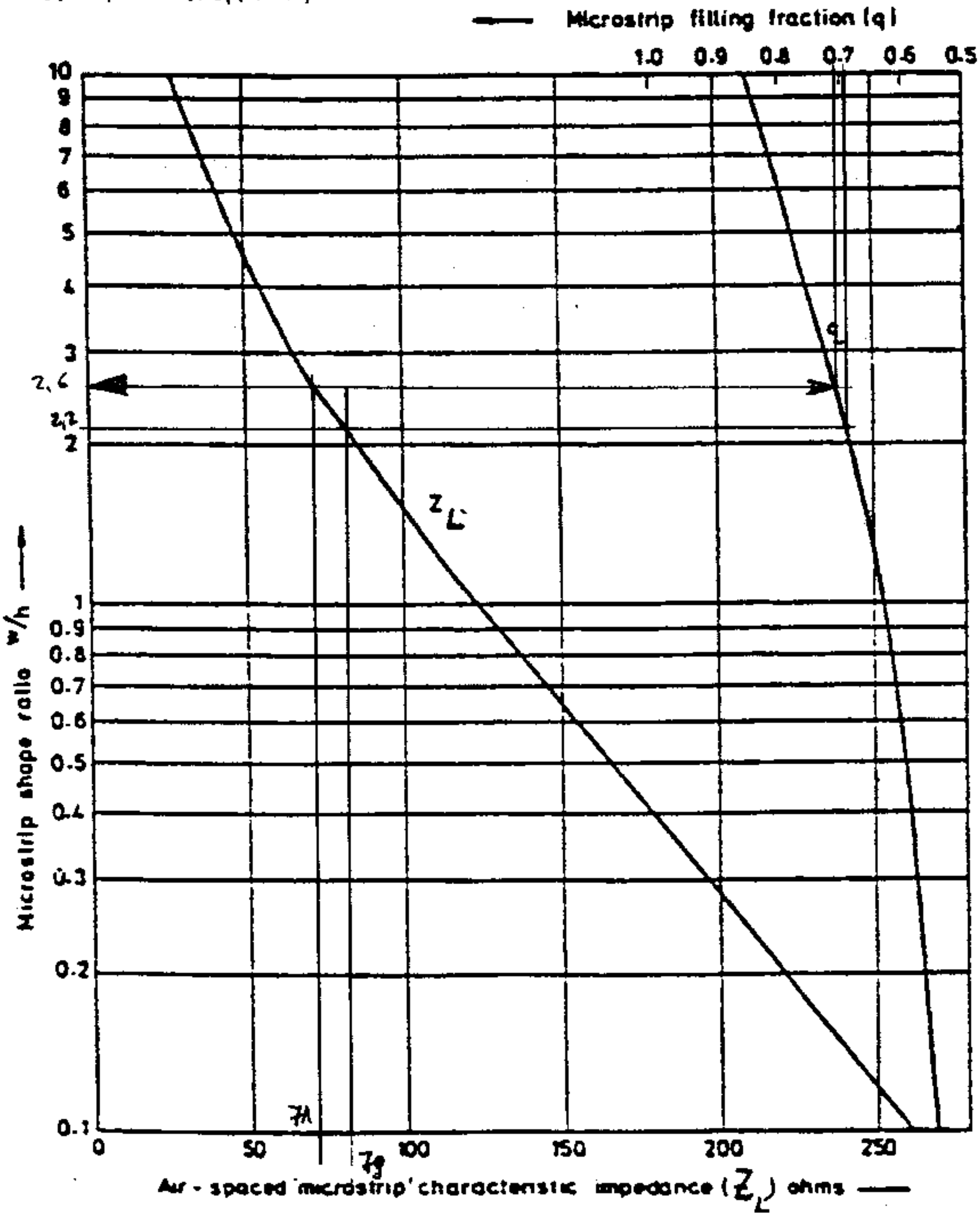
$\Rightarrow \quad \frac{w}{h} = 2,2 \quad , \quad q = 0,69 \qquad \varepsilon_{eff} = 1 + q(\varepsilon_r - 1)$

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

2. Schritt : $Z_L = Z_W \cdot \sqrt{\varepsilon_{eff}} = 71,33\,\Omega$

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

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



Genauere Rechnung durch Synthese-Formeln:

$\frac{w}{h} \approx 7{,}65$ (Graphisch) $\Rightarrow$ $\frac{w}{h} > 2$:

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi}\left\{B-1-\ln(2B-1)+\frac{\varepsilon_r-1}{2\varepsilon_r}\left[\ln(B-1)+0{,}39-\frac{0{,}61}{\varepsilon_r}\right]\right\}$$

$$B = \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}}{2 Z_w \sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \pi = 7{,}4853211$$

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

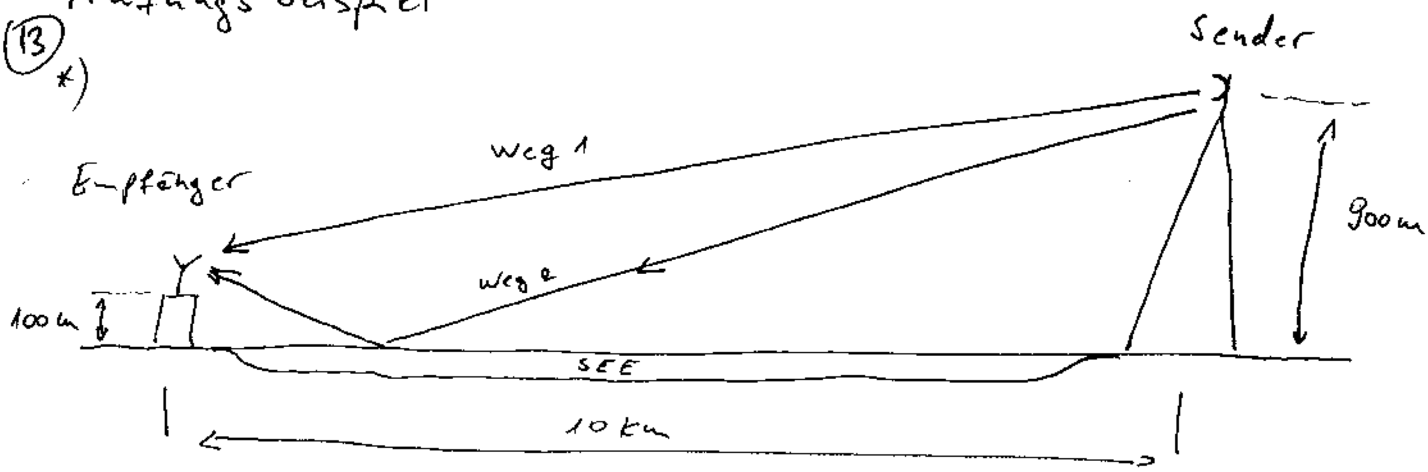
bzw. durch Analyse-Formeln

$\frac{w}{h} > 1$: $\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2}\left[1+12\frac{h}{w}\right]^{-\frac{1}{2}}$

$\Rightarrow$ $\varepsilon_{eff} = 2{,}078$

WA

Prüfungsbeispiel
(13)
*)



Sender : $P_S = 10\,dBm$

$G_S = 8\,dB$

$A = 2\,dB$ → Dämpfung auf Zuleitung

Horizontal polarisierte Welle

Empfänger: $G_E = 4\,dB$

$A = 2\,dB$ → Dämpfung auf Zuleitung

Min $-100\,dBm$ Empfängerleistung ist notwendig

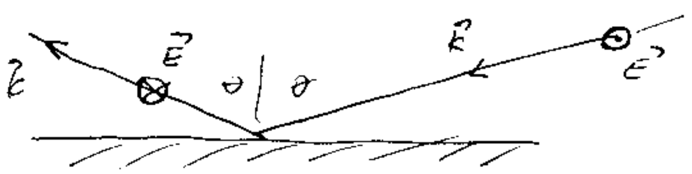
Zwei Frequenzen stehen zur Verfügung

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

Am See findet eine spiegelnde Reflexion statt!

a) Welche Art der Reflexion hat man hier?

