

TU WIEN

WELLENAUSBREITUNG

VU-389.064

Prüfungen

Theorie

Lösungen

Wir können die Unterlagen von denen wir gelernt haben nicht ändern,
aber wir können der Nachwelt bessere hinterlassen.

Lizenz:

GNU GPLv3

1. April 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
	Lösung 1.	6
	Lösung 2.	7
	Lösung 3.	8
	Lösung 4.	9
2	Maxwell Theorie	10
	Lösung 5.	10
	Lösung 6.	11
	Lösung 7.	12
	Lösung 8.	13
	Lösung 9.	14
	Lösung 10.	15
	Lösung 11.	16
	Lösung 12.	17
	Lösung 13.	18
	Lösung 14.	19
	Lösung 15.	20
	Lösung 16.	21
3	Die homogene ebene Welle (HEW)	22
	Lösung 17.	22
	Lösung 18.	23
	Lösung 19.	24
	Lösung 20.	25
	Lösung 21.	26
	Lösung 22.	27
	Lösung 23.	28
	Lösung 24.	29
	Lösung 25.	30
	Lösung 26.	31
	Lösung 27.	32
	Lösung 28.	33

4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung	34
Lösung 29.	34
Lösung 30.	35
Lösung 31.	36
Lösung 32.	37
5 Die Oberflächenwelle	38
Lösung 33.	38
6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren	39
Lösung 34.	39
Lösung 35.	40
Lösung 36.	41
Lösung 37.	42
Lösung 38.	43
7 Koaxialleitungen	44
Lösung 39.	44
Lösung 40.	45
8 Dielektrische Wellenleiter	46
Lösung 41.	46
9 Streifenleitung	47
Lösung 42.	47
10 Wellen und Hindernisse	48
Lösung 43.	48
11 Antennen	49
Lösung 44.	49
Lösung 45.	50
Lösung 46.	51
Lösung 47.	52
Lösung 48.	53
Lösung 49.	54

Lösung 50.	55
Lösung 51.	56
Lösung 52.	57
Lösung 53.	58
Lösung 54.	59
Lösung 55.	60
Lösung 56.	61
Lösung 57.	62
Lösung 58.	63
Lösung 59.	64
Lösung 60.	65
Lösung 61.	66
Lösung 62.	67
Lösung 63.	68
Lösung 64.	69
Lösung 65.	70
Lösung 66.	71
Lösung 67.	72
Lösung 68.	73
12 Wellen im freien Raum	74
Lösung 69.	74
Lösung 70.	75
13 Mehrwegeausbreitung	76
Lösung 71.	76
Lösung 72.	77
Lösung 73.	78
Lösung 74.	79
Lösung 75.	80
Lösung 76.	81

