

TU WIEN

WELLENAUSBREITUNG

VU 389.064

WS 2016

---

# Theoriefragensammlung

---

*Lizenz:*

GNU GPLv3

19. März 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
	Lösung 1. . . . .	5
	Lösung 2. . . . .	5
	Lösung 3. . . . .	6
	Lösung 4. . . . .	6
<b>2</b>	<b>Maxwell Theorie</b>	<b>6</b>
	Lösung 5. . . . .	6
	Lösung 6. . . . .	6
	Lösung 7. . . . .	6
	Lösung 8. . . . .	6
	Lösung 9. . . . .	6
	Lösung 10. . . . .	7
	Lösung 11. . . . .	7
	Lösung 12. . . . .	7
	Lösung 13. . . . .	7
	Lösung 14. . . . .	7
	Lösung 15. . . . .	7
	Lösung 16. . . . .	7
<b>3</b>	<b>Die homogene ebene Welle (HEW)</b>	<b>8</b>
	Lösung 17. . . . .	8
	Lösung 18. . . . .	8
	Lösung 19. . . . .	8
	Lösung 20. . . . .	9
	Lösung 21. . . . .	9
	Lösung 22. . . . .	9
	Lösung 23. . . . .	9
	Lösung 24. . . . .	9
	Lösung 25. . . . .	9
	Lösung 26. . . . .	9
	Lösung 27. . . . .	9

<b>4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung</b>	<b>10</b>
Lösung 28. . . . .	10
Lösung 29. . . . .	10
Lösung 30. . . . .	10
Lösung 31. . . . .	10
Lösung 32. . . . .	10
<b>5 Die Oberflächenwelle</b>	<b>10</b>
Lösung 33. . . . .	10
<b>6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren</b>	<b>10</b>
Lösung 34. . . . .	10
Lösung 35. . . . .	11
Lösung 36. . . . .	11
Lösung 37. . . . .	11
Lösung 38. . . . .	11
<b>7 Koaxialleitungen</b>	<b>12</b>
Lösung 39. . . . .	12
Lösung 40. . . . .	12
<b>8 Dielektrische Wellenleiter</b>	<b>12</b>
Lösung 41. . . . .	12
<b>9 Streifenleitung</b>	<b>12</b>
Lösung 42. . . . .	12
<b>10 Wellen und Hindernisse</b>	<b>12</b>
Lösung 43. . . . .	13
Lösung 44. . . . .	13
Lösung 45. . . . .	13
<b>11 Antennen</b>	<b>13</b>
Lösung 46. . . . .	14
Lösung 47. . . . .	14
Lösung 48. . . . .	14

Lösung 49. . . . .	15
Lösung 50. . . . .	15
Lösung 51. . . . .	15
Lösung 52. . . . .	15
Lösung 53. . . . .	15
Lösung 54. . . . .	15
Lösung 55. . . . .	16
Lösung 56. . . . .	16
Lösung 57. . . . .	16
Lösung 58. . . . .	16
Lösung 59. . . . .	16
Lösung 60. . . . .	16
Lösung 61. . . . .	16
Lösung 62. . . . .	16
Lösung 63. . . . .	16
Lösung 64. . . . .	17
Lösung 65. . . . .	17
Lösung 66. . . . .	17
Lösung 67. . . . .	17
Lösung 68. . . . .	17
Lösung 69. . . . .	17
<b>12 Wellen im freien Raum</b>	<b>18</b>
Lösung 70. . . . .	18
Lösung 71. . . . .	18
<b>13 Mehrwegeausbreitung</b>	<b>18</b>
Lösung 72. . . . .	18
Lösung 73. . . . .	19
Lösung 74. . . . .	19
Lösung 75. . . . .	19
Lösung 76. . . . .	19

Werter Student!