Horizontale Polarisation → TE-Fall

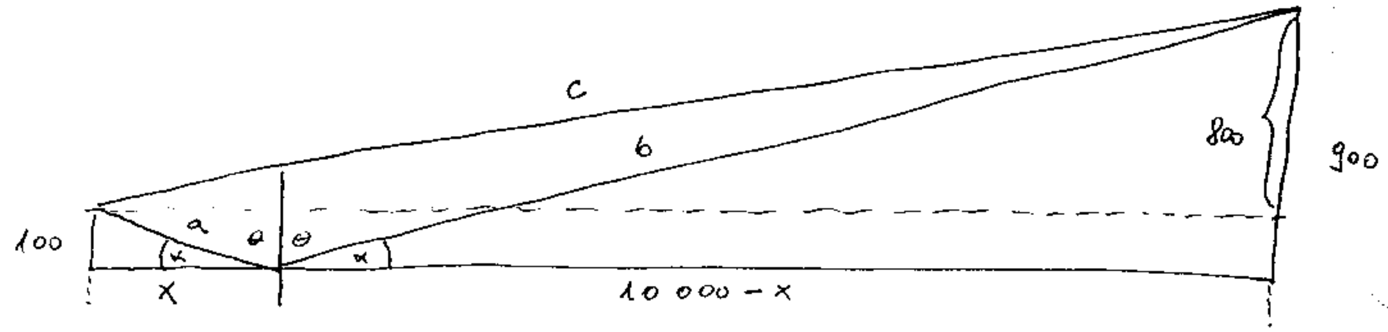


WA

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

b)

Empfangsleistung, die durch Interferenz zweier Wellen am Empfängerort entsteht!



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

$$\tan\alpha = \frac{100}{x} = \frac{900}{10000-x} \qquad 900x = 10^6 - 100x$$

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

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

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

$$E_1 = |E_1|\, e^{-jk\cdot c} = |E_1|\, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot c} \qquad \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot c$$

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

π – wegen Reflexion

$$= |E_2|\, e^{-j[\frac{2\pi}{\lambda}(a+b)+\pi]} \qquad \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(a+b)+\pi$$

$$T = \frac{|E|^2}{2\eta} \qquad T = \frac{G_s\cdot P_s}{4\pi d^2}$$

WA

$$\Rightarrow \quad |E|^2 = \frac{G_s \cdot P_s \cdot 2\eta}{2\cancel{4}\pi d^2} \qquad |E| = \sqrt{\frac{G_s \cdot P_s \cdot \eta}{2\pi d^2}}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 376{,}73\,\Omega$$

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

$$\tilde{P_s} = 8\,dBm \qquad \tilde{P}_s \cdot G_s = 16\,dBm \mathrel{\hat{=}} 39{,}811\,mW$$

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

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

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

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

(λ_1)

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

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

$$E_g = E_1 + E_2 \qquad |E_{g_1}| = |E_1 + E_2| = \left| |E_1| e^{-j\varphi_1} + |E_2| e^{-j\varphi_2} \right|$$

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

(λ_2)

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

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

$$|E_{g_2}| = |E_1 + E_2| = 4{,}651665 \cdot 10^{-5}\,\frac{V}{m}$$

WA

$$T = \frac{|E_g|^2}{2\eta} \Rightarrow T_{\lambda_1} = \frac{|E_{g1}|^2}{2\eta} = 1{,}2371664 \cdot 10^{-10} \frac{W}{m^2}$$

$$T_{\lambda_2} = \frac{|E_{g2}|^2}{2\eta} = 2{,}871693 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

$$P_e = T \cdot A_e$$

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_e \qquad G_e = 4\,dB \mathrel{\hat=} 2{,}51189$$

$$A_{e\lambda_1} = 1{,}09651 \cdot 10^{-2}\,m^2$$

$$A_{e,\lambda_2} = 1{,}0820898 \cdot 10^{-2}\,m^2$$

$$P_{e\lambda_1} = T_{\lambda_1} \cdot A_{e,\lambda_1} = 1{,}356565 \cdot 10^{-12}\,W \mathrel{\hat=} -88{,}7\,dBm$$

$$P_{e,\lambda_2} = T_{\lambda_2} \cdot A_{e,\lambda_2} = 3{,}10743 \cdot 10^{-14}\,W \mathrel{\hat=} -105{,}1\,dBm$$

Und $A = 2\,dB$ Dämpfung:

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

$P_{e2} = -107{,}1\,dBm < -100\,dBm$ schlecht!

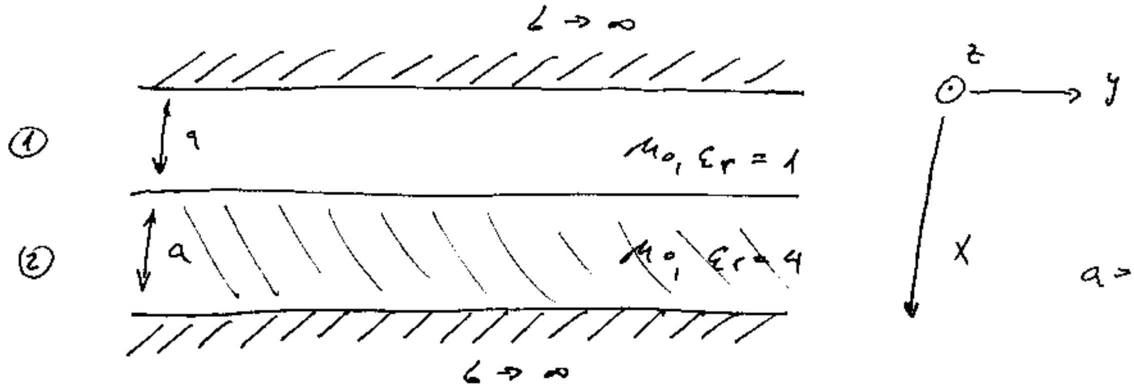
c) Welche Maßnahmen kann man treffen?

Richtantennen mit Zirkularpolarisation!

WA

Prüfungsbeispiel

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



$a = 1\,cm$

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

a) Ansatz für H_z:

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

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

b) Restliche Feldkomponente:

Raum ① $\quad E_{x1} = 0 \qquad k^2 = k_x^2 + \cancel{k_y^2} = k_x^2$

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

$E_{z1} = 0$

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

$H_{y1} = 0$ $\qquad$ H_{z1} – Ansatz!