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 der 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 raussuchen 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-389.064-Wellenausbreitung/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. \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 \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 recursive https://github.com/Painkilla/VO-389.064-Wellenausbreitung.
```

erstellst du eine lokale Kopie des Repositoriums. Du kannst dann die Dateien mit einem \LaTeX -Editor deiner Wahl bearbeiten und dir das Ergebnis ansehen. Bist du auf GitHub registriert, kannst du einen Fork (englisch für 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 Repository gelangen und allen

Studierenden zur Verfügung stehen, 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.

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

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

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.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \varrho = 0 \quad (2.0.1)$$

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

$\varrho \dots$ Ladungsdichte [As/m]

Lösung 8.

$$\vec{F} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (2.0.2)$$

Lösung 9.

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

$$\tau_D = \frac{\varepsilon}{\sigma} \approx 10^{-19} \quad (2.0.3)$$

Lösung 10.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (2.0.4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.0.5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad (2.0.6)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.0.7)$$

Lösung 11.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \quad (2.0.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.0.9)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = j\omega\delta\vec{E} \quad (2.0.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.0.11)$$

Lösung 12.

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_{\mathcal{V}} (w_e(t) + w_m(t)) dV = \oint_{\Sigma} \vec{P}(t) \cdot d\vec{F} + \int_{\mathcal{V}} p_v(t) dV. \quad (2.0.12)$$

Abnahme der elektromagnetischen Energie = Abstrahlung + Dissipation

Lösung 13.

$$\vec{P}(t) = \vec{E}(t) \times \vec{H}(t) \quad (2.0.13)$$

$$\vec{T} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^* = \vec{T}_w + j\vec{T}_b \quad (2.0.14)$$

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

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

Lösung 14.

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.0.15)$$

Lösung 15.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = k^2 = \omega^2 \mu \delta \quad (2.0.16)$$

Lösung 16.

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.0.17)$$

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.

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

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

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

Lösung 20.

$$e_x(z, t) = c_1 f_1(z - vt) + c_2 f_2(z + vt) \quad (3.0.1)$$

$$\nabla^2 \Psi + \omega^2 \mu \delta \Psi = 0 \quad (3.0.2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi_x + k_x \Psi_x = 0 \quad (3.0.3)$$

Lösung 21.

Lösung 22.

Lösung 23.

$$Z_P V = \eta \frac{d}{w} \quad (3.0.4)$$

$d \dots$ Abstand [m]

$w \dots$ Tiefe [m]

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

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 ω 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 α der Welle.

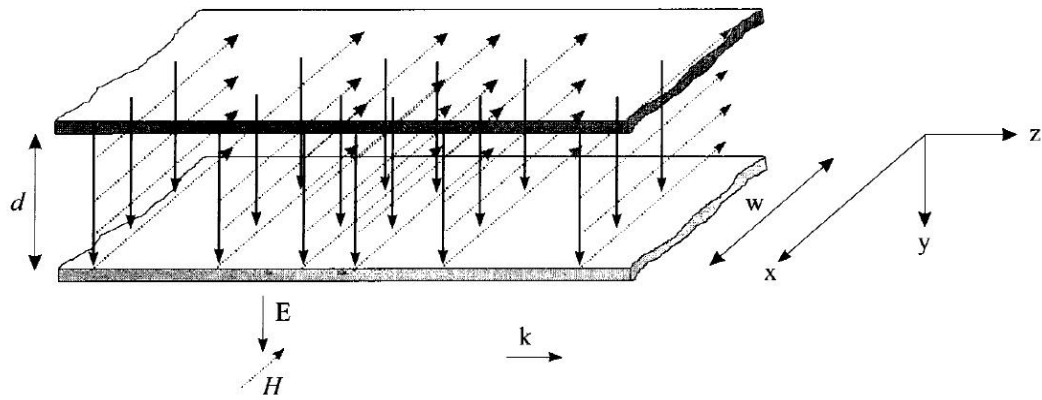
Lösung 26.

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

Lösung 27.

Leitungswellenwiderstand, Mediumswiderstand, Feldwellenwiderstand

Lösung 28.



Die Elektrischen Feldlinien schließen sich über den rechten und linken Raum.

4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung

Lösung 29.

