

# Schriftliche Prüfung aus Wellenausbreitung am 11. 1. 2010

---

## **BITTE UNBEDINGT LESEN:**

*Für die Beantwortung der 10 Theoriefragen dürfen Sie keine Hilfsmittel verwenden! Sobald Sie damit fertig sind, geben Sie den Theorieteil der Prüfung ab und Sie erhalten die Rechenaufgaben! Für die Lösung der Rechenbeispiele dürfen Sie nur jene Formelsammlung, die der Prüfung beiliegt (und nach der Prüfung wieder abzugeben ist), verwenden. Weder das Skriptum noch handschriftliche Notizen sind erlaubt!*

*Beginnen Sie mit den Ausarbeitungen jedenfalls auf den Angabebättern! Falls Sie zu wenig Platz finden, verwenden Sie das Deckblatt oder zusätzliches Papier. Vergessen Sie Name und Matrikelnummer (rechts oben auf jeder Seite) nicht! Sie haben insgesamt 3 Stunden Zeit!*

Name:	Matrikelnr.:	
Punkte	%	von %
1		20
2		20
3		20
4		20
5		20
$\Sigma$		100

# 1 Theoriefragen (20%)

1.1 (2%) Welche Richtcharakteristik hat ein Hertz'scher Dipol? Welchen Gewinn hat er über dem Isotropstrahler?

1.2 (2%) Nennen Sie drei wesentliche Vorteile der drahtlosen Übertragung!

1.3 (2%) Wie lautet der Zusammenhang zwischen wirksamer Antennenfläche und dem Antennengewinn für einen Flächenwirkungsgrad  $w = 1$ ?

1.4 (2%) Schreiben Sie die vier Maxwellgleichungen in differentieller Form an!

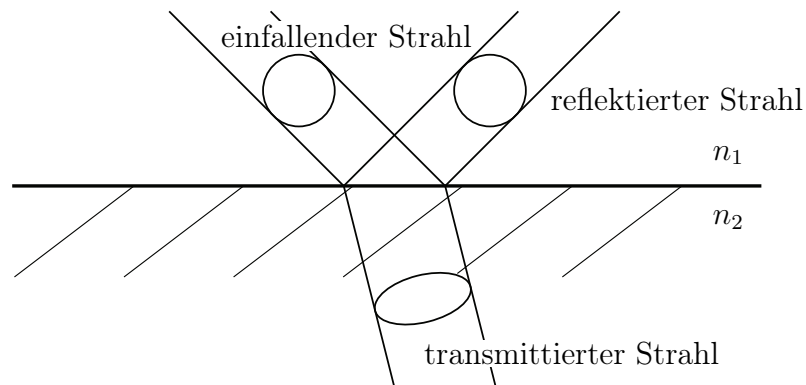
1.5 (2%) Was beschreibt der Imaginärteil der Wellzahl  $k_z$  bei einer sich in  $z$ -Richtung ausbreitenden Welle?

- 1.6 (2%) Wie groß ist die Wellenlänge einer sich im Vakuum ausbreitenden HEW mit  $f = 1 \text{ GHz}$ ?
- 1.7 (2%) Wie hängen bei der Microstripleitung die Verluste von der Frequenz ab?
- 1.8 (2%) Nennen Sie zwei breitbandige Antennen!
- 1.9 (2%) Nennen Sie fünf wichtige elektrische Eigenschaften von Antennen!
- 1.10 (2%) Skizzieren sie die Feldbilder des TEM-Modus für  $\vec{E}$  und  $\vec{H}$  in einem Koaxialkabel!

## 2 Übergang von Vakuum nach Glas (20%)

Name/Mat. Nr.: \_\_\_\_\_

Eine zirkular polarisierte Welle mit einem Querschnitt von  $A = 5 \text{ mm}^2$  und einer Leistung von  $P = 5 \text{ mW}$  wird unter dem Brewster-Winkel auf eine Grenzfläche zwischen Vakuum ( $n_1 = 1$ ) und Glas ( $n_2 = 1,8$ ) eingestrahlt.



**2.1** (5%) Berechnen Sie Einfallswinkel  $\theta_e$ , Reflexionswinkel  $\theta_r$  und Austrittswinkel  $\theta_t$  und zeichnen Sie diese in die Skizze ein!