Diese Unterlagen werden dir **kostenlos** zur Verfügung gestellt, damit Sie dir im Studium behilflich sind. Sie wurden von vielen Studierenden zusammengetragen, digitalisiert und aufgearbeitet. Ohne der Arbeit von den Studierenden wären diese Unterlagen nicht entstanden und du müsstest dir jetzt alles selber zusammensuchen und von schlecht eingescannten oder abfotografierten Seiten lernen. Zu den Beispielen gibt es verschiedene Lösungen, welche du dir auch erst mühsamst rausuchen und überprüfen müsstest. Die Zeit die du in deine Suche und recherche investierst wäre für nachfolgende Studenten verloren. Diese Unterlagen leben von der Gemeinschaft die sie betreuen. Hilf auch du mit und erweitere diese Unterlagen mit deinem Wissen, damit sie auch von nachfolgenden Studierenden genutzt werden können. Geh dazu bitte auf <https://github.com/Painkilla/VO-370.015-Maschinen-und-Antriebe/issues> und schau dir in der TODO Liste an was du beitragen möchtest. Selbst das Ausbessern von Tippfehlern oder Rechtschreibung ist ein wertvoller Beitrag für das Projekt. Nütze auch die Möglichkeit zur Einsichtnahme von Prüfungen zu gehen und die Angaben anderen zur Verfügung zu stellen, damit die Qualität der Unterlagen stetig besser wird.  $\text{\LaTeX}$  und Git sind nicht schwer zu lernen und haben auch einen Mehrwert für das Studium und das spätere Berufsleben. Sämtliche Seminar oder Bachelorarbeiten sind mit  $\text{\LaTeX}$  zu schreiben. Git ist ideal um gemeinsam an einem Projekt zu arbeiten und es voran zu bringen. Als Student kann man auf GitHub übrigens kostenlos unbegrenzt private Projekte hosten.

Mit dem Befehl:

```
$ git clone https://github.com/Painkilla/VO-370.015-Maschinen-und-Antriebe.git
```

erstellst du eine lokale Kopie des Repositorium. Du kannst dann die Dateien mit einem  $\text{\LaTeX}$ -Editor deiner Wahl bearbeiten und dir das Ergebniss ansehen. Bist du auf GitHub registriert, kannst du einen Fork(engl:Ableger) erstellen und mit den Befehlen:

```
$ git commit -m "Dein Kommentar zu den Änderungen"
$ git push
```

werden deine Ergänzungen auf deinen Ableger am Server gesendet. Damit deine Ergänzungen auch in das zentrale Repositorium gelangen und allen Studierenden zur Verfügung steht musst du nur noch einen Pull-Request erstellen.

# 1 Einleitung

## Lösung 1.

Vorteile:

- Kommunikation mit entlegenen Gebieten möglich
- Kommunikation mit bewegten Teilnehmern möglich (Mobilfunk).
- Kommunikation mit Schiffen, Satteliten, Flugzeugen möglich
- Verbindung zu vielen Teilnehmern gleichzeitig möglich
- Geringere Dämpfung bei großen Entfernungen
- Geringere Kosten (Leitungen und Trassen entfallen)

Nachteile:

- Geringe Abhörsicherheit
- Große Dämpfung bei kleinen und mittleren Entfernungen
- Größere Störanfälligkeit
- Nur geringe Leistungen übertragbar, daher muss die entfernte Station i. d. R. extra versorgt werden

## Lösung 2.

Für die Freiraumausbreitung nimmt der Verlust mit Verdopplung der Entfernung nur um 6 dB zu, wohingegen sich bei Leitungen der in dB gemessene Dämpfungswert verdoppelt.

Leitung:  $\frac{P_e}{P_s} \propto e^{-\alpha r}$

Freiraum:  $\frac{P_e}{P_s} \propto \frac{1}{r^2}$

**Lösung 3.**

Die doppelte Länge bedeutet die doppelte Dämpfung in  $dB$  gemessen  
 $0,2 \text{ dB} \cdot 100\text{km} = 20 \text{ dB}$  Wobei angenommen wird das die typische Dämpfung  
 eines Glasfaserwellenleiters bei  $0,2 \text{ dB}$  liegt.

**Lösung 4.**

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

## 2 Maxwell Theorie

**Lösung 5.**

$$\delta = \varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega} = \varepsilon(1 - j \dots)$$

$$s = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} = \tan \Theta = \frac{1}{Q}$$

**Lösung 6.**

Eine gedämpfte Welle wird durch eine Schwingung und durch eine Dämpfung  
 beschreiben  $e^{-\alpha z} \cdot e^{j\beta z}$ , wohingegen ein evaneszenes Feld nur durch eine Dämpfung  
 beschrieben wird.  $e^{-\alpha z}$

**Lösung 7.**

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \varrho = 0 \quad (2.1)$$

$\vec{S} \dots$  Stromdichte [A/m]  
 $\rho \dots$  Ladungsdichte [As/m]

