

# Schriftliche Prüfung aus Wellenausbreitung am 24.7.2013

---

## **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%)

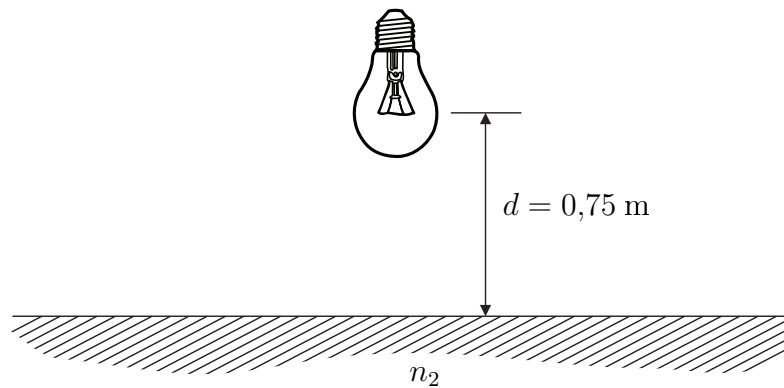
- 1.1 (2%) Worin unterscheidet sich eine gedämpfte Welle von einem abklingenden evaneszenten Feld?
- 1.2 (2%) Erklären Sie den Begriff des Oberflächenwiderstandes. Wo tritt dieser bei der Power Loss Method auf?
- 1.3 (2%) Warum haben Mikrowellenöfen, die bei 2,45 GHz arbeiten, immer einen etwa 3 cm breiten Türfalz?
- 1.4 (2%) Wie groß ist die Wellenlänge einer sich im Vakuum ausbreitenden HEW mit  $f = 1 \text{ GHz}$ ?
- 1.5 (2%) Wann sind zwei Wellentypen entartet? Was ist ein Modus?

- 1.6 (2%) Was ist der Mean Effective Gain und in welchem Zusammenhang wird er verwendet?
- 1.7 (2%) Ein Radarsystem arbeitet mit einer Impulssendeleistung von 1 kW. Welche Sendeleistung benötigen Sie bei sonst gleichbleibender Spezifikation, wenn das SNR um 6 dB verbessert werden soll?
- 1.8 (2%) Was besagt das Reziprozitätstheorem bei Antennen? Welche Voraussetzungen müssen gelten werden, damit es anwendbar ist?
- 1.9 (2%) Ordnen Sie folgende Antennen *aufsteigend* nach (a) Länge, (b) Betrag der Eingangsimpedanz:  $\lambda/2$ -Dipol,  $\lambda$ -Dipol, Hertz'scher Dipol
- 1.10 (2%) Welche Ausbreitungsphänomene werden durch eine Rayleigh- bzw. durch eine Rice-Verteilung beschrieben?

## 2 Lichtquelle über Aquarium (20%)

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

Eine 53 W Glühlampe befindet sich in einer Höhe von 0,75 m über der Wasseroberfläche eines Aquariums. Nehmen Sie im folgenden an, dass die gesamte elektrische Leistung in Licht umgewandelt wird, isotrop ausgestrahlt wird, und dass das Licht einer Glühlampe unpolarisiert ist. Das Wasser habe einen Brechungsindex  $n_2 = 1,33$ .



- 2.1 (8%) Wie groß ist der Betrag des Poyntingvektors direkt oberhalb der Wasseroberfläche, senkrecht unter der Lampe?
- 2.2 (8%) Wie groß ist der Betrag des Poyntingvektors direkt unterhalb der Wasseroberfläche, senkrecht unter der Lampe?
- 2.3 (4%) Erklären Sie den Zusammenhang zwischen den beiden Werten!

### 3 Mars Odyssey Radar (20%)

Um für die Marssonde „Phoenix“ geeignete Landeplätze zu erkunden, wurden 2005 mit der den Mars umkreisenden Raumsonde „Odyssey“ Radar-Bilder der Marsoberfläche erzeugt. Die Messungen wurden bi-statisch bei einer Frequenz von 401 MHz durchgeführt: Als Sendestation fungierte das Stanford Research Institute in Kalifornien mit einer Parabolantenne mit 46 m Durchmesser, einem Wirkungsgrad  $w = 54\%$  und einer Sendeleistung  $P_S$  von 3 kW.

Die Raumsonde „Odyssey“ überfliegt den Mars in einer Flughöhe von  $h = 400$  km und ist mit einer Empfangsantenne mit einem Gewinn von 4,8 dBi ausgerüstet, die Empfängerrauschtemperatur beträgt  $T = 400$  K, wobei ein Empfangsfilter mit 28 kHz Bandbreite eingesetzt wird. In der betrachteten Zeit betrug die Distanz Erde–Mars etwa  $70000 \cdot 10^6$  m. Hinweis: Boltzmann-Konstante  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Ws/K, Angaben aus Gunnarsdottir et al.<sup>1</sup>

**3.1 (3%) Skizzieren Sie den Sachverhalt auf dem Mars und tragen Sie alle relevanten Daten ein! Nehmen Sie dabei an, dass sich Erde, „Odyssey“ und Mars auf einer Linie befinden.**

**3.2 (5%) Berechnen Sie die Strahlungsleistungsdichte  $T_e$  auf der Marsoberfläche die durch den Sender in Kalifornien erzeugt wird.**

---

<sup>1</sup>H. M. Gunnarsdottir, I. R. Linscott, J. L. Callas, M. D. Cousins, R. A. Simpson, and G. L. Tyler, “Root-mean-square surface slopes of Phoenix landing sites with 75-cm bistatic radar received by Mars Odyssey,” *J. Geophys. Res. (Planets)*, vol. 113, no. E12, Jun. 2008

**3.3** (7%) Berechnen Sie die differentielle Empfangsleistung  $dP_r$  bei der Sonde, die durch ein Flächenelement  $dA$  des Marsbodens mit dem flächenbezogenen Streuquerschnitt  $\hat{\sigma} = 4000 \cdot 10^3$  entsteht.

