

TU WIEN

WELLENAUSBREITUNG

VU-389.064

Prüfungen

Mündlich

Angaben

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
	Wellenausbreitung 1.	6
2	Maxwell Theorie	7
	Maxwell Gleichungen 2.	7
	Modale Lösung 3.	8
	Sprungbedingungen 4.	9
	Effektive Ladungsfreiheit 5.	10
	Rotorgleichungen 6.	11
	Poynting-Satz 7.	12
	Kontinuitätsgleichung 8.	13
	1-Dimensionale Wellengleichung 9.	14
	Stehende welle 10.	15
3	Die homogene ebene Welle (HEW)	16
	Homogene Ebene Welle 11.	16
	Polarisation 12.	17
	Depolarisation 13.	18
4	Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung	19
	Leitungswellenwiderstand 14.	19
	Wellenimpedanz 15.	20
	Brewster Winkel 16.	21
	Reflexion und Beugung 17.	22
	Parallelplatten 18.	23
	TEM-Welle 19.	24
	Totalreflexion 20.	25
	Kurschluss auf Parallelplattenleitung 21.	26
5	Die Oberflächenwelle	27
	Skin Effekt und Oberflächenwiderstand 22.	27
	Power Loss Methode 23.	28

6	Rechteckhohlleiter und Resonatoren	29
	Hohlleiter 24.	29
	Power Loss Methode 25.	30
	Geschwindigkeit 26.	31
	Hohlraumresonator 27.	32
	Rechteckhohlleiter 28.	33
7	Koaxialleitungen	34
	Koaxialleitung 29.	34
8	Dielektrische Wellenleiter	35
	Dielektrischer wellenleiter 30.	35
9	Streifenleitung	36
	Streifenleitung 31.	36
	Verluste in einer Microstripleitung 32.	37
	Ausbreitungsfähigkeit 33.	38
	Vergleich 34.	39
	Methode 35.	40
10	Wellen und Hindernisse	41
	Fresnelzone 36.	41
	Übertragung 37.	42
	Freiraumausbreitung 38.	43
11	Antennen	44
	Vektorpotential 39.	44
	Rayleigh Distanz 40.	45
	Herzscher Dipol 41.	46
	Direktivität 42.	47
	Eigenschaften 43.	48
	Eingangsimpedanz 44.	49
	EIRP 45.	50
	Bandbreite 46.	51
	Parabolantenne 47.	52

Zirkular polarisiert 48.	53
Drehkreuzantennen 49.	54
Abgestimmte Antennen 50.	55
Wendelantenne 51.	56
Breitband Antennen 52.	57
Sendeanlage 53.	58
VSWR 54.	59
Zirkularpolarisierte Antenne 55.	60
Richtdiagramm 56.	61
12 Wellen im freien Raum	62
Richtfunk 57.	62
Pegelplan 58.	63
Radar 59.	64
Funkfeld und Freiraumantenne 60.	65
13 Mehrwegeausbreitung	66
Zweiwegeausbreitung 61.	66
(N)LOS 62.	67
Fading 63.	68
Schwund 64.	69
Mehrwege 65.	70
Wellenausbreitung 66.	71

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

Wellenausbreitung 1.

Unterschiede zw. Wellenausbreitung auf Leitungen und im Freiraum, insbesondere Zusammenhang zwischen Dämpfung und Entfernung.

Hinweis:

Tabelle auf Seite 9

2 Maxwell Theorie

Maxwell Gleichungen 2.

Maxwellsche Gleichungen in differentieller und integraler Form anschreiben.
Welches Glied ist das neueste Glied und gleichzeitig der Verdienst von Maxwell?

Modale Lösung 3.

Was sind die modalen Lösungen? Worauf waren unsere Ansätze angepasst?
Welche Gefahren gibt es? Was will man haben? Welche Voraussetzungen
haben wir getroffen? Gilt sie auch bei TEM-Wellen?

Sprungbedingungen 4.

Die Sprungbedingungen für das elektrische Feld über die Maxwell Gleichungen herleiten.

Effektive Ladungsfreiheit 5.