**Lösung 8.**

$$\vec{F} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (2.2)$$

**Lösung 9.**

Effektive Ladungsfreiheit gilt unter der Voraussetzung, dass große Zeiten gegenüber  
 $\tau_D$  betrachtet werden. Die dielektrische Relaxationszeit für Kupfer ist:

$$\tau_D = \frac{\varepsilon}{\sigma} \approx 10^{-19} \text{ s} \quad (2.3)$$

**Lösung 10.**

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (2.4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad (2.6)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.7)$$

**Lösung 11.**

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = j\omega\delta\vec{E} \quad (2.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.11)$$

**Lösung 12.**

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_{\mathcal{V}} (w_e(t) + w_m(t)) dV = \oint_{\Sigma} \vec{P}(t) \cdot d\vec{F} + \int_{\mathcal{V}} p_v(t) dV. \quad (2.12)$$

Abnahme der elektromagnetischen Energie = Abstrahlung + Dissipation

**Lösung 13.**

$$\vec{P}(t) = \vec{E}(t) \times \vec{H}(t) \quad (2.13)$$

$$\vec{T} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^* = \vec{T}_w + j\vec{T}_b \quad (2.14)$$

Die Wirkleistungsflussdichte  $\vec{T}_w = \Re\{\vec{T}\}$ .

Die Blindleistungsflussdichte  $\vec{T}_b = \Im\{\vec{T}\}$ .

**Lösung 14.**

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.15)$$

**Lösung 15.**

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = k^2 = \omega^2 \mu \delta \quad (2.16)$$

**Lösung 16.**

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.17)$$



### 3 Die homogene ebene Welle (HEW)

#### Lösung 17.

- Reflexion: der Reflexionskoeffizient ist für TE und TM-Fall unterschiedlich. Daher werden die Polarisationsseigenschaften geändert.
- Induzierte Ströme bei Antennen: in leitfähigen Elementen (nicht primär Teil der Antenne, z. B.: Befestigungselemente), können als Sekundärstrahler wirken.
- Bei Antenne knapp über dem Erdboden können Ströme im Erdboden induziert werden, die als Sekundärstrahler wirken (siehe Spiegelungsprinzip der Elektrostatik).
- Medien mit unterschiedlicher Dämpfung für horizontale und vertikale Polarisation (z. B.: Wälder dämpfen vertikal polarisierte Felder stärker als horizontal polarisierte).
- Beugung: In der unmittelbaren Nähe von beugenden Kanten sind polarisationsabhängige Beugungseffekte zu beobachten.
- In der Ionosphäre erfolgt eine Drehung der Polarisationsrichtung. Faradayeffekt

#### Lösung 18.

$$d = \frac{1}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

$\omega \dots$  Kreisfrequenz [1/s]

$\mu \dots$  Tiefe [Vs/Am]

$\sigma \dots$  spezifische Leitfähigkeit [S/m]

#### Lösung 19.

$\vec{S} = \sigma \vec{E} \dots$  Leitungsstromdichte (lokales Ohmsches Gesetz)

$\vec{S}_v = \rho \vec{v} \dots$  Konvektionsstromdichte

$\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \dots$  Gesamtstromdichte

**Lösung 20.**

$$e_x(z, t) = c_1 f_1(z - vt) + c_2 f_2(z + vt) \quad (3.1)$$

$$\nabla^2 \Psi + \omega^2 \mu \delta \Psi = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi_x + k_x \Psi_x = 0 \quad (3.3)$$

**Lösung 21.****Lösung 22.****Lösung 23.**

$$Z_P V = \eta \frac{d}{w} \quad (3.4)$$

$d \dots$  Abstand [m]

$w \dots$  Tiefe [m]

$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \dots$  Mediumswiderstand [ $\Omega$ ]

**Lösung 24.**

Die Wellenzahl  $k = \frac{\omega}{v} = \omega \sqrt{\mu \varepsilon}$  beschreibt, wie die Wellenlänge  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$  die räumliche Periodizität einer Welle.

Die Kreisfrequenz  $\omega$  beschreibt die zeitliche Periodizität der Welle.

**Lösung 25.**

$j k_z = \gamma = \alpha + j\beta$  deshalb ist  $k_z = \beta - j\alpha$  Der Imaginärteil der Wellenzahl beschreibt die Dämpfung  $\alpha$  der Welle.

**Lösung 26.**

$$k = \frac{\omega}{c_0} = \frac{2\pi f}{c_0}$$

**Lösung 27.**

Leitungswellenwiderstand, Mediumswiderstand, Feldwellenwiderstand

## 4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung

**Lösung 28.**

**Lösung 29.**

$$\theta_B = \arctan \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} = \arctan \frac{n_2}{n_1}$$

für den anderen fall  $n_1$  und  $n_2$  vertauschen  $\Rightarrow$  der Winkel ändert sich!