WA

Raum ②

$E_{x_2} = 0$

$$E_{y_2} = -\frac{j A_2 \omega \mu}{k_{x_2}} \sin\left[k_{x_2}(x-2a)\right] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$E_{z_2} = 0$

$$H_{x_2} = \frac{j}{k_{x_2}} k_z A_2 \sin\left[k_{x_2}(x-2a)\right] \cdot e^{-jk_z \cdot z}$$

$H_{y_2} = 0$

$H_{z_2} \rightarrow$ Ansatz!

c) Randbedingungen

$[E_t] = 0$ $\qquad x = 0 \qquad E_{y_1} = 0$

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

$$\cancel{-j}\frac{A_1 \cancel{\omega\mu}}{k_{x_1}} \sin(k_{x_1} \cdot a) \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = \cancel{-j}\frac{A_2 \cancel{\omega\mu}}{k_{x_2}} \sin(-k_{x_2} \cdot a) \cancel{e^{-jk_z \cdot z}}$$

$$\Rightarrow \frac{A_2}{k_{x_1}} \sin(k_{x_1} \cdot a) = \frac{A_2}{k_{x_2}} \sin(-k_{x_2} \cdot a)$$

A_1

$x = 2a \qquad E_{y_2} = 0$

WA

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

$$H_{z_1} = H_{z_2}$$

$$A_1 \cdot \cos(k_{x_1} \cdot a) \cdot \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = A_2 \cos(-k_{x_2} \cdot a) \cdot \cancel{e^{-jk_z z}}$$

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

$$E_{x_1} = \varepsilon_{r_2} E_{x_2} = 0$$

$[B_n] = 0 \qquad x = 0 \qquad H_{x_1} = 0$

$x = a \qquad H_{x_1} = H_{x_2}$

$$\frac{j}{k_{x_1}} \cancel{k_z} A_1 \sin(k_{x_1} \cdot a) \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = \frac{j}{k_{x_2}} \cdot \cancel{k_z} \cdot A_2 \sin(-k_{x_2} \cdot a) \cancel{e^{-jk_z z}}$$

$x = 2a \qquad H_{x_2} = 0$

d) Dispersionsgleichung

$$\frac{A_1}{k_{x_1}} \sin(k_{x_1} \cdot a) = \frac{A_2}{k_{x_2}} \sin(-k_{x_2} \cdot a)$$

$$A_1 \cos(k_{x_1} \cdot a) = A_2 \cos(-k_{x_2} \cdot a) \qquad \%$$

$$\frac{\tan(k_{x_1} \cdot a)}{k_{x_1}} = -\frac{\tan(k_{x_2} \cdot a)}{k_{x_2}} \qquad \text{mit } k_{x_1}, k_{x_2}$$

aus der Separationsbedingung

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_{x_1}^2$$

$$k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_{r_2} - k_{x_2}^2$$

WA

c) Grenzfrequenz

keine Wellenausbreitung für $k_z = 0$

$$\Rightarrow \quad k_{x1}^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 = k_0^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2, \quad k_{x1} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$k_{x2}^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} = k_0^2 \varepsilon_{r2} = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2 \varepsilon_{r2}, \quad k_{x2} = \frac{4\pi}{\lambda_0}$$

da $\varepsilon_{r2} = 4$;

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

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

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

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

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

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

Grundmodus (mit größter Grenzwellenlänge):

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

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

WA

Prüfungsbeispiel

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

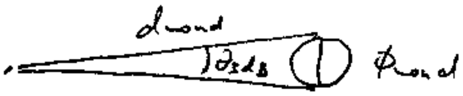
Gesucht : Radarquerschnitt (Rückstreuquerschnitt) bei $f = 15\,GHz$

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

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

$$\underline{\underline{\sigma = 45\,238{,}9\ m^2}}$$

(16) *) Welchen Gewinn muß eine Yagi-Antenne haben, damit der Mond bei $f = 3\,GHz$ gerade von der Hauptkeule ausgeleuchtet wird?



$d_{Mond} = 380\,000\,km$

$\Phi_{Mond} = 3\,800\,km$

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

$$\theta_{3dB} \simeq \frac{\Phi_{Mond}}{d_{Mond}} = \frac{\lambda}{D} \quad \Rightarrow \quad D = 10\,m$$

Yagi ist keine flächenhafte Antenne. Um die wirksame Fläche zu schätzen, betrachtet man eine Antenne mit ähnlichem Richtdiagramm z.B. Parabolantenne $A = \frac{D^2\pi}{4}$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{D^2\pi}{4} = \frac{D^2\pi^2}{\lambda^2} = 98\,700 \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{50\,dB}}$$

WA

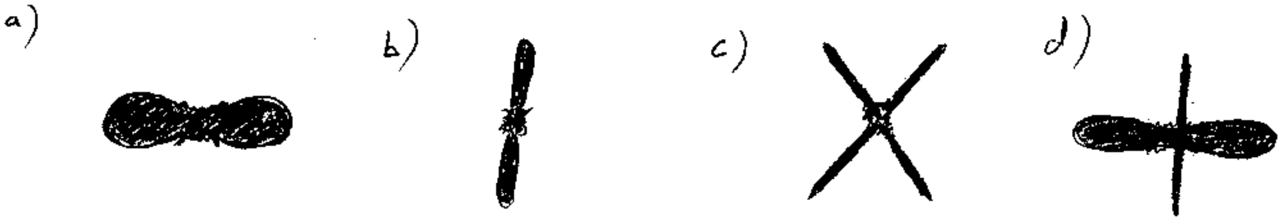
Prüfungsbeispiel

(17) *) Gegeben: Antennengruppe mit 8-Elementen

d – Abstand zw. Elementen δ – Stromphasenunterschied

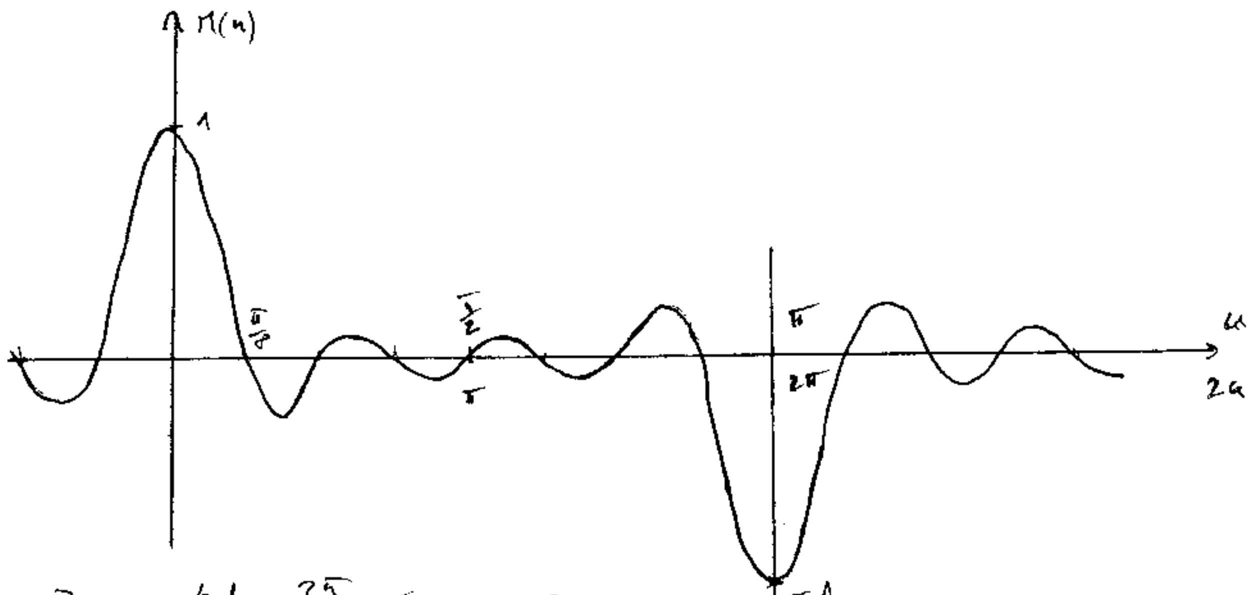
a) $d = \frac{\lambda}{2}$, $\delta = 0$ b) $d = \frac{\lambda}{2}$, $\delta = \pi$ c) $d = \lambda$, $\delta = 0$ d) $d = \lambda$, $\delta = \pi$

Folgende Richtdiagramme sind gegeben



Ordnen Sie sie richtig zu.

