

## Wellenausbreitung – Fragen

- Mit welchen Parametern beschreibt man eine elektromagnetische Welle?  
*Amplitude,  $\lambda$ ,  $v$ , Ausbreitungsrichtung, Orientierung, Phase*
- Warum ist die HEW homogen, eben?  
*auf einer Phasenfläche gleiche Amplitude. Und Phasenflächen sind Ebenen*
- Wie viele HEWs sind im freien Raum ausbreitungsfähig?  
*Prinzipiell  $\infty$ , können aber auf 2 linear polarisierte (orthogonal zueinander) zurückgeführt werden*
- Welche Leistung trägt eine HEW prinzipiell über eine unendlich ausgedehnte Leitung?  
*Die Leistung ist unendlich groß.*
- Wie kann man diesen theoretischen Mangel beheben?  
*Durch metallische Platten einschränken, Platten senkrecht zum elektrischen Feld*
- Wo kann eine HEW auftreten?  
*Kugelwelle, weit weg von einer Quelle*

- Wie lautet der Feldwellenwiderstand einer HEW?

Feldwellenwiderstand:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}; Z_T = \frac{E_{trans}}{H_{trans}} \quad \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x}$$

Leitungswellenwiderstand der TEM Welle auf Parallelplattenleitung:

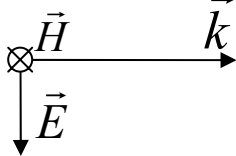
$$Z_{PV} = \eta * \frac{d}{w};$$

*P... Leistung, V... Spannung*

*Der Leitungswellenwiderstand kann auch über Strom und Leistung berechnet werden.*

- Wie hängen Feldwellenwiderstand und Leitungswellenwiderstand zusammen?  
*Sie hängen über die Leitungsgeometrie und Randbedingungen zusammen. Die Parameter sind Streifenbreite und Abstand (siehe Formeln von vorherigen Punkt).*
- Wie lautet der allgemeinste Zustand eines Polarisationszustandes einer elektromagnetischen Welle?  
*elliptisch*
- Welche drei Bedingungen müssen für eine zirkulare Polarisation gelten?  
*Amplituden müssen gleich sein, Komponenten normal aufeinander und die Phasenverschieben beträgt  $90^\circ$ .*
- Wie beschreibt man das vollständige System eines Polarisationszustandes?  
*Elliptizität (Hauptachsenverhältnis), Neigungswinkel zu Bezugsebene, Händigkeit*

- Wie groß ist das Hauptachsenverhältnis einer linearen Polarisation?  
*Elliptizität ist unendlich (bzw. 0)*
- Wann ist eine Grenzfläche glatt?  
*Wenn die Wellenlänge groß gegenüber der Rauigkeit ist.*  
 $\frac{\lambda}{\sin \Theta}$ ; ( $\Theta$ ...Erhebungswinkel)
- Welche Bedingungen braucht man für den Transmissions- und Reflexionsfaktor?  
*Randbedingungen (Stetigkeit von  $E_t$ ,  $H_t$ ,  $D_n$ ,  $B_n$ ),*
- Welche zwei ausgezeichneten Winkel gibt es?  
*TM: Brewster Winkel (dünnes  $\rightarrow$  dichtes Medium),  
TM, TE: Grenzwinkel der Totalreflexion (dichtes  $\rightarrow$  dünnes Medium)*
- Wie kann aus einer fiktiven HEW eine TEM erzeugt werden?