**Lösung 30.**

Entartet: Unterschiedliches Feldbild bei gleichen Ausbreitungseigenschaften.

Modus: Wellentyp (TE, TM, TEM) und Wellengestalt ( $TE_{10}, TE_{11}$ ).

**Lösung 31.**

**Lösung 32.**

Unter **allen** ausbreitungsfähigen Wellen eines Wellenleiters gibt es stets einen Wellentyp mit der niedrigsten Grenzfrequenz (größten Grenzwellenlänge). Er heißt **Grundwelle**.

## 5 Die Oberflächenwelle

**Lösung 33.**

## 6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren

**Lösung 34.**

**Lösung 35.**

Rechteckhohlwellenleiter: TE<sub>10</sub>-Modus, auch als H<sub>10</sub>-Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.1)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.2)$$

**Lösung 36.**

Als Grundmodus wird der Wellentyp mit der niedrigsten Grundfrequenz bezeichnet.

Die Grundfrequenz ist von den geometrischen Abmessungen und der Dielektrizität bzw. Permeabilität bestimmt.

Parallelplattenleitung: TEM-Welle, Grenzfrequenz ist 0 Hz.

Rechteckhohlwellenleiter: TE<sub>10</sub>-Modus, auch als H<sub>10</sub>-Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.3)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.4)$$

Koaxialkabel: wie bei Parallelplattenleitung  $\Rightarrow$  TEM-Welle, keine untere Grundfrequenz.

**Lösung 37.**

Bei dem Türrahmen handelt es sich um eine Resonanzdichtung. Die Breite des Türspalts beträgt ein Viertel der Wellenlänge ( $\lambda/4$ ), also ca. 3 cm. Der Abstand zwischen Tür und Rahmen ist unkritisch. Der Spalt wirkt ohne elektrischen Kontakt als frequenzselektive Dichtung für die elektromagnetischen Felder im Ofen.

**Lösung 38.**

$$v_P = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}}$$

$$v_G = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}$$

## 7 Koaxialleitungen

### Lösung 39.

Das Verhältnis  $r_a/r_i$  verändern oder die Frequenz erhöhen. Die Dämpfung erreicht bei einem Verhältnis von 3,5 ein minimum.

### Lösung 40.

E-Feld radial nach innen gerichtet, H-Feld konzentrisch um den Innenleiter im Innenraum.

## 8 Dielektrische Wellenleiter

### Lösung 41.

Dispersionsbegrenzung: Begrenzung durch Verzerrung der Signale. Es bezeichnet auch das breiter werden von schmalen Pulsen und schlussendlich ineinander laufen. (ISI)

Dämpfungsbegrenzung: Begrenzung durch Signalstärke, Signal geht im Rauschen unter.

## 9 Streifenleitung

### Lösung 42.

Die Dielektrischen Verluste sind proportional zur Frequenz. Abstrahlungsverluste sind hauptsächlich geometrieabhängig.  $\alpha_D = K_E \frac{s}{2}$

## 10 Wellen und Hindernisse

**Lösung 43.**

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,q}} \frac{\Phi_{1,max}}{\Phi_{2,max}} \quad (10.1)$$

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,1}} \frac{\Omega_{,2}}{\Omega_{,1}} \quad (10.2)$$

$$\frac{G_{1(ISO)}}{G_{2(ISO)}} \quad (10.3)$$

$$\frac{P_{L,2} |E_{\vartheta}|_{max,1}^2}{P_{L,1} |E_{\vartheta}|_{max,2}^2} \quad (10.4)$$

$P$ ... Leistung [W]

$\Phi$ ... Strahlungsintensivität [W/sr]=[W]

$\Omega$ ... Äquivalenter Raumwinkel [sr]=[1]

$G$ ... Gewinn [1]

$E$ ... Feldstärke [V/m]

**Lösung 44.**

Da es sich um das Fernfeld handelt, muss die Distanz größer als die Rayleighdistanz sein.