$n = 8$ $M(u) = \frac{\sin(8u)}{8 \cdot \sin(u)}$ $2u = \delta + kd \cos\psi$

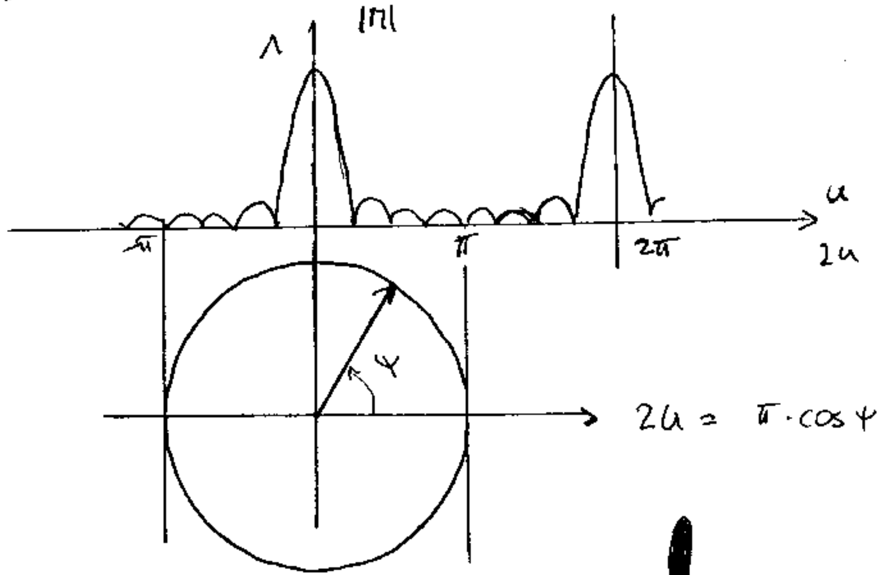


$d = \lambda$ $kd = \frac{2\pi}{\cancel{\lambda}} \cdot \cancel{\lambda} = 2\pi$

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

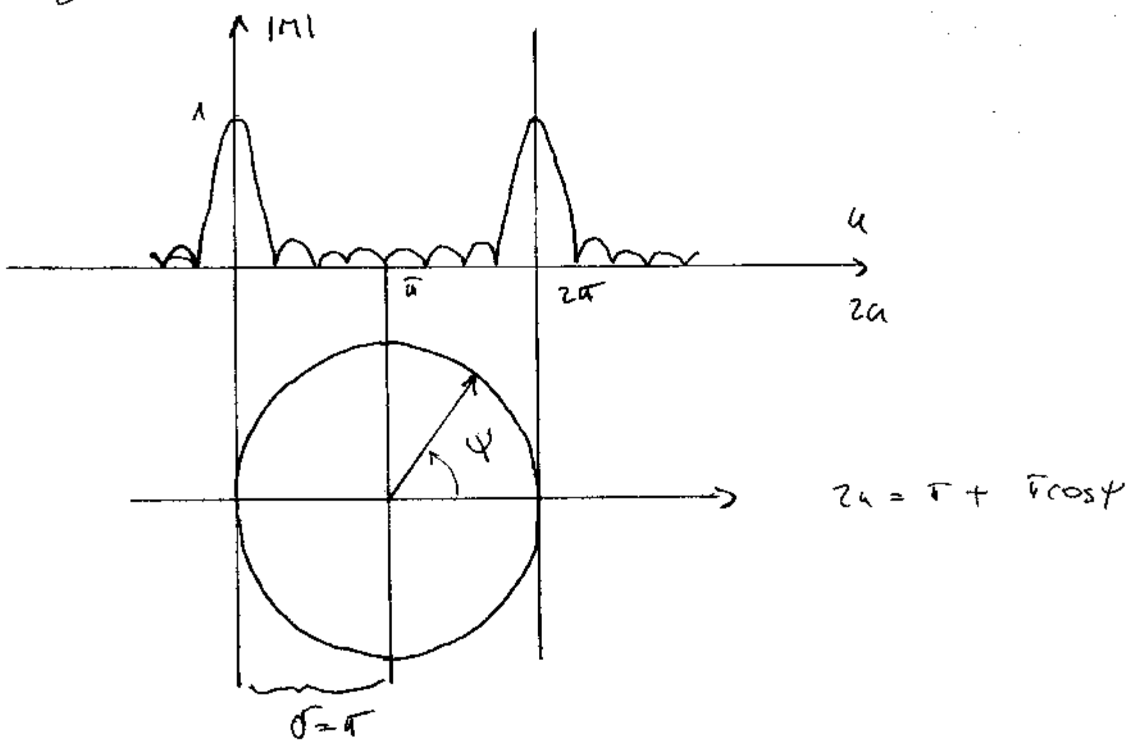
WA

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



$\Rightarrow$ Richtdiagramm b)

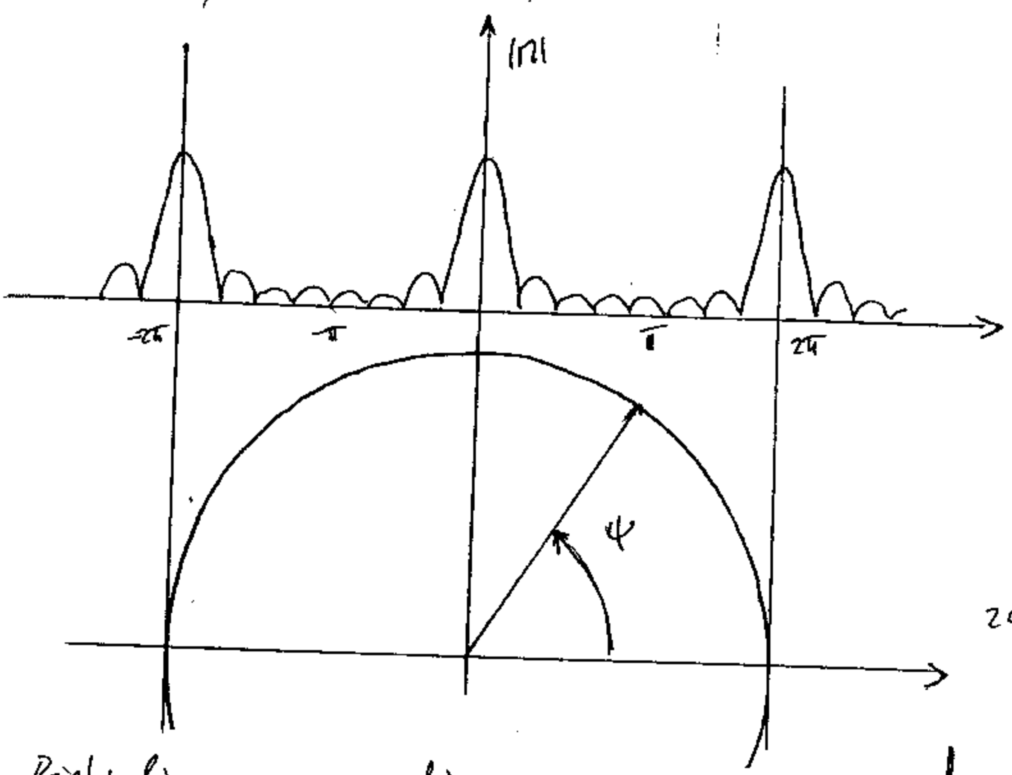
b) $d = \frac{\lambda}{2}$ $\quad kd = \pi$ $\quad \delta = \pi$