Der Brewsterwinkel ist jener Winkel, bei dem der Reflexionsfaktor Γ_{TM} verschwindet und die gesamte Leistung transmittiert wird. Er tritt auf allen glatten Grenzflächen auf. $\arctan\left(\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}\right) = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$
 $\Gamma_{TM} = 0$

Lösung 30.

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

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

Lösung 31.

Entartet: Unterschiedliches Feldbild bei gleichen Ausbreitungseigenschaften.

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

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.

Rechteckhohlwellenleiter: TE₁₀-Modus, auch als H₁₀-Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.0.1)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.0.2)$$

Lösung 35.

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.

Rechteckhohlwellenleiter: TE₁₀-Modus, auch als H₁₀-Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.0.3)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.0.4)$$

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

Lösung 36.

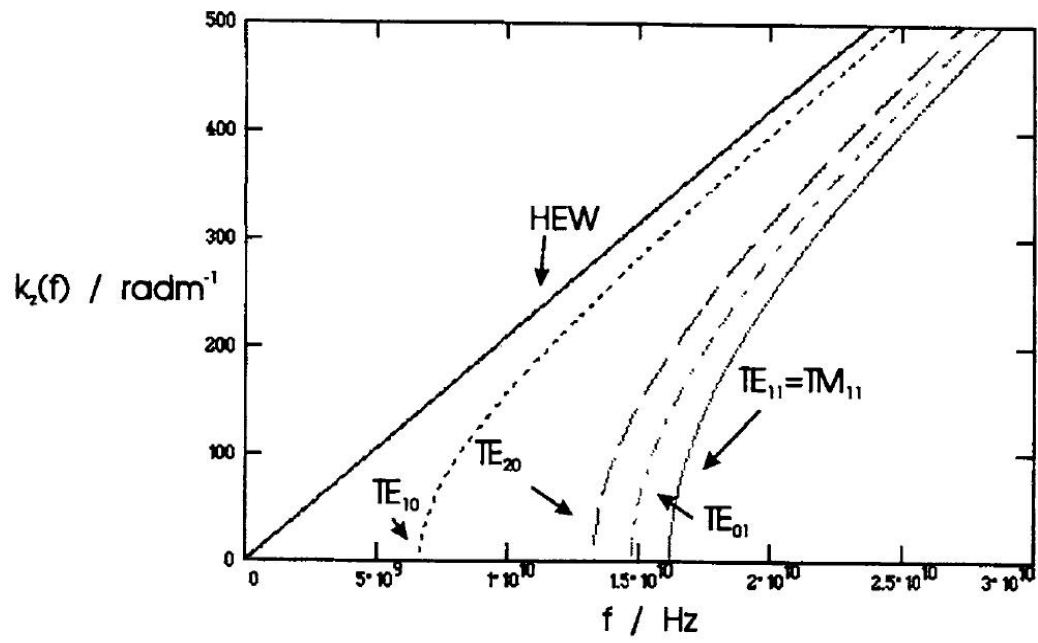
Bei dem Türrahmen handelt es sich um eine Resonanzdichtung. Die Breite des Türspalts beträgt ein Viertel der Wellenlänge ($\lambda/4$), also ca. 3 cm. Der Abstand zwischen Tür und Rahmen ist unkritisch. Der Spalt wirkt ohne elektrischen Kontakt als frequenzselektive Dichtung für die elektromagnetischen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

Lösung 37.

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

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

Lösung 38.

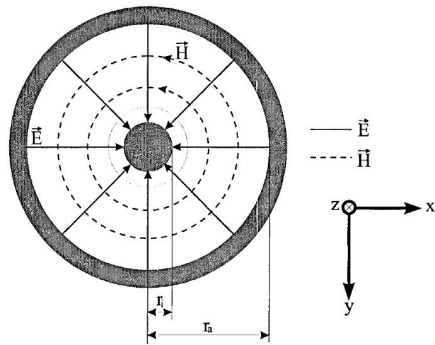


7 Koaxialleitungen

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.

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,q}} \frac{\Phi_{1,max}}{\Phi_{2,max}} \quad (10.0.1)$$

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,1}} \frac{\Omega_{,2}}{\Omega_{,1}} \quad (10.0.2)$$