*Man benötigt Ränder für eine HEW, Parallelplattenleitung*

- Wie lauten die primären und sekundären Konstanten einer HEW?  
*Primäre Konstanten:  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\omega$   
Sekundäre Konstanten sind von den primären abhängig. (zB  $k$ ,  $\eta$ ,...)*
- Wie berechnet man prinzipiell den Brewster-Winkel?  
*Aus den Fresnellschen Formeln für den TM-Fall, den Zähler des Reflexionsfaktors gleich 0 setzen.*
- Wie lautet der Grundmodus eines Parallelplattenleiters?  
*TEM-Welle ( $m=0$ ,  $m$ ...Modenindex), Grenzfrequenz 0 Hz*
- Wie groß muss der Plattenabstand sein, damit die Welle ausbreitungsfähig ist?  
 $d = m \frac{\lambda_0}{2}$  bzw.  $\cos \Theta_m = \frac{\lambda_0}{2d} m$ ; *es muss die halbe Wellenlänge (mal Modus) in diesen Abstand hineinpassen*
- Wie lautet die Hohlleiterwellenlänge?  
$$\lambda_{H,m} = \frac{\lambda_0}{\sin \Theta_m} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{G,m}}\right)^2}} \quad (-> \text{ von welchen Parametern hängt sie ab: } \lambda_{G,m} = \frac{2d}{m})$$
- Wie lautet die Wellenfunktion für  $\Psi(\vec{r}, t)$ ?  
 $\nabla^2 \Psi + \omega^2 \mu \epsilon \Psi = 0$  (=Helmholtzgleichung)

- „Wie ist  $\Psi(x, y, z)$  definiert“?  
Für homogene Wellengleichung: Separationsansatz:  $\Psi(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z)$
- Wie ist  $k^2$  definiert?  
Aus Separationsbedingung, meistens:  
$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu \delta \quad \delta = \delta(\varepsilon, \sigma) = \varepsilon - j \frac{\sigma}{\omega} = \varepsilon(1 - js) \quad s = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon}$$
- Wie lauten die Lösungsfunktionen für Differentialgleichung der Welle?  
Aus  $\frac{\partial^2}{\partial x^2} X(x) + k^2 X(x) = 0$  folgen in kartesischen Koordinaten Lösungstypen  $\{\sin, \cos\}$  und  $\{e^j, e^{-j}\}$
- Wie viele Wellentypen sind bei einer Parallelplattenleitung ausbreitungsfähig?  
“2 mal abzählbar  $\infty + 1$ “ ( $\infty$  TE, TM + 1 TEM)
- „Wieviele“ Wellenlängen gibt es?  
 $\lambda_H, \lambda_G, \lambda_0$   
*Der Plattenabstand und der Modus geht in die Grenzwellenlänge ein und ist unabhängig vom Medium. Die Grenzfrequenz hängt vom Medium ab. Die Grenzwellenlänge muss mit freien Wellenlänge verglichen werden um festzustellen, ob Wellenausbreitung überhaupt möglich ist.*  
 $\lambda > \lambda_G$  bzw.  $f < f_G$  ... keine Ausbreitung möglich
- Warum ist die Phasengeschwindigkeit von einigen Wellentypen größer oder kleiner als die Lichtgeschwindigkeit?  
*Hochpassverhalten,  $c_o < c_{ph}$*
- Was bedeutet es, wenn die Phasengeschwindigkeit gegen Unendlich geht?  
*Gruppengeschwindigkeit muss gegen 0 gehen (Grenzbedingung),  $c_0^2 = c_{ph} c_{gr}$*
- Wo treten Oberflächenwellen auf?  
*entlang der Erde (z.B. Mittelwellenfunk), zwischen Quasileiter und Quasidielektrikum*
- Wo kann man diese Näherung anwenden?  
*um Verluste in Leitern zu berechnen*
- Wie viele Modenindizes gibt es beim Hohlleiter?  
*2 (z.B.: m,n) für x,y Richtung*
- Aus welchen 2 Parametern besteht die Funktion der Grenzwellenlänge?  
*Geometrie, Modenindex*
- Was sagen die modalen Lösungen aus?  
*aus Maxwellgleichungen direkt abgeleitet, Transversalkomponenten können aus den Longitudinalkomponenten berechnet werden*