$\Rightarrow$ Richtdiagramm a)

WA

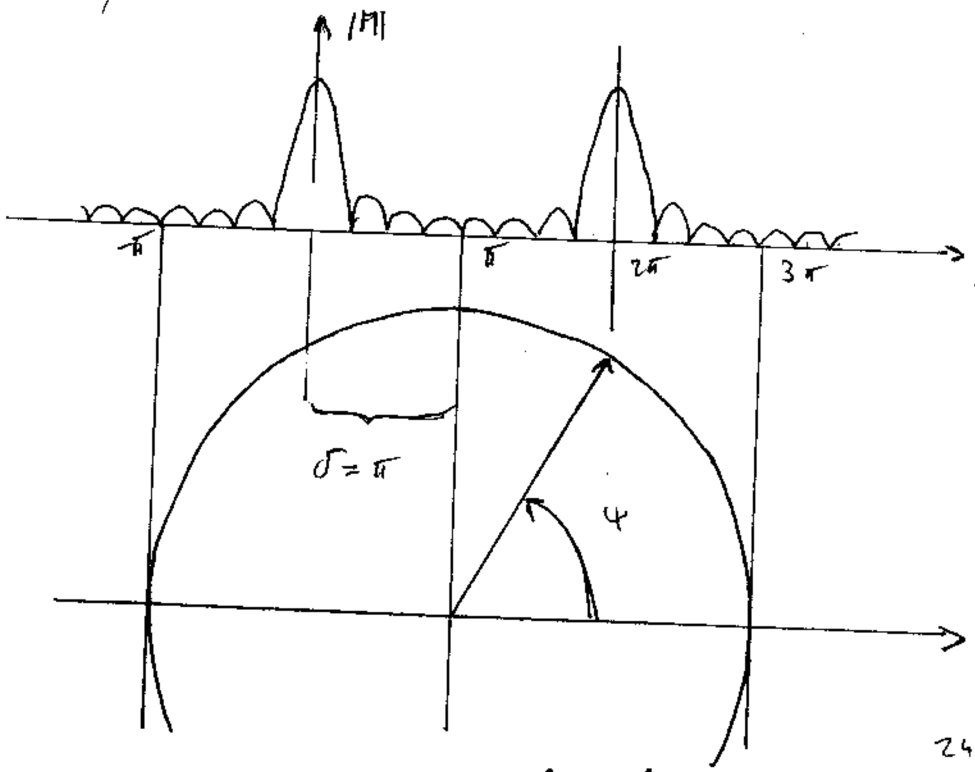
c) $d = \lambda$, $kd = 2\pi$, $\delta = 0$



$2u = 2\pi \cdot \cos\psi$

$\Rightarrow$ Richtdiagramm d)

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



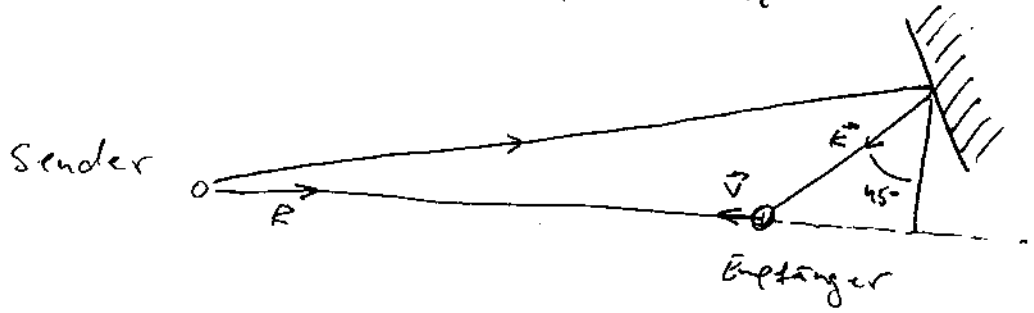
$2u = \pi + 2\pi\cos\psi$

$\Rightarrow$ Richtdiagramm c)

WA

(18) Prüfungsbeispiel

*) Mobilfunkstrecke $f = 900\,MHz$



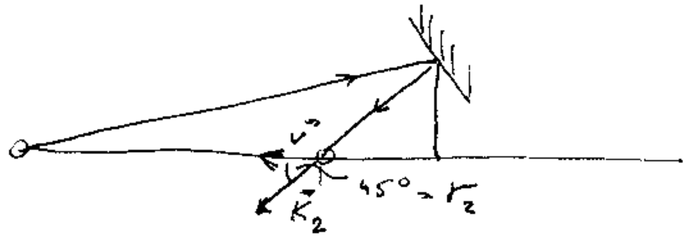
Direkter Pfad 12 km, Reflexionspfad 18 km

Das Auto fährt mit $v = 80\,km/h$ in Richtung Sender.

Dämpfung des refl. Signals am Empfangsort $-2\,dB$.

a) Schwundrate ?

Δf_D



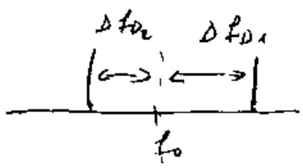
$\Delta f_{D2} = -\frac{v}{\lambda} \cos \gamma_2$

$\gamma = 45°$

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

$\Delta f_{D1} = -\frac{v}{\lambda} \cos \gamma_1 = \frac{v}{\lambda}$

$\gamma_1 = 180°$



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

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

WA

b) Tiefe der Schwundlöcher

$$20 \log \frac{|E_2|}{|E_1|} = -2\,dB \Rightarrow \frac{|E_2|}{|E_1|} = 0{,}794$$

$$|E_{max}| = |E_1| + |E_2| = |E_1| \cdot 1{,}794$$

$$|E_{min}| = |E_1| - |E_2| = |E_1| \cdot 0{,}20567$$

$$20 \log \frac{|E_{min}|}{|E_{max}|} = 20 \log \frac{0{,}20567}{1{,}794} \mathrel{\hat{=}} -18{,}81\,dB$$

c) Systembandbreite = 200 kHz

wieviele Einbrüche innerhalb des Nutzbandes

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

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 \qquad \tau_1 = 40\,\mu s \quad \tau_2 = 60\,\mu s$$

$$\Delta\tau = 20\,\mu s \qquad \Delta f_{Notch} = \frac{1}{\Delta\tau} = 50\,kHz$$