Effektive Ladungsfreiheit - lokales ohmsches Gesetz auf Kontinuitätsgleichung (Satz vom Elektrischen Hüllenfluss) Anwenden und die dielektrische Relaxationszeit herleiten.

Rotorgleichungen 6.

Leiten Sie aus den Rotorgleichungen durch Elimination eine verallgemeinerte Gleichung für Wellen mit Verlusten her.

Poynting-Satz 7.

Herleitung des Poynting'sche Satz mit Zwischenfragen warum man das oder jenes mathematisch so machen darf usw.

Kontinuitätsgleichung 8.

Was hat die Kontinuitätsgleichung mit der 1. Maxwellgleichung zu tun? Leiten Sie aus der Maxwellgleichung die Kontinuitätsgleichung her.

1-Dimensionale Wellengleichung 9.

1-Dimensionale Wellengleichung anschreiben und erklären. Wie sieht die Wellengleichung selbst aus? Wie ist der Zusammenhang zwischen c_1 und c_2 aus dem Ansatz mit der Wellengleichung.

Stehende welle 10.

Was ist eine stehende Welle?

3 Die homogene ebene Welle (HEW)

Homogene Ebene Welle 11.

Was ist eine HEW? Erklären. Was wäre die erstbeste Näherung? Was die Zweitbeste?

Polarisation 12.

Polarisation: Welche Arten, Zeigerdarstellung örtlich und zeitlich, wie erzeugt man sie, welche Antennen, wieviel Freiheitsgrade hat man bei linearer / zirkularer Polarisation? Eine Skizze machen, und Linkszirkular einzeichnen. Dann noch erklären, wieso diese im Raum aber eine Rechtsschraube darstellt.

Depolarisation 13.

Depolarisationserscheinungen (Faradayeffekt)

4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung

Leitungswellenwiderstand 14.

Leitungswellenwiderstand $Z_{PV} = \eta d/w$ herleiten

Hinweis:

Seite 37

Wellenimpedanz 15.

Woraus setzt sich die Wellenimpedanz zusammen (woraus der Realteil (Ohmsche Verluste, Abstrahlung)? Was sagt der Imaginärteil davon aus (Im Feld gespeicherte Energie, sollte möglichst klein sein)?

Brewster Winkel 16.

Erklären Sie grob den Brewster-Winkel. Wie wird er mathematisch und geometrisch beschrieben?

Reflexion und Beugung 17.

Reflexion und Beugung

Parallelplatten 18.

Parallelplattenleitung: (Feldbild deutlich ausführlicher als im Skriptum drin ist) Moden (TEM, TE, TM), Feldbilder (TEM, TE, TM), Wellenlängen, Ausbreitungsgeschwindigkeit der Moden (auch mit Formeln!)

Feldbilder von TE, TM mathematisch ausdrücken.

Wie schauen die Feldbilder aus? (Das Koordinatensystem richtig zeichnen!)

Die Felder mit Vernachlässigung und ohne Vernachlässigung (Bedingung: $d \ll w$) der Streufelder hinzeichnen!

TEM-Welle 19.

Ist eine TEM Welle in einer Parallelplattenleitung Ausbreitungsfähig, wenn Sie mit einem Dielektrikum gefüllt wird?

Totalreflexion 20.

Wann tritt Totalreflexion auf? Wo wird sich das zunutze gemacht?

Kurschluss auf Parallelplattenleitung 21.

Was passiert, wenn ich die Parallelplattenleitung an beiden Ende kurzschließe?

5 Die Oberflächenwelle

Skin Effekt und Oberflächenwiderstand 22.

Skin-Effekt beschreiben: Was beschreibt dieser, Eindringtiefe, R_{\square} herleiten.

Power Loss Methode 23.

Leiten Sie die Formel für die Power Loss Methode her. Aus welchen Gründen errechnen sich die Verluste?

6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren

Hohlleiter 24.

Hohlleiter

Rechteckhohlleiter: Grundmodus, Felddbild aufzeichnen und erklären

Wie bestimmt man ausbreitungsfähige Wellen?

Welchen Ansatz ohne sich zu Tode zu rechnen und warum?

Verluste? Was ist die Power Loss Methode (in Worten)?