$$\frac{G_{1(ISO)}}{G_{2(ISO)}} \quad (10.0.3)$$

$$\frac{P_{L,2} |E_{\vartheta}|_{max,1}^2}{P_{L,1} |E_{\vartheta}|_{max,2}^2} \quad (10.0.4)$$

$P \dots$ Leistung []

$\Phi \dots$ Strahlungsintensivität [/sr]=[[]]

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

$G \dots$ Gewinn [1]

$E \dots$ Feldstärke []

11 Antennen

Lösung 44.

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 45.

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \cdot w \quad (11.0.1)$$

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad (11.0.2)$$

Lösung 46.

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

Lösung 47.

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

- Gewinn
- Richtcharakteristik
- Eingangsimpedanz
- Polarisierung

erfüllt.

Lösung 48.

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

Lösung 49.

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

Lösung 50.

Lösung 51.

Lösung 52.

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

Lösung 53.

Lösung 54.

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

Lösung 55.

Lösung 56.

Lösung 57.

Rayleighdistanz:

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} (+\lambda) \quad (11.0.3)$$

$$r_R > d \rightarrow \textit{Nahfeld} \quad (11.0.4)$$

$$r_R < d \rightarrow \textit{Fernfeld} \quad (11.0.5)$$

$D \dots$ maximale Antennenquerabmessung []

$\lambda \dots$ Wellenlänge []

$d \dots$ Abstand zum Sender []

Lösung 58.

Lösung 59.

$$\frac{E_{\vartheta}}{E_{\vartheta}(\pi/2)} = \frac{H_{\vartheta}}{H_{\vartheta}(\pi/2)} = HD(\vartheta, \varphi) = \sin(\vartheta) \quad (11.0.6)$$

$$G_{ISO}(HD) = \frac{3}{2} \hat{=} 1,76 \text{ } dBi \quad (11.0.7)$$

Lösung 60.

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

- Halbwellendipol
- Ganzwellendipol

Lösung 61.

bitte ergänzen!!!!

Lösung 62.

bitte ergänzen!!!!

Lösung 63.

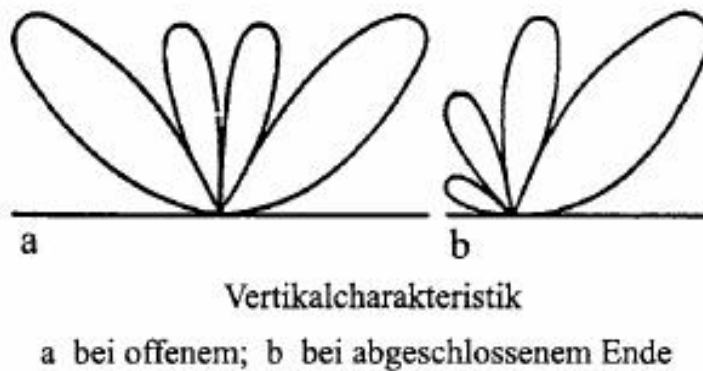