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

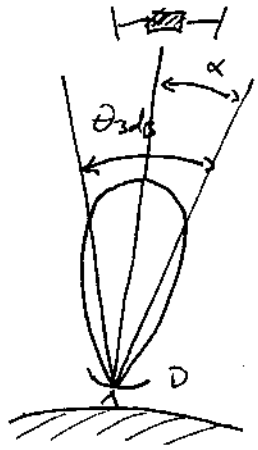
WA

Prüfungsbeispiel

(19) *) Gegeben: Parabolantenne ϕ: $D = 3{,}2\,m$

$f = 6\,GHz$

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



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

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

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

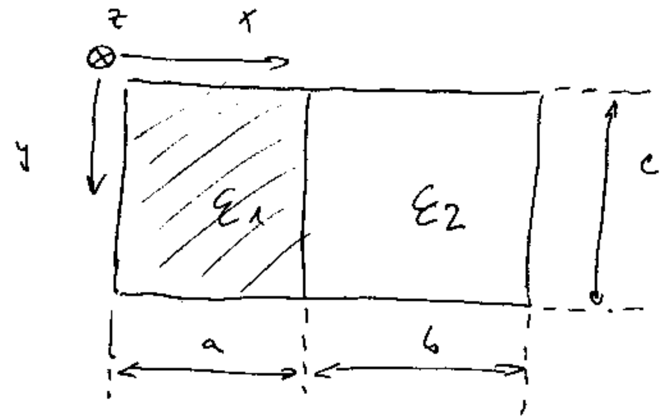
$$\theta^{\circ}_{3dB} = \frac{180^{\circ}}{\pi}\,\theta_{rad} = 0{,}896^{\circ} \simeq 0{,}9^{\circ}$$

$$\alpha^{\circ} = \frac{\theta^{\circ}_{3dB}}{2} = 0{,}45^{\circ} \mathrel{\hat{=}} 27'$$

(20) *) Prüfungsbeispiel

Ausbreitung einer TE_{10}-ähnlichen Welle in Rechteckhohlleiter

$m=1, n=0$



$H_{10} \Rightarrow$

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

a) Ansatz für H_z:

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

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

$E_{zi} = 0$

b) Separationsbedingung

H_{zi} in $\nabla^2 H_{zi} + k^2 H_{zi} = 0$ ansetzen $\Rightarrow$

$$k_{x1}^2 + k_z^2 = k_1^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_1$$

$$k_{x2}^2 + k_z^2 = k_2^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_2$$

$$\Rightarrow \quad k_{x1} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_1 - k_z^2}$$

$$k_{x2} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_2 - k_z^2}$$

WA

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

Raum (1)

$$E_{x_1} = 0$$

$$E_{y_1} = \frac{j}{k_{x_1}^2} \omega\mu \frac{dH_{z_1}}{dx} = \frac{-j}{k_{x_1}} \omega\mu A_1 \sin(k_{x_1} \cdot x) e^{-jk_z \cdot z}$$

$$E_{z_1} = 0$$

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

$$H_{y_1} = 0$$

H_{z_1} – Ansatz!

Raum (2)

$$E_{x_2} = 0$$

$$E_{y_2} = \frac{-j}{k_{x_2}} \omega\mu A_2 \sin[k_{x_2}(x-(a+b))] e^{-jk_z \cdot z}$$

$$E_{z_2} = 0$$

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

$$H_{y_2} = 0$$

H_{z_2} – Ansatz!

d) Randbedingungen!

$[\![E_t]\!] = 0$ $\quad x = 0 \quad E_{y_1} = 0$

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

$$\frac{\cancel{-j}}{k_{x_1}} \cancel{\omega\mu} A_1 \sin(k_{x_1} \cdot a) \cancel{e^{-jk_z \cdot z}} = \frac{\cancel{-j}}{k_{x_2}} \cancel{\omega\mu} A_2 \sin[k_{x_2}(-b)] \cancel{e^{-jk_z \cdot z}}$$

$x = a+b \quad E_{y_2} = 0$

WA

$[\![H_t]\!] = 0 \qquad x = a \qquad H_{y_1} = H_{y_2} = 0$

$$H_{z_1} = H_{z_2}$$

$$A_1 \cos(k_{x_1} \cdot a)\, \cancel{e^{-jk_z z}} = A_2 \cos[k_{x_2}(-b)]\, \cancel{e^{-jk_z z}}$$

$[\![B_n]\!] = 0$

$x = 0 \qquad H_{x_1} = 0$

$x = a \qquad H_{x_1} = H_{x_2}$

$$\Rightarrow \quad \frac{A_1}{k_{x_1}} \sin(k_{x_1} \cdot a) = \frac{A_2}{k_{x_2}} \sin[k_{x_2} \cdot (-b)]$$

$x = a + b \qquad H_{x_2} = 0$

$y = 0 \qquad H_{y_i} = 0$

$y = c \qquad H_{y_i} = 0$

$[\![D_n]\!] = 0 \qquad x = a \qquad \varepsilon_1 E_{x_1} = \varepsilon_2 E_{x_2} = 0$

e) Dispersionsgleichung

$$\frac{A_1}{k_{x_1}} \sin(k_{x_1} \cdot a) = \frac{A_2}{k_{x_2}} \sin[k_{x_2}(-b)]$$

$$A_1 \cos(k_{x_1} \cdot a) = A_2 \cos[k_{x_2}(-b)] \quad \div$$

$$\frac{\tan(k_{x_1} \cdot a)}{k_{x_1}} = -\frac{\tan(k_{x_2} \cdot b)}{k_{x_2}}$$

und mit k_{x_1}, k_{x_2} aus der Sep. bed.:

$$\frac{\tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_1 - k_z^2} \cdot a\right]}{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_1 - k_z^2}} + \frac{\tan\left[\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_2 - k_z^2} \cdot b\right]}{\sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_2 - k_z^2}} = 0$$

WA

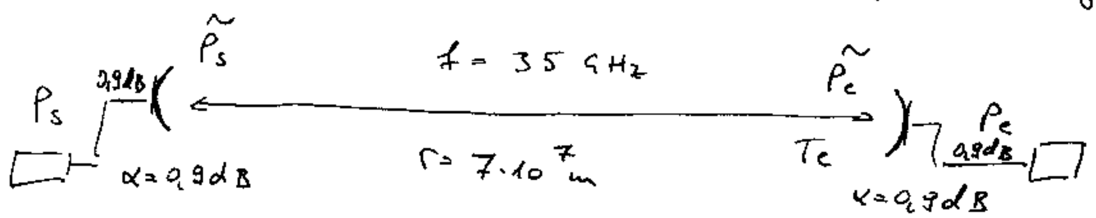
(21) *) Prüfungsbeispiel

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



$P_s = 1{,}5\,W \;\hat{=}\; 31{,}761\,dBm$ $\qquad \tilde{P}_s = P_s - 0{,}9\,dB = 30{,}861\,dBm \;\hat{=}\; 1{,}2193\,W$

$P_e = -70\,dBm$ $\qquad \tilde{P}_e = P_e + 0{,}9\,dB = -69{,}1\,dBm \;\hat{=}\; 1{,}2303 \cdot 10^{-10}\,W$

$$T_e = \frac{\tilde{P}_s \cdot G_s}{4\pi r^2} \qquad \tilde{P}_e = A \cdot T_e = A \cdot \frac{\tilde{P}_s \cdot G_s}{4\pi r^2}, \qquad A = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_s$$

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

$$A = w \cdot A_e$$

WA

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

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

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

$$A_e \simeq \frac{D^2\pi}{4} \qquad D = \sqrt{\frac{4A_e}{\pi}} = 3{,}576\,\mathrm{m}$$