- Feldstärke (im Fernfeld) zur Feldstärke der Vergleichsantenne bei gleicher Leistung am Eingang.
- Einsparung an verfügbarer Leistung für die Versuchsantenne gegenüber Vergleichsantenne bei gleicher Fernfeldstärke

**Lösung 45.**

Geraten: Dass die erste Fresnelzone frei ist.

$$r = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}} \quad (10.5)$$

**11 Antennen**

**Lösung 46.**

Anzuordnen: Zwischen Antenne und Leitung

Das Anpassungsnetzwerk wirkt als Impedanzwandler der auf der einen Seite  $50 \, \Omega$  und auf der anderen  $4000 \, \Omega$  Wellenwiderstand besitzt. Anpassung für maximale Wirkleistungsübertragung  $Z'_G = Z_A^*$

**Lösung 47.**

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \cdot w \quad (11.1)$$

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad (11.2)$$

**Lösung 48.**

- Polariation
- Gewinn
- Bandbreite
- (Grund-) Frequenz
- EIRP/ERP
- Richtdiagramm
- Impedanz
- Direktivität
- Befestigung / Stabilität
- Baugröße
- Kosten

**Lösung 49.**

Die Bandbreite einer Antenne ist jener Frequenzbereich, in dem sie die an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich

- Gewinn
- Richtcharakteristik
- Eingangsimpedanz
- Polarisierung

erfüllt.

**Lösung 50.**

- Langdrahtantenne
- Logarithmische Spiralantenne
- Logarithmische periodische Antenne
- winkelkonstante konische Antenne

**Lösung 51.**

Drehpolarisationen. Man kann auch jede linear polarisierte Welle empfangen, unter Verlust von 3 dB.

**Lösung 52.**

Zwei Dipole um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht. Die Speiseleitung eines Dipols ist um  $\lambda/4$  länger. Dadurch ergibt sich eine Phasenverschiebung um  $90^\circ$ , und eine Drehpolarisation.

**Lösung 53.****Lösung 54.**



**Lösung 55.**

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \int \frac{\vec{S}_e(\vec{r}') \cdot e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \partial V'$$

**Lösung 56.**

Kreuzpolarisation ist das Verhältnis der abgestrahlten Leistung in der beabsichtigten Polarisation zur abgestrahlten Leistung in der orthogonalen Polarisation.

**Lösung 57.****Lösung 58.**

Wenn das längste Element die Länge  $l$  hat und das zweitlängste die Länge  $l/\tau$ , so muss das neue Element  $l \cdot \tau$  lang sein. Gleiches gilt auch für die Position!

**Lösung 59.****Lösung 60.****Lösung 61.**

Rayleighdistanz:

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} (+\lambda) \quad (11.3)$$

$$r_R > d \rightarrow \text{Nahfeld} \quad (11.4)$$

$$r_R < d \rightarrow \text{Fernfeld} \quad (11.5)$$

$D$ ... maximale Antennenquerabmessung [m]

$\lambda$ ... Wellenlänge [m]

$d$ ... Abstand zum Sender [m]

**Lösung 62.****Lösung 63.**

$$\frac{E_\vartheta}{E_\vartheta(\pi/2)} = \frac{H_\vartheta}{H_\vartheta(\pi/2)} = HD(\vartheta, \varphi) = \sin(\vartheta) \quad (11.6)$$

$$G_{ISO}(HD) = \frac{3}{2} \hat{=} 1,76 \text{ dBi} \quad (11.7)$$

**Lösung 64.**

Schmalband ist Definiert als  $B_s \cdot \Delta\tau_{max} \ll 1$

- Halbwellendipol
- Ganzwellendipol

**Lösung 65.**

bitte ergänzen!!!!

**Lösung 66.**

Siehe Skript Abb. 11.19 und 11.21

**Lösung 67.**

bitte ergänzen!!!!