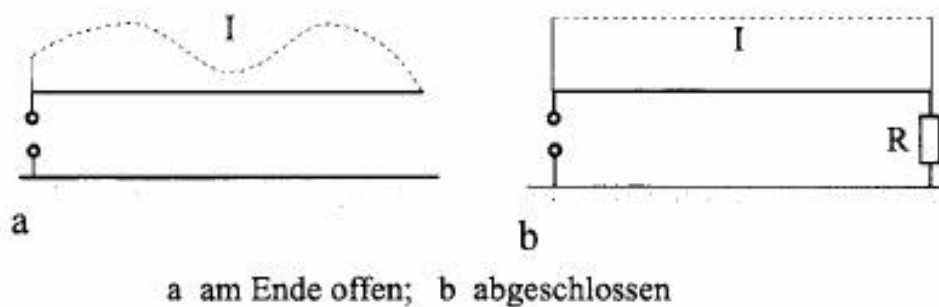
Das Stehwellenverhältnis (VSWR Voltage standing wave ratio) ist ein Güte-merkmal der Anpassung einer Antenne an die Speiseleitung.

$$m = VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} = \frac{|U_{max}|}{|U_{min}|} \quad (11.0.8)$$

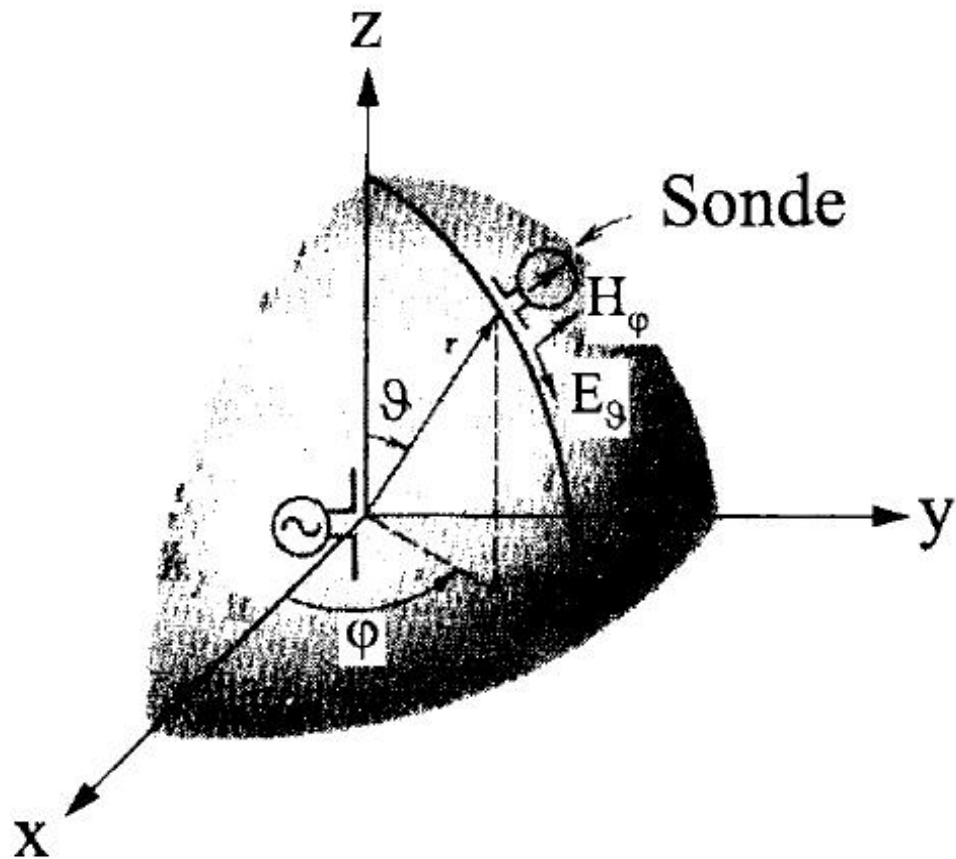
$$\rho = \frac{Z_G - Z_A}{Z_G + Z_A} \quad (11.0.9)$$

Lösung 64.

Die Beverage-Antenne (Langdrahtantenne) hat kein festes Verhältnis von Abmessung zu Wellenlänge. Die Länge beträgt üblicherweise 5 bis 10λ . 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.



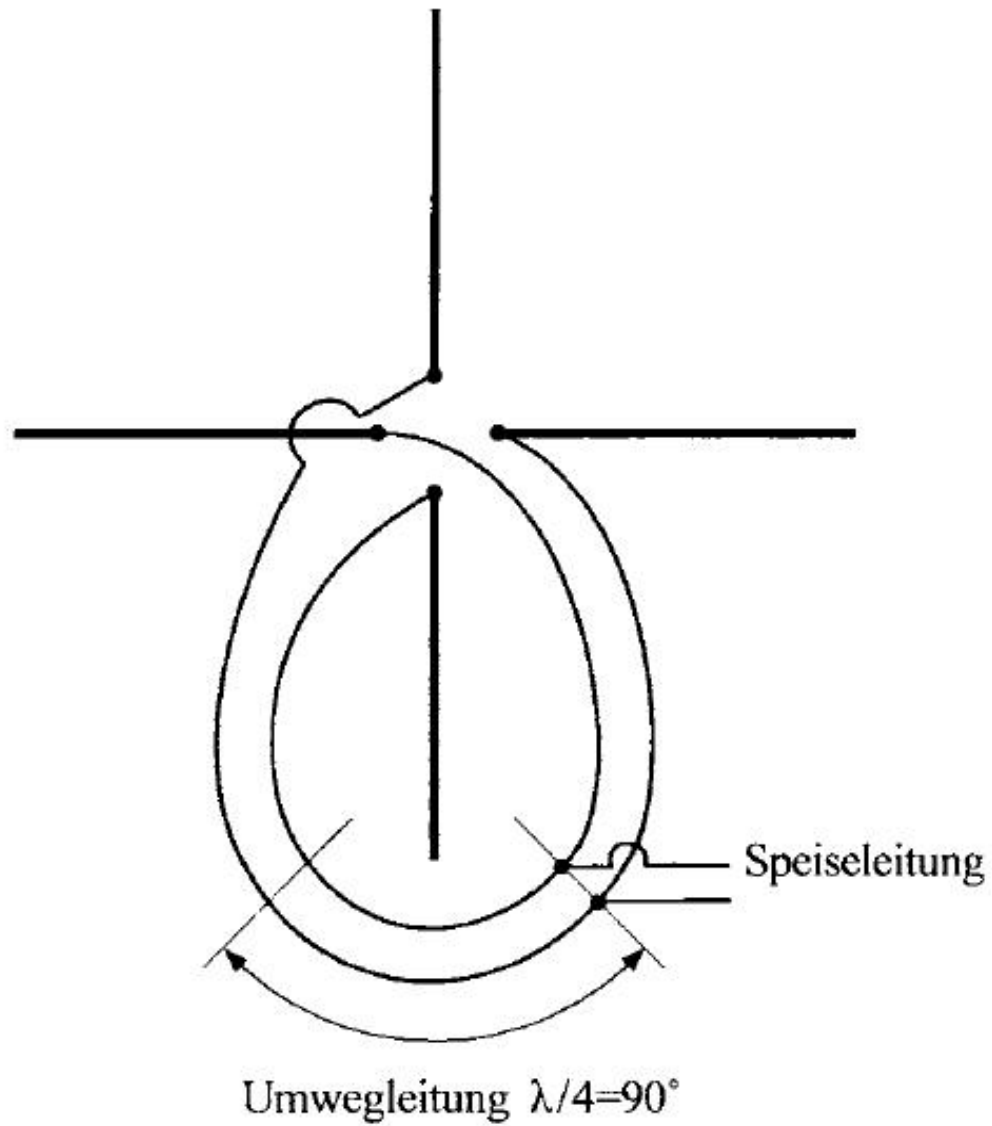
Lösung 65.



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

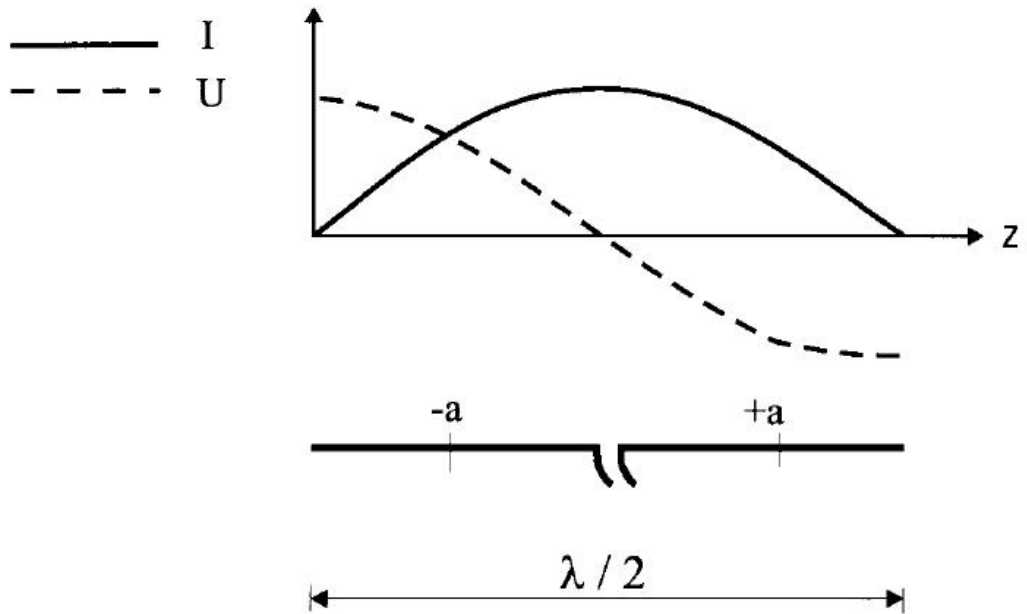
- Feldstärke (im Fernfeld) zur Feldstärke der Vergleichsantenne bei gleicher Leistung am Eingang.
- Einsparung an verfügbarer Leistung für die Versuchsentenne gegenüber Vergleichsantenne bei gleicher Fernfeldstärke

Lösung 66.



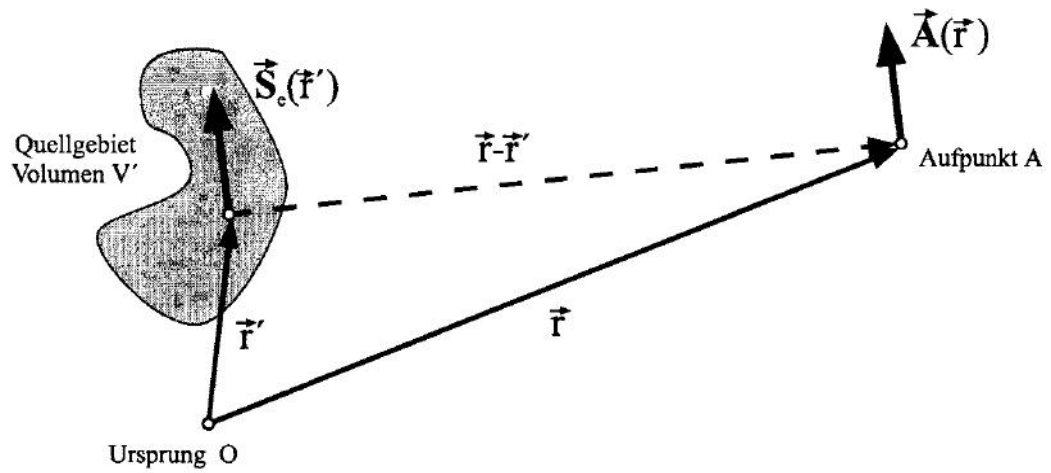
Zwei Dipole um 90° gegeneinander verdreht. Die Speiseleitung eines Dipols ist um $\lambda/4$ länger. Dadurch ergibt sich eine Phasenverschiebung um 90° , und eine Drehpolarisation.

Lösung 67.



Lösung 68.

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



12 Wellen im freien Raum

Lösung 69.

$$\sigma = G_{iso} \cdot A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A^2 \quad (12.0.1)$$

Lösung 70.

13 Mehrwegeausbreitung

Lösung 71.

Geraten: Dass die erste Fresnelzone frei ist.

$$r = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}} \quad (13.0.1)$$

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 vorallem 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.

$$MEG = \int_{4\pi} G(\vartheta, \varphi) p(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (13.0.2)$$

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, Inter-symbolinterferenz (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.