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

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

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

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

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

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

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

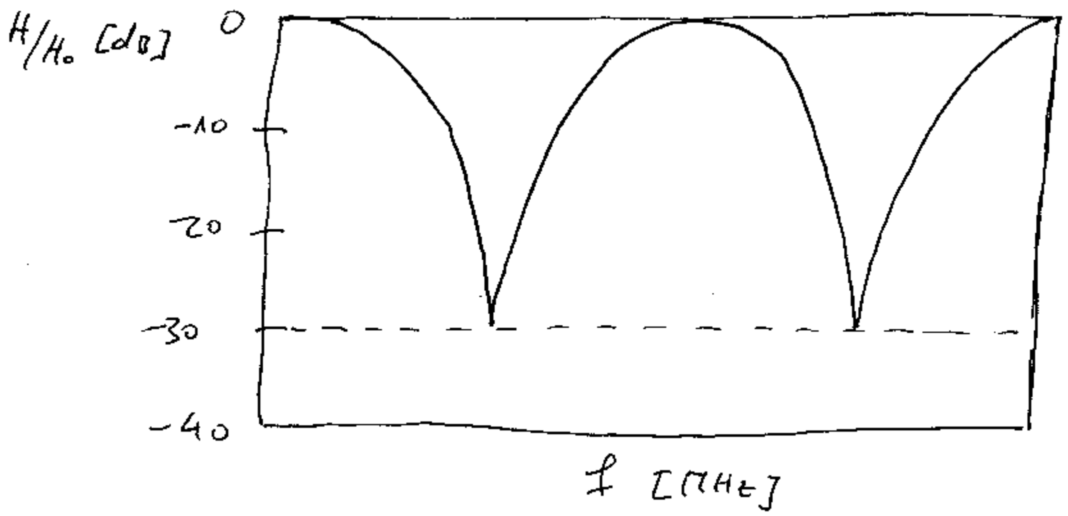
$$\lambda = 10{,}6 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}, \quad D = 0{,}1\,\mathrm{m} \Rightarrow r_g = 1{,}9\,\mathrm{km} \quad \text{JA!}$$

WA

Prüfungsbeispiel

22 *) Gegeben: Das Diagramm von frequenzselektiven 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 $\cos(\omega\Delta\tau) = 1$ $\quad |H|_{max} = A_1 + A_2 = H_0$

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

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

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

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

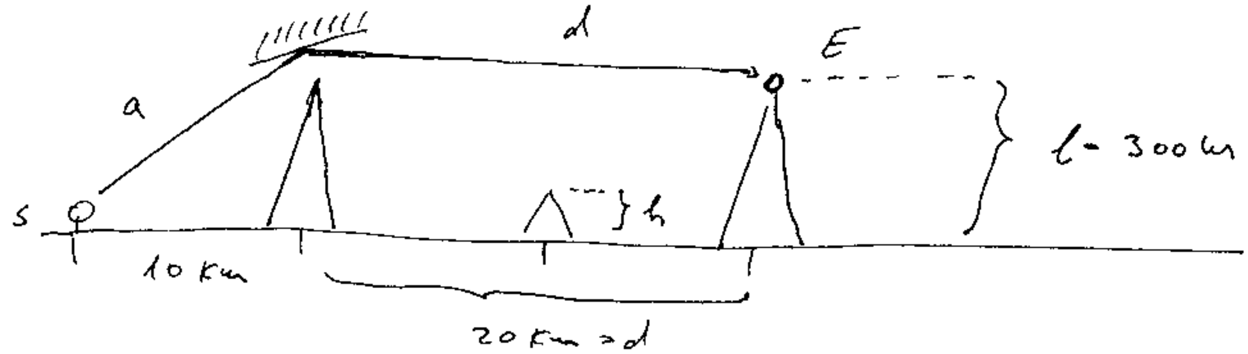
$$\underline{\underline{\frac{A_2}{A_1} = 0{,}9387}}$$

WA

(23)

*) Prüfungsbeispiel

Gegeben : Richtfunkstrecke mit Spiegel



$f = 900\ MHz$

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

Empfänger : $T_{rausch} = 1000\,K$ $B = 5\ MHz$

$SNR_{min} = 20\,dB$

Empfangsantenne : $D = 2\,m$, $w = 0{,}6$

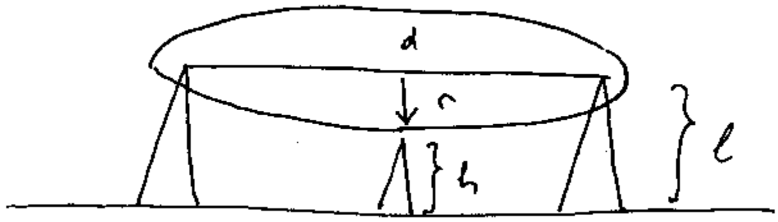
a) Wie hoch darf h sein, damit die dadurch verursachte Dämpfung minimal bleibt?

Es soll das erste Fresnel-Ellipsoid frei bleiben

In der Mitte beträgt sein Radius $r = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}}$

WA

(4P)



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

$h + r \leq l$ $\qquad$ $r \approx 41\,m$

$\Rightarrow \quad h \leq l - r = 259\,m$

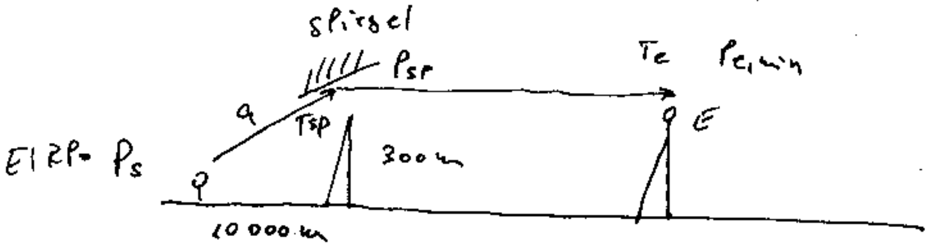
b) Berechnen Sie Senderleistung (EIRP) für SNR_{min}. (für h aus Punkt a))

$SNR_{min} = 10 \log \frac{P_{e,min}}{P_n}\, dB = 20\, dB$

$\Rightarrow \quad P_{e,min} = 100 \cdot P_n \qquad P_n = kT \cdot B = 6{,}8 \cdot 10^{-14}\, W$

und $\quad P_{e,min} = 6{,}9 \cdot 10^{-12}\, W = 6{,}8\, pW$

EIRP: Sender als Isotropstrahler:



Bei Spiegel: $\quad T_{sp} = \frac{EIRP}{4\pi a^2}$ $\qquad a = \sqrt{10000^2 + 300^2}\, m$

$a = 10\,004{,}5\, m$

WA

Am 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)

Beim Empfänger:

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

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

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

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

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

mit $\quad A_{sp} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \qquad \underline{A_e = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot w}$

$d = 5\,m$
$D = 2\,m$
$w = 0{,}6$
$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{3}\,m$
$|\Gamma| = 0{,}9$

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

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

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

$$\Rightarrow \quad P_S = \frac{EIRP}{G_{iso}} = \underline{\underline{3{,}1\ W}}$$

WA

(24)