**Lösung 68.**

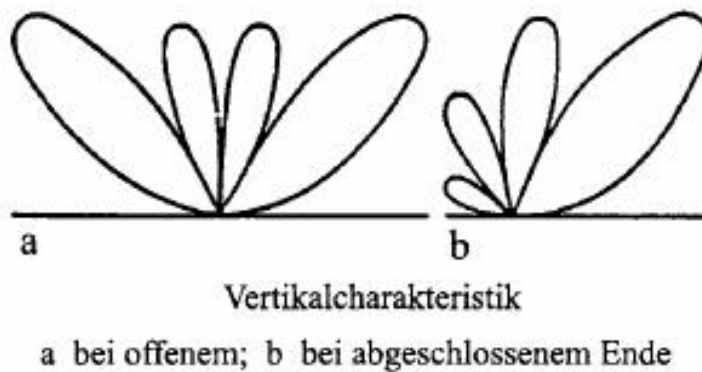
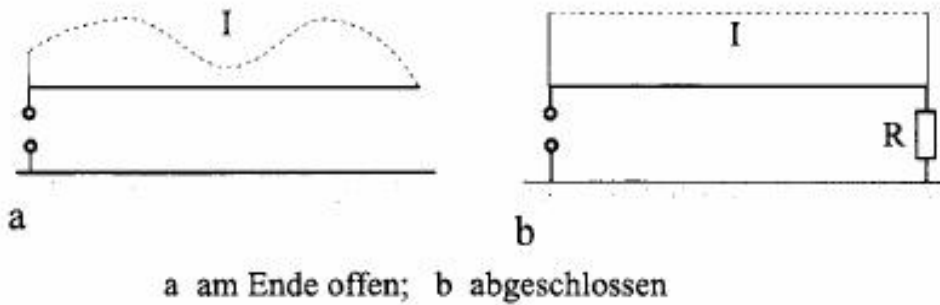
Das Stehwellenverhältnis (VSWR Voltage standing wave ratio) ist ein Güte Merkmal der Anpassung einer Antenne an die Speiseleitung.

$$m = VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} = \frac{|U_{max}|}{|U_{min}|} \quad (11.8)$$

$$\rho = \frac{Z_G - Z_A}{Z_G + Z_A} \quad (11.9)$$

**Lösung 69.**

Die Beverage-Antenne (Langdrahtantenne) hat kein festes Verhältnis von Abmessung zu Wellenlänge. Die Länge beträgt üblicherweise 5 bis  $10\lambda$ . Durch einen Abschlusswiderstand erhält die Welle eine ausgeprägte Richtwirkung. Die Antenne wird nur für Sender kleiner Leistungen eingesetzt, weil durch den Abschlusswiderstand der Wirkungsgrad niedrig ist.



## 12 Wellen im freien Raum

Lösung 70.

$$\sigma = G_{iso} \cdot A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A^2 \quad (12.1)$$

Lösung 71.

## 13 Mehrwegeausbreitung

Lösung 72.

Wenn mehrere Wellen auf die Antenne einfallen (z.B. im Mobilfunk), kann nicht mehr der ursprüngliche Gewinn für HEW verwendet werden. Die Gewinndefinition wird mit Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p(\theta, \varphi)$  der HEW über alle möglichen Empfangsrichtungen zu einem richtungsabhängigen Gewinn erweitert. MEG kommt

vor allem im Mobilfunk zur Anwendung. Im Pegelplan wird der ideale Gewinn der Handy-Antenne durch den MEG ersetzt. Ein typischerweise liegt der Wert bei ca. -10dBi, welcher den Effekt der Mehrwegeausbreitung in Kombination mit der Handy-Antenne, Hand, Kopf und Schulter des Benützers vereint.

$$MEG = \int_{4\pi} G(\vartheta, \varphi) p(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (13.1)$$

### **Lösung 73.**

Bei Mobilfunkantennen möchte man um den Masten möglichst viele Antennen positionieren, um voneinander getrennte Zellen zu haben, welche eine möglichst hohe Reichweite erzielen sollen. Radarantennen sind niedrig und breit um das reflektierte Signal möglichst gut empfangen zu können, da es durch Reflexionen auch aus verschiedenen Richtungen kommen kann.

### **Lösung 74.**

Orts- und Zeitabhängiger Schwund, Zeitmarkante 2-Wegeausbreitung, Intersymbolinterferenz (ISI)

### **Lösung 75.**

Breitbandiges System: Wenn mehrere Schwundlöcher innerhalb des Systembandbreite sind. Verschiedene Frequenzbereiche schwinden unabhängig voneinander, der Schwund ist frequenzselektiv.  $B_S \cdot \Delta\tau_{max} \gg 1$

Schmalbandiges System: Wenn das Übertragungsband als Ganzes schwindet. Außerdem, wenn die Bandbreite des Systems wesentlich kleiner als der Frequenzabstand der Schwundlöcher ist.  $B_S \cdot \Delta\tau_{max} \ll 1$

### **Lösung 76.**

Statistik der Empfangspegel (Unterschreitungswahrscheinlichkeit über Empfangsleistung in dB) bei kleinräumigen Schwund wird dann recht gut durch die Rayleigh-Verteilung beschrieben. Man kann sehen, ob eine Rayleigh Verteilung vorliegt, wenn man die Messwerte in ein Weibull-Papier einträgt. Dann erscheint die Rayleigh-Verteilung als eine Gerade.