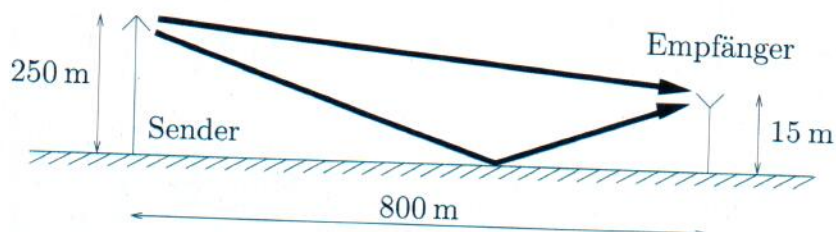


4 Zwei-Wege Ausbreitung im Mobilfunk (20%)

Gegeben ist die abgebildete Anordnung bestehend aus einem Sender mit Höhe h_S und einem Empfänger mit Höhe h_E in Entfernung d . Der Boden ist ideal leitfähig, sodass der Empfänger neben der direkten Welle eine gleich starke, reflektierte Welle empfängt. Die Mittenfrequenz des Senders beträgt 2 GHz.



- 4.1 (3%) Wie groß ist der Laufzeitunterschied zwischen den beiden Ausbreitungspfadern?
- 4.2 (3%) Überprüfen Sie, ob der Boden in die erste Fresnelzone hineinragt.
- 4.3 (4%) Wie hoch ist die Ausbreitungsdämpfung des direkten Pfads (also ohne Berücksichtigung der Reflexion) in dB?
- 4.4 (5%) Der Empfänger bewegt sich rund um seinen Standort. Welcher ungefähre räumliche Abstand ist zwischen zwei Schwundlöchern zu erwarten?
- 4.5 (5%) Durch die Reflexion kommt es beim Empfänger zu Schwund. Wie groß ist der Frequenzabstand zwischen zwei Schwundlöchern?

4.) $h_s = 250\text{m}, h_e = 15\text{m}, d = 800\text{m}, f = 2\text{GHz}$

4.1.) $\tan \theta = \frac{h_s}{x} = \frac{h_e}{y}$

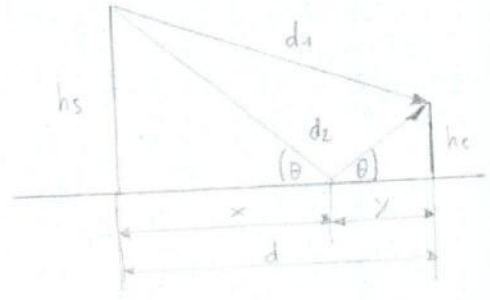
$x + y = d$

$\Rightarrow y = \frac{d}{1 + h_s/h_e} = 45,28\text{m}, x = 754,72\text{m}$

$d_1 = \sqrt{(h_s - h_e)^2 + d^2} = 833,8\text{m}$

$d_2 = \sqrt{x^2 + h_s^2} + \sqrt{y^2 + h_e^2} = 842,75\text{m}$

$\tau_1 = \frac{d_1}{c} = 2,779\mu\text{s}, \tau_2 = \frac{d_2}{c} = 2,809\mu\text{s} \quad \Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \underline{\underline{29,823\text{ns}}}$



4.2.) für gleiche Höhe: $h_s = h_e$

$r = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}} = \underline{\underline{5,177\text{m}}}, \lambda = \frac{c}{f} = 15\text{cm}$