**2.2** (10%) Berechnen Sie die TE und TM-Anteile ( $E$  und  $H$ ) der reflektierten und der transmittierten Welle!

**2.3** (5%) Berechnen Sie die Elliptizität der reflektierten und der transmittierten Welle in dB!

### 3 Richtfunkstrecke (20%)

Für eine Richtfunkstrecke bei 12 GHz steht ein Sender mit einer Sendeleistung von  $P = 20$  dBm zur Verfügung. Daran angeschlossen ist eine optimal ausgerichtet Antenne mit einem Gewinn  $G_s = 35$  dBi. In einer Entfernung  $d = 3,5$  km steht der Empfänger mit einer Antenne mit dem Gewinn  $G_e = 25$  dBi.

**3.1 (5%)** In welcher Höhe muss die Richtfunkverbindung mindestens montiert werden, wenn in der Mitte der Strecke Sender-Empfänger ein Haus mit 30 m Höhe befindet?

**3.2 (6%)** Berechnen Sie die empfangene Leistung (in dBm)!

**3.3 (9%)** Bei Bauarbeiten wird die Sendeantenne versehentlich um einen Winkel  $\Delta\varphi = 5^\circ$  verdreht. Um welchen Wert in (dB) ändert sich das SNR am Empfänger? Die Richtcharakteristik der Antenne lautet:

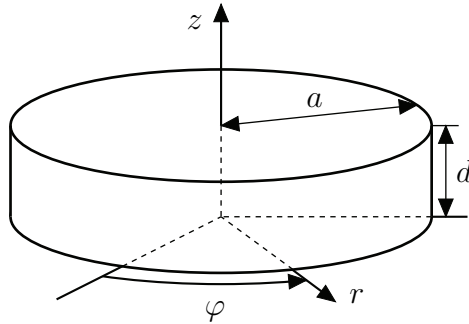
$$f(\vartheta, \varphi) = \begin{cases} \sin^{30}(\vartheta) \sin^{30}(\varphi) & \text{für } 0 \leq \varphi \leq \pi \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

## 4 Verluste im Resonator (20%)

Der abgebildete Resonator mit dem Radius  $a$  und der Höhe  $d$  wird im  $\text{TM}_{010}$  Modus betrieben. Er ist mit Luft gefüllt. Das Feldbild berechnet sich dabei zu

$$\begin{aligned} E_r &= 0 \\ E_\varphi &= 0 \\ E_z &= E_0 J_0(k_r r) \\ H_r &= 0 \\ H_\varphi &= \frac{j\omega\varepsilon}{k_r} E_0 J_1(k_r r) \\ H_z &= 0 \end{aligned}$$

Die Separationsbedingung lautet  $k_r^2 + k_z^2 = \omega^2/c_0^2$ . Beim konkreten Modus folgen aus den Randbedingungen  $k_z = 0$  (entsprechend verschwindet oben  $E_r$  und es fehlen die  $\cos(k_z z)$  Terme) und  $k_r a = 2,4048$  (aus der ersten Nullstelle der Besselfunktion  $J_0(k_r a) = 0$ ).



**4.1 (2%)** Berechnen Sie allgemein die Resonanzfrequenz des Resonators für den gefragten Modus.

**4.2 (15%)** Berechnen Sie allgemein die unbelastete Güte des Resonators für den gefragten Modus unter Berechnung der gespeicherten Energie und der Verluste im Metall.

Hinweis:  $dF = r dr d\varphi$  und  $dV = r dr d\varphi dz$

Hinweise zur Integration der Besselfunktionen:

$$\int x J_0^2(\alpha x) dx = \frac{x^2}{2} [J_1^2(\alpha x) + J_0^2(\alpha x)] \text{ und}$$

$$\int x J_1^2(\alpha x) dx = \frac{x^2}{2} \left[ J_0^2(\alpha x) - \frac{2}{\alpha x} J_0(\alpha x) J_1(\alpha x) + J_1^2(\alpha x) \right]$$

**4.3 (3%)** Berechnen Sie die Resonanzfrequenz und die unbelastete Güte des Resonators bei einer spezifischen Leitfähigkeit des Metalls von  $\sigma = 5,7 \cdot 10^7 \text{ S/m}$  für die Abmessungen  $a = 42 \text{ mm}$  und  $d = 5 \text{ mm}$ .

## 5 Richtdiagramm einer Antennengruppe (20%)

Zwei baugleiche omnidirektionale Antenne im Abstand  $d$ , welche entkoppelt angenommen werden, erzeugen in einem sehr grossen Abstand  $r$  Feldstärken, welche dem Betrag nach identisch als  $E_0$  angenommen werden können. Berechnen Sie die Richtcharakteristik einer derartigen Anordnung in der Zeichenebene  $(x, y)$ !