Hohlleiterwellenlänge: Skizze, Formeln und Erklärung. Wo wird er verwendet? Was sind seine Vorteile? Wie hoch schätzen Sie die Dämpfung in dem Hohlleiter?

Power Loss Methode 25.

die Power-loss Methode: erklären, wann und warum funktioniert diese, was wird mathematisch vernachlässigt?

Geschwindigkeit 26.

Verlauf Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit im Rechteckhohlleiter im Verhältnis zur Wellenlänge? Was ist ein Hohlleiter dann? Was passiert wenn $\lambda/\lambda_G > 1$ wird?

Hohlraumresonator 27.

Hohlraumresonator:

Feldbild, Resonanzfrequenz, Güte, wovon hängt die Güte ab und wie kann man die verbessern? Welches Material sollte der Leiter haben?

Wie bringt man die Welle in den Hohlraumresonator mit Antennen oder Leerschleifen? Wo muss man dann genau die Antenne platzieren?

Was sind die Anwendung des Hohlraumresonators?

Rechteckhohlleiter 28.

Das Feldbild des Grundmodus des Rechteckhohlleiters aufzeichnen. Wie nennt man Felder, welche keine Quellen besitzen? Wie wird der Rechteckhohlleiter angeregt? Wie wird ein Koaxialkabel an einem Rechteckhohlleiter angeschlossen? Was ist die cut-off Wellenlänge? Wie lauten die Ansätze? Wie die Separationsbedingungen? Wie geht man bei der Berechnung der Feldverteilung in einem Hohlleiter vor? Was sagt die Hohlleiterwellenlänge aus? Wie sieht die Formel und das Feldbild dazu aus?

7 Koaxialleitungen

Koaxialleitung 29.

Wie ist eine Koaxialleitung aufgebaut? Zeichnen Sie das Felddbild. Was sind die wesentlichen Parameter? Wie sieht das Ersatzschaltbild aus. Welche Größen treten auf, leiten Sie eine her. Wie kommt man von \mathbb{R}_{\square} auf R' ?

8 Dielektrische Wellenleiter

Dielektrischer wellenleiter 30.

Dielektrischer Wellenleiter allgemein

9 Streifenleitung

Streifenleitung 31.

Beschreiben Sie allgemein die Streifenleitung. Was sind die Vorteile? Was versteht man unter dem Füllfaktor? Wie sieht die Feldverteilung bei der Mikrostreifenleitung aus? (Randbedingungen genau zeichnen) Wie dimensionieren Sie die Abmessungen? Welche Probleme ergeben sich bei einem rechten Winkel der Leiterbahn?

Zeichne eine erdungssymmetrische offene Streifenleitung!

Verluste in einer Microstripleitung 32.

Wie ergeben sich die ohmschen und dielektrischen Verluste? Wie hängen diese von der Frequenz ab?

Ausbreitungsfähigkeit 33.

Ist eine TEM-Welle ausbreitungsfähig? Welche Wellen können sich sonst noch ausbreiten? Was bedeutet Quasi-TEM? Wo wird die Energie primär transportiert?

Vergleich 34.

Vergleiche die Mikrostripleitung mit Hohlleiter- oder Koaxleitung.

Methode 35.

Wie wird bei der Dimensionierung einer Mikrostripleitung vorgegangen? Schreiben Sie alle Formeln dazu auf.

10 Wellen und Hindernisse

Fresnelzone 36.

Erstellen Sie eine Skizze. Leiten Sie die erste Fresnelzone her.

Übertragung 37.

Für welche Art der Funkübertragung ist die Fresnelzone relevant?

Freiraumausbreitung 38.

Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit von einer Freiraumausbreitung geredet werden darf?

11 Antennen

Vektorpotential 39.

Was ist das Vektorpotential?: Leiten Sie die Helmholtzgleichung her. Berechnung des Vektorpotentials bei eingprägter Stromdichte (Bild mit Kartoffel-Antenne) Was stellt die e-Potenz im Integral dar?

Rayleigh Distanz 40.

Leiten Sie die Rayleigh Distanz her. Was ist das Fernfeld und Nahfeld? Wo liegt der Unterschied? Was repräsentieren die einzelnen Terme?