*) Prüfungsbeispiel

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

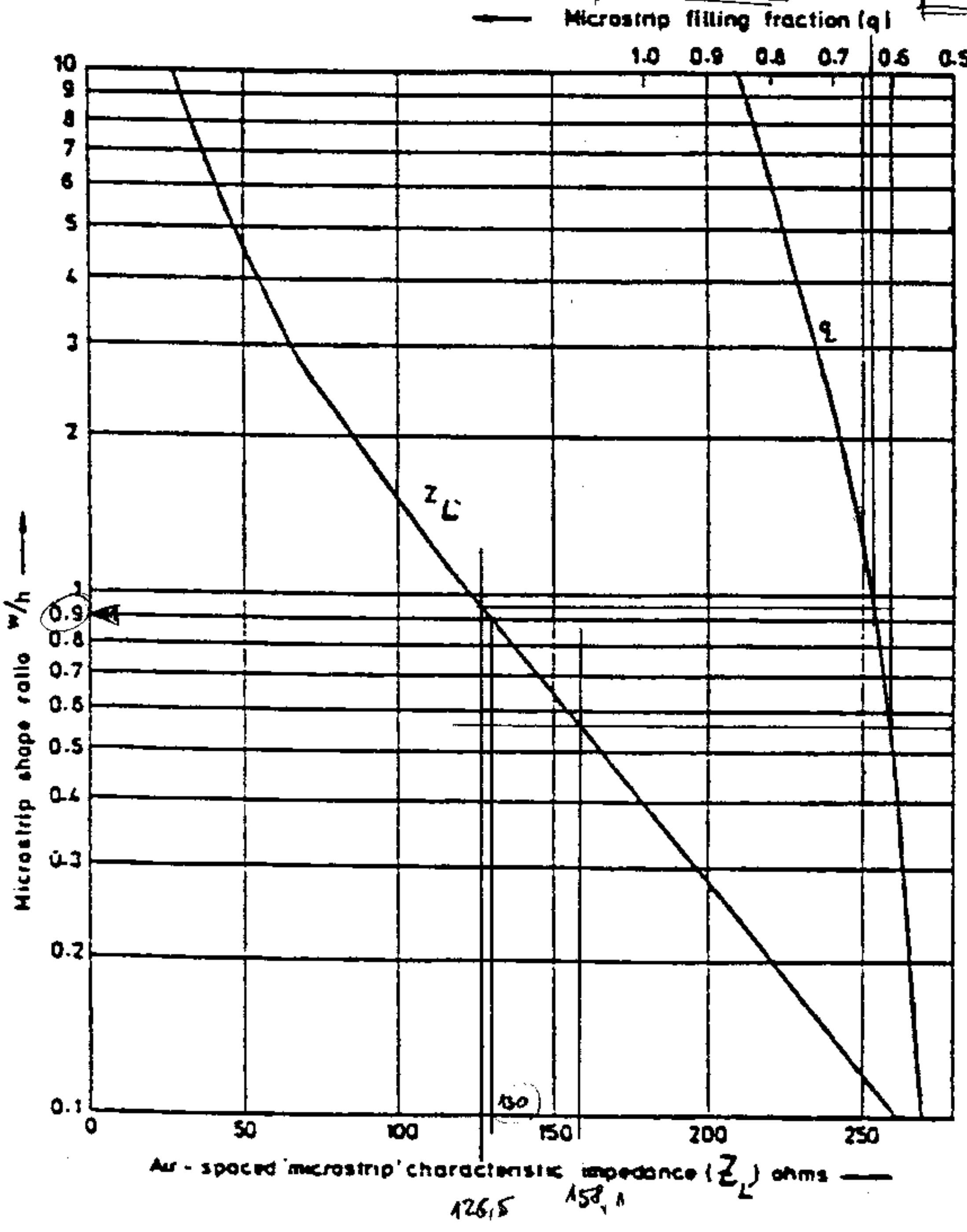
$Z_W = 50\Omega \quad \varepsilon_r = 10 \quad h = 0{,}5\,mm$

a) Annahme $\varepsilon_{eff} = \varepsilon_r = 10 \Rightarrow Z_L = Z_W\sqrt{\varepsilon_{eff}} = 158{,}1\Omega$

$\Rightarrow q = 0{,}6 \qquad \varepsilon_{eff} = 1 + q(\varepsilon_r - 1) = 6{,}4$

b) $Z_L = Z_W\sqrt{6{,}4} = 126{,}5\Omega \Rightarrow \boxed{q = 0{,}63} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_{eff} = 6{,}67}$

und $Z_L = Z_W\sqrt{6{,}67} = \underline{130\Omega} \Rightarrow \boxed{\frac{w}{h} = 0{,}9} \Rightarrow \boxed{w = 0{,}45\,mm}$



Rechnerisch:

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

Synthese-Formeln:

$$A = \frac{2\pi Z_w}{\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}\left(0{,}23 + \frac{0{,}11}{\varepsilon_r}\right) = 2{,}152875$$

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

weiters aus den Analyse-Formeln:

$$\frac{w}{h} < 1 \qquad \varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[\left(1 + 12\,\frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} + 0{,}04\left(1 - \frac{w}{h}\right)^2\right]$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\varepsilon_{eff} = 6{,}722}}$$

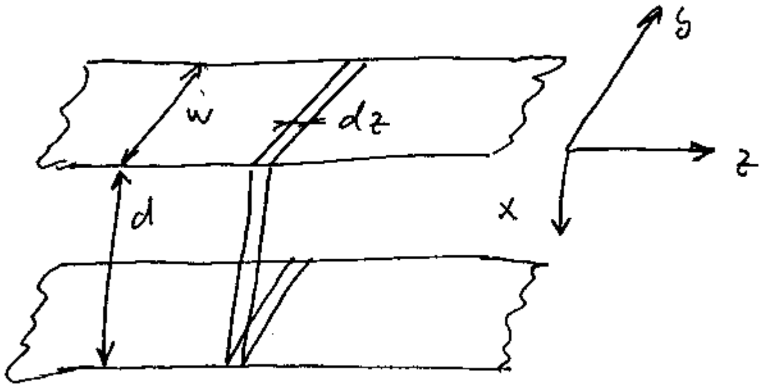
und schließlich $q = \frac{\varepsilon_{eff} - 1}{\varepsilon_r - 1} = \underline{\underline{0{,}636}}$

Antwort ⇒ Skriptum (2005) → Seite 35

Wellenausbreitung: Rechenbeispiel

12-05-2003

① $\boxed{25\%}$



$w \gg d$

R_n - Bekannt

TEM in z-Richtung wird betrachtet!

a) $\boxed{10\%}$ Ansatz für TEM^z ✓, $H_z = 0$, $E_z = 0$

Feldbilder zeichnen ✓

b) $\boxed{5\%}$ Transportierte Leistung P_z? ✓ 3.15

c) $\boxed{5\%}$ Dissipierte Leistung $-\frac{dP}{dz} = ?$ ✓

d) $\boxed{5\%}$ Dämpfungsbelag $\alpha = ?$ P dP

$$P_z = \frac{|E_{y0} e^{-jkz}|^2}{2\eta} wd$$

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

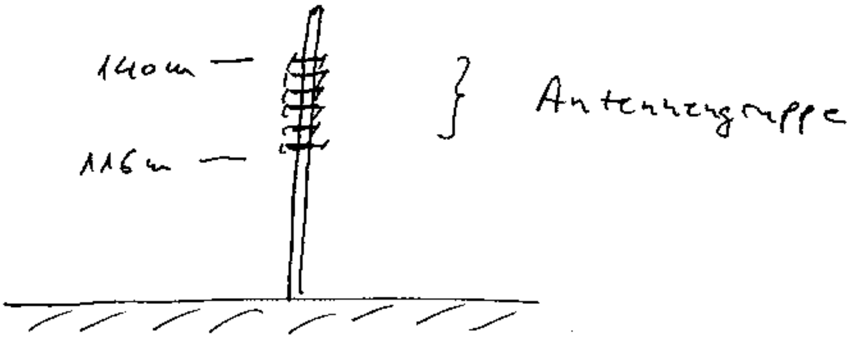
Wellenausbreitung : Rechenbeispiel 12.05.2003

(2) $\boxed{107.1}$

?

TV - Sender am Kahlenberg :

Band III , Kanal 5 , $f = 174 - 182$ 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 ! $D = 24m$)

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

b) Wie groß ist die modifizierte Rayleigh - Distanz , wenn gefordert wird , daß $\Delta\alpha_{max} = 10°$

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