- Worin besteht der Unterschied zwischen einem diskret aufgebauten Schwingkreis und einem Hohlraumresonator?  
*Anzahl der möglichen Resonanzfrequenzen (diskreter: 1; Hohlraumresonator:  $\infty$ )*
- Was ist die Güte bei Hohlraumresonatoren?  
*Keine allgemeine Güte definierbar. Sie ist für jeden Schwingungstyp unterschiedlich, der Hohlraumresonator hat für jedes  $\omega$  eine andere Güte*
- Sind TE- und TM-Wellen auf dielektrischen Strukturen ausbreitungsfähig?  
*Ja*
- Wie viele dieser Wellen sind ausbreitungsfähig?  
*“2 \* abzählbar unendliche viele“, keine TEM Welle*
- Ist die Grenzbedingung gleicher Natur wie bei einem Hohlraumresonator?  
*NEIN*
- Welche zwei Fälle scheidet die Grenzbedingung bei einer dielektrischen Wellenleitung?  
*geführte Welle -> abgestrahlter Welle*
- Welche zwei Fälle schneidet die Grenzbedingung bei einer Parallelplattenleitung/im Hohlleiter?  
*Ausbreitung und Dämpfung (keine Ausbreitung, evaneszentes Feld)*
- Wie lauten die Lösungsfunktionen für den Produktansatz bei Zylinderfunktionen?  
 *$z=(\sin, \exp)$ ;  $\varphi=(\sin, \exp)$ ;  
 $r$  hängt von Bessel-, Neumann-, Hankel-, modifizierten Bessel-, Hankelfunktionen ab*
- Was ist grundsätzlich anders bei diesem Ansatz?  
*Die Radialkomponente hängt auch von  $\varphi$  ab.*
- Welche Besselfunktion hat für verschwindendes Argument weder 0- noch Polstelle?  
 *$J_0$  (Besselfunktion 1. Art, 0. Ordnung)*
- Welche Funktionen sind Lösungen der Besselschen Differentialgleichung?  
*Besselfunktion 1. Art, Neumann-, Hankelfunktionen, modifizierte Zylinderfunktionen (= mod. Bessel-, Hankelfunktionen)*
- Hat eine (ideal) TEM eine Dispersion?  
*Nein, da die Geschwindigkeit bei allen Frequenzen gleich ist.*
- Hat eine Welle auf einer Streifenleitung eine Dispersion?  
*JA, da reale TEM Dispersion haben.*

## 2. Teil

- Welche physikalischen Probleme (Effekte) treten bei der Wellenausbreitung in Erdnähe auf?  
*Reflexion, Beugung, Streuung, Absorption, Brechung*
- Wie ändert sich die Wellengleichung und wie löst man sie bei Quellen im Raum?  
*Wellengleichung ist inhomogen, Lösung über Vektorpotential (weit entfernt, und nicht als Skalar!)*
- Wann gilt das Reziprozitätstheorem nicht?  
*2 unterschiedliche Frequenzen (Sender und Empfänger), nichtlineare Bauteile (es entstehen zusätzliche Frequenzen), nicht zur gleichen Zeit betrachten (keine zeitinvarianz), Dielektrizitätskonstante hat nicht-symmetrischer Tensor*
- 2 Leute senden mit CB-Funk. Der eine hört den anderen aber umgekehrt nicht. Was ist funktioniert nicht richtig?  
*Das Hintergrundrauschen beim schlechten Empfänger ist höher, Signal-Rauschleistungsverhältnis ist nicht gleich (SNR unterliegt nicht dem Reziprozitätstheorem)*
- Wovon hängt die Bündelung einer Antenne ab? Wie kann man stark bündeln?  
*Größe, Geometrie, Wellenlänge, ( → Verhältnis Größe zu Wellenlänge); je größer die Antenne desto stärker die Bündelung bei gleichbleibender Wellenlänge*
- Wenn man mit der Nebenkeulendämpfung von 13,7dB unzufrieden ist, was kann man machen um die Dämpfung noch weiter zu erhöhen?  
*Profil der Feldstärke an der Apertur ändern (z.B.: Dreieck, Gauß)*

## Formeln Teil 2

Wichtige Formeln:

Rayleighdistanz	$\frac{2D^2}{\lambda} (+\lambda)$
Richtcharakteristik	$f(\theta, \varphi) = \frac{E(\mathcal{G}, \varphi)}{E_{\max}}$
Äquivalenter Raumwinkel	$\Omega_{\ddot{a}} = \int_{4\pi}  f(\theta, \varphi) ^2 d\Omega$
Direktivität	$D = \frac{4\pi}{\Omega_{\ddot{a}}} = G_{ISO}$
Gewinn	$G_{REF} = \frac{P_{REF}}{P_{DUT}} \cdot \frac{ E_{\max DUT} ^2}{ E_{\max REF} ^2}$
EIRP:	$EIRP = P_L \cdot G_{ISO}$
MEG:	$MEG = \int_{4\pi} G(\mathcal{G}, \varphi) \cdot P(\mathcal{G}, \varphi) d\Omega$ $P(\mathcal{G}, \varphi)$ ..Wahrscheinlichkeitsdichte
Flächenhafte Apertur:	$G_{ISO} = 4\pi \frac{A \cdot w}{\lambda^2}$ $\Theta_{3dB} = \frac{\lambda}{D\sqrt{w}}$
1. Fresnelellipsoid:	$r_{\max} = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}}$
Dopplerverschiebung:	$\Delta f_D = -\frac{v}{\lambda} * \cos(\gamma)$

## Fragen aus den Übungen seit der 1. Klausur

- Wie ist der Gewinn einer Antenne definiert?

$$G_{REF} = \frac{P_{REF}}{P_{DUT}} \cdot \frac{|E_{\max DUT}|^2}{|E_{\max REF}|^2}$$

- Wie ist die Richtcharakteristik definiert?

$$f(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}}$$

- Was ist der äquivalente Raumwinkel?

*Jener Raumwinkel, in dem die gesamte Leistung abgestrahlt werden würde, wenn in ihm die größte Strahlungsintensität der Hauptkeule konstant vorhanden wäre.*

- Geg. Antenne mit Gewinn 10dB – Welche Sendeleistung spart man, wenn Feldstärke im Fernfeld gleich?

*10dB*

- Was ist ein Footprint?

*Kurven gleicher Sendeleistung in einer ebene normal auf die Hauptstrahlrichtung für gegebenen Abstand  $r$  von der Antenne*

- Was versteht man unter Direktivität?

*Maß dafür, wie sehr die Strahlung in eine Richtung gebündelt wird.*

- Was sagt Rayleigh-Distanz aus?

*ab wann die Fernfeldnäherung legitim ist*

- Ab wann kann man mit Fernfeldnäherung rechnen?

*Rayleighdistanz*

- Wie groß ist MEG wenn Welle gleichverteilt eintrifft?

*MEG= 1*

- Kann MEG größer als Gewinn werden?

*nein, max gleich*

- Geg. 2 Parabolantennen ( $f_1=10\text{GHz}$ ,  $D_1=1\text{m}$ ,  $f_2=5\text{GHz}$ ,  $D_2=2\text{m}$ ) – Welche hat größeren Gewinn?

*gleich (-> einfach in die Formeln einsetzen)*

- Geg. Parabolantennen ( $f_1=10\text{GHz}$ ,  $D_1=1\text{m}$ ) – Ges.  $\theta_{3\text{db}}$ ,  $G$

*in die Formeln einsetzen*

- Wie ändern sich  $\theta_{3\text{db}}$  und Gewinn wenn  $w$  kleiner?

*$G$  kleiner,  $\theta_{3\text{db}}$  größer*

- Wo gibt es bei 2 Wellen konstruktive Interferenz?  
*beide max. oder min. Amplitude der Feldstärke*
- Geg.  $h_1(\tau) = h(\tau - 150ns)$ ,  $h_2(\tau) = h(\tau - 200ns)$ , beide sind 50ns lang. Wo tritt die größte ISI auf?  
*beide gleich (da bei 150 das erste Symbol auftritt, bei 200 fertig ist und dann erst das nächste folgt)*
- Was ist der Schwund bei 2 Wellen?  
*Wenn destruktive Interferenz besteht. Daher max. einer Welle und min. der anderen Welle zur gleichen Zeit am gleichen Ort*
- Was ist ISI?  
*“Nachbarzeichenstörung“, Zeichen ragt in das nächste Zeichen hinein.*