Herzscher Dipol 41.

Was ist der Herzscher Dipol? Wie ist er zu realisieren? Wie ist der Antennenwiderstand definiert?

Direktivität 42.

Direktivität, äquivalenter Raumwinkel

Eigenschaften 43.

Welche Parameter charakterisieren eine Antenne? Beschreiben Sie eine Antenne anhand dieser Parameter genauer. Welche Kenngrößen würden Sie in einem Prospekt für eine von Ihnen gebaute Antenne angeben?

Eingangsimpedanz 44.

Was ist die Eingangsimpedanz einer Antenne? Zeichnen Sie eine Skizze und erklären Sie die Formeln.

EIRP 45.

Was bedeutet EIRP/ERP? Geben Sie die Formeln an und zeichnen Sie eine Skizze.

Bandbreite 46.

Die Bandbreite einer Antenne?

Parabolantenne 47.

Parabolantenne erklären, Antennengewinn, eff. Antennenfläche, Poynting

Zirkular polarisiert 48.

Welche Antennen erzeugen Zirkular polarisierte Signale? Woraus setzt sich die Wellenimpedanz zusammen? Was sagt der Real und Imaginärteil aus? Wieviel Freiheitsgrade hat man bei zirkularer Polarisierung?

Drehkreuzantennen 49.

Drehkreuzantennen

Abgestimmte Antennen 50.

Was sind abgestimmte Antennen? Wie werden sie gespeist? Über welche Bandbreite verfügt die Antenne?

Wendelantenne 51.

Erklären Sie die prinzipielle Funktionsweise einer Wendelantenne ohne näher auf die Formeln einzugehen. In welche Richtung sendet die Antenne, wenn Sie lang ist?

Breitband Antennen 52.

Wie ist eine breitband Antenne definiert?

Sendeanlage 53.

Sendeanlage (mit Generator, Leitung und Antenne) mit Anpassung der Leitung, Reflexion, stehende Welle

VSWR 54.

Was bedeutet VSWR? Was ist die Welligkeit?

Zirkularpolarisierte Antenne 55.

Wenn man eine rechtszirkularpolarisierende Antenne zum Senden verwendet, welche Polarisation muss die Empfangsantenne haben?

Richtdiagramm 56.

Was ist das Richtdiagramm? Wie bezeichnet man die Ebenen im Richtdiagramm? Zeichnen Sie ein Richtdiagramm von einem Hertz'schen Dipol auf.

12 Wellen im freien Raum

Richtfunk 57.

Alles zum Richtfunk: Fresnellsches Ellipsoid (Formeln), Verwendete Antennen, etc.

Pegelplan 58.

Pegelplan: tabellarisch und graphisch, verschiedene Faktoren erklären, insbesondere das Rauschen und die Streckendämpfung

Radar 59.

Radar (nur ganz allgemein, Sigma definieren, wie ist Gewinn einer flächenhaften Antenne ermittelbar) Leiten Sie die Formel her. Welche Proportionalität gibt es mit der Entfernung?

Funkfeld und Freiraumantenne 60.

Die Empfangsleistung soll zu einer skizzierten Versuchsanordnung soll bestimmt werden. Alle nötigen Formeln dazu anschreiben und die Leistung P_E ausdrücken. Warum ist P_E zu λ^2 proportional? Wie erklären Sie dieses Paradoxon?

13 Mehrwegeausbreitung

Zweiwegeausbreitung 61.

Zweiwegeausbreitung mit Formel der Übertragungsfunktion und Verlauf über der Frequenz.

(N)LOS 62.

Verteilungen bei NLOS, LOS

Fading 63.

Was ist Fading? Wo ist der Unterschied zwischen Orts und Frequenzabhängigem Fading?

Schwund 64.

Wie entsteht Schwund? Wo liegt der Unterschied zwischen groß- und kleinräumigem Schwund? Was ist die Rayleighverteilung? Was versteht man unter der Wahrscheinlichkeitsdichte? Was bedeutet Abschattung?

Mehrwege 65.

Erklären Sie die Mehrwegeausbreitung allgemein.

Wellenausbreitung 66.

Wie findet die Wellenausbreitung im Mobilfunk statt?