**3.4** (5%) Wie groß ist die Fläche an Marsboden die zu Empfangsleistung beiträgt, damit sich ein SNR von 13 dB ergibt?

## 4 HGÜ für Solarstrom aus der Sahara(20%)

Ein Solarpark in der Sahara mit einer Gesamtleistung von 2700 MW soll mittels Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) an Süditalien angebunden werden. Die Distanz zwischen den Umrichterstationen beträgt  $l = 2200$  km. Der Umrichter in der Sahara hat eine Speiseimpedanz von  $5\ \Omega$  und gibt im Leerlauf eine Ausgangsspannung von 950 kV an ein koaxiales Kabel mit PVC Dielektrikum (relative Permittivität  $\epsilon_r = 3,8$ , Durchschlagfeldstärke  $E_D = 35$  kV/mm) ab. Außen- und Innenleiter des Kabels sind aus Aluminium mit einer Leitfähigkeit  $\sigma = 37 \cdot 10^6$  S/m.

**4.1 (5%) Welche Innen- und Außenleiterradii sind für das Kabel vorzusehen, wenn dieses für 130 % der Nennspannung auszulegen ist und die Leitungsimpedanz für minimalen Materialverbrauch zu dimensionieren ist? Geben sie auch die verwendete Impedanz der Leitung an!**

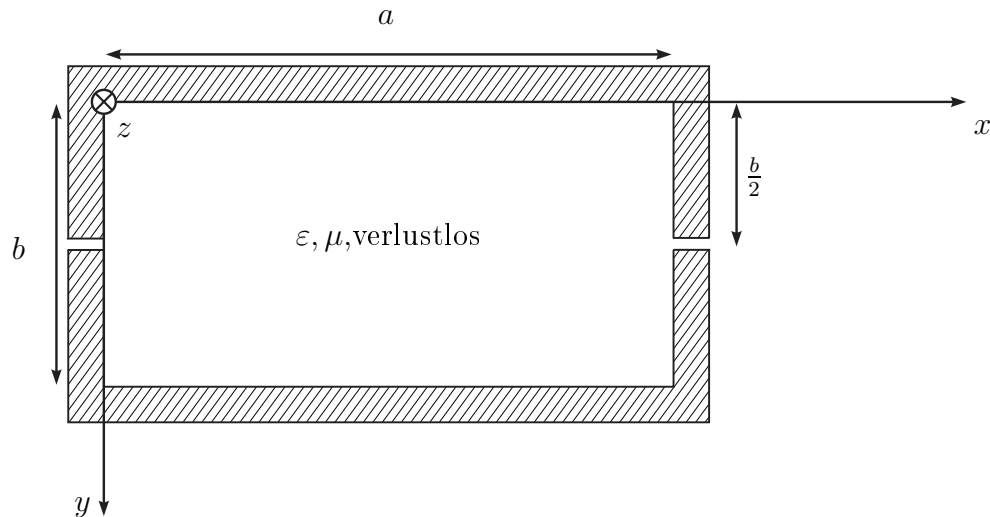
**4.2 (5%) Welche Widerstände stellen Innen- bzw. Außenleiter des Koaxialkabels dar, wenn der Innenleiter massiv ausgeführt ist, und der Außenleiter die gleiche Masse aufweist wie der Innenleiter? Welche Verluste ergeben sich in Kabel und speisender Umrichterstation?**

- 4.3** (10%) Welche Lastimpedanz stellt die Umrichterstation in Italien dar? Die Leitung wird nach Revisionsarbeiten zum Zeitpunkt  $t = 0$  in Betrieb genommen. Welche Spannung ergibt sich jeweils an den Umrichterstationen in der Sahara bzw. in Italien für die Zeitpunkte  $t = 0$ ,  $t = 2,1 \cdot l/c$ ,  $t = \infty$ ? ( $c = c_0/\sqrt{\varepsilon_r}$ ) Für welchen Maximalstrom ist die Umrichterstation in der Sahara abzusichern?



## 5 Geschlitzter Rechteckhohlleiter (20%)

Untersuchen Sie die Wellenausbreitung in  $z$  Richtung im skizzierten geschlitzten Rechteckhohlleiter. Der Schlitz sei sehr schmal und die Wand des Hohlleiters sehr dünn - daher sind kapazitive Effekte im Schlitz zu vernachlässigen.



- 5.1** (5%) Betrachten sie vorerst  $\text{TM}_{m,n}$ -Moden! Finden Sie einen geeigneten Ansatz für die Komponenten in Ausbreitungsrichtung, der die Wellengleichung erfüllt. Ermitteln Sie die Separationsbedingungen.

- 5.2** (7%) Leiten Sie daraus die restlichen Feldkomponenten her und passen Sie an den Rand an! Welche Bedingungen für die Modenindizes  $m$  und  $n$  bestehen?
- 5.3** (3%) Welche Moden (TEM, TE, TM) sind auf diesem Wellenleiter überhaupt ausbreitungsfähig? In welchem Frequenzbereich wird der Wellenleiter im Monomodebetrieb betrieben, wenn die konkreten Angaben des Wellenleiters wie folgt lauten:  $a = 7 \text{ cm}$ ,  $b = 4,5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon_r = 3$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$ .
- 5.4** (5%) Betrachten Sie alle Moden außer TE-Moden! Berechnen und skizzieren Sie für den zuvor spezifizierten Wellenleiter das Dispersionsdiagramm für die untersten 6 Moden. Achten Sie auf die Beschriftung! Geben Sie die Grenzfrequenzen an!