$r < h_e$ - 1. Fresnelzone frei

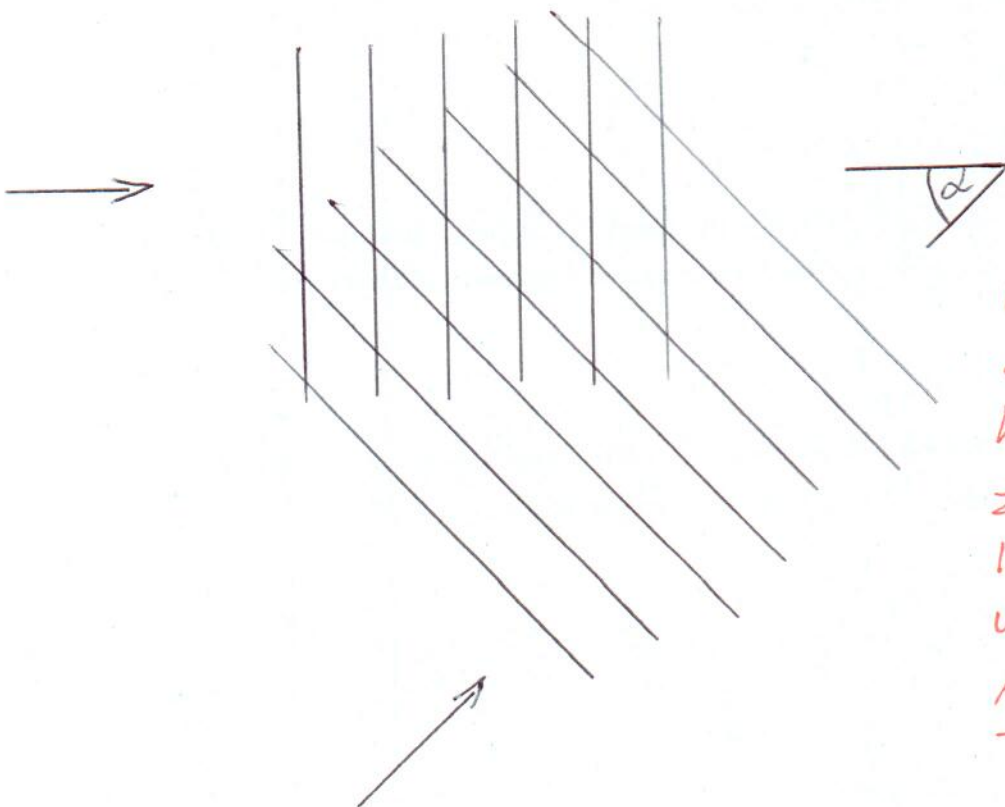
4.3.) $L_{\text{isol dB}} = -20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d_1}\right) = \underline{\underline{96,88\text{dB}}}$

Bei Zweivegeausbreitung ist das deterministisch und nicht geschätzt!

4.4.) $\Delta r_{\text{notch}} = \lambda/2 = \underline{\underline{7,5\text{cm}}}$

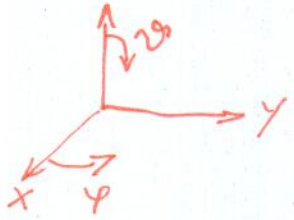
Am Besten skizziert man sich die Wellenfronten der direkten HEW und der Bodenreflexion.

4.5.) $\Delta f_{\text{notch}} = \frac{1}{\Delta\tau} = \underline{\underline{33,53\text{MHz}}}$



Man überlegt sich, wo es zu konstruktiver und zu destruktiver Interferenz kommt und rechnet den Abstand mit Trigonometrie.

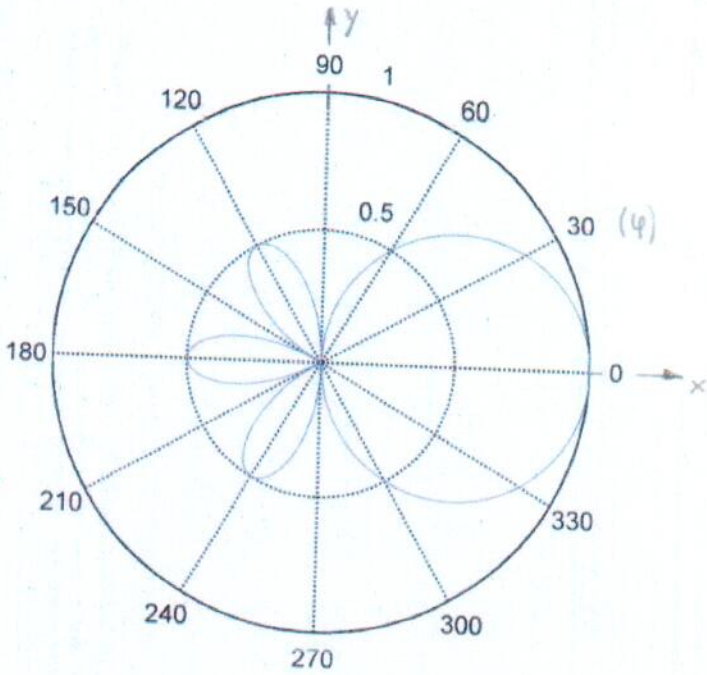
Allgemeines zu Kugelkoordinaten:



Polarwinkel ϑ läuft von $0^\circ \leq \vartheta \leq 180^\circ$
 Azimutwinkel φ von $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$

Horizontale Schnitte:

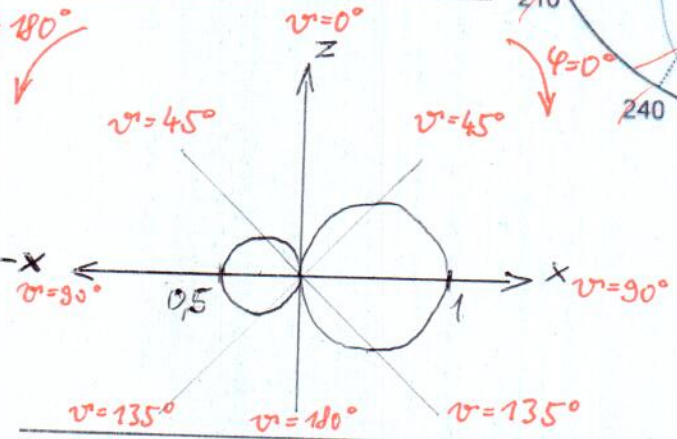
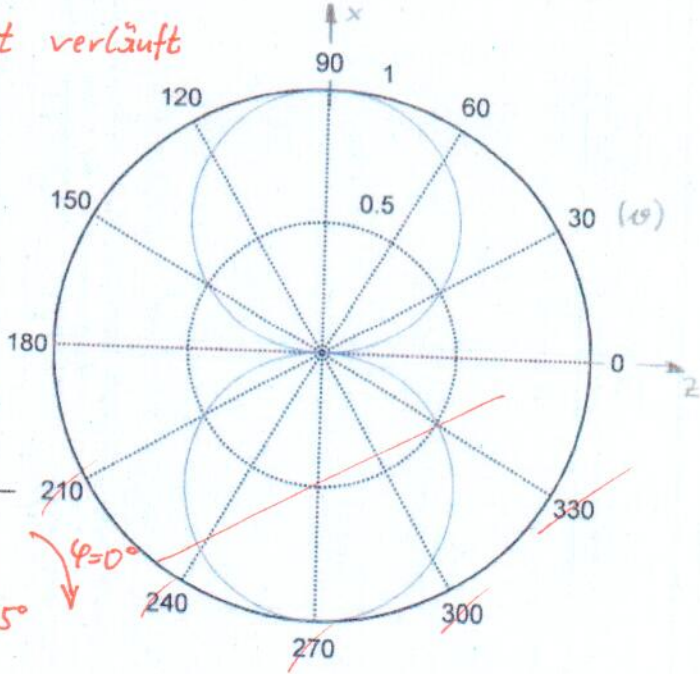
- 1.) gewünschtes ϑ auswählen und in Formel einsetzen
- 2.) Für alle φ zeichnen.



Vertikale Schnitte:

Vorsicht! Der Schnitt verläuft durch $\varphi = x^\circ$ und $\varphi = (x + 180)^\circ$.

- φ einsetzen und für alle ϑ zeichnen
 $\varphi + 180^\circ$ einsetzen und für alle ϑ zeichnen



Beispiel: Schnitt für $\varphi = 0^\circ$

