

TU WIEN

ELEKTRODYNAMIK

VU 351.019

WS 2016

Aufgabensammlung

Lizenz:

GNU GPLv3

19. Januar 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
1.1	Analytische Werkzeug	5
	Koordinatensysteme 1.	5
	Orientierungen 2.	5
	Räumliche Ableitung 3.	5
	Richtungsableitung von Tensoren 4.	6
2	Elektromagnetische Felder	6
2.1	Globale und Lokale Eigenschaften	6
	Maxwell Gleichungen 5.	6
	Strom-Ladungsfeld 6.	6
2.2	Die Feldgleichungen in Sonderfällen	6
	Stromdichte 7.	6
	Bewegtes System 8.	7
	Einfache Materialgleichungen 9.	7
	Mikroskopischer Ursprung von elektrischer und magnetischer Pole- risation 10.	7
	Polarisation und Magnetisierung 11.	7
2.3	Energie und Impuls	8
	Energiebilanz in der Feldphysik 12.	8
	Impulsbilanz 13.	8
	Poynting Satz 14.	8
	Poynting Vektor 15.	9
	Maxwell Spannungstensor 16.	9
3	Statische und Stationäre Felder	9
3.1	Elektrostatik und Quasi-Elektrostatik	9
	Dominant Elektrisch 17.	9
	Elektrostatik 18.	9
	Poisson und Laplace 19.	10
	Randwertprobleme 20.	10
	Elektrostatisches Skalarpotential 21.	10
	Elektrostatisches Vektorpotential 22.	10

3.2	Spezielle elektrostatische Felder	11
	Holomorphe Funktionen 23.	11
	Laplacelösung mittels Separationsansatz 24.	11
3.3	Relaxion und Konvektion elektrischer Ladungen	11
	Relaxion und Konvektion 25.	11
3.4	Stationäre Magnetfelder	12
	Dominant Magnetisch 26.	12
	Stationäre Ebene magnetische Felder 27.	12
3.5	Spezielle stationäre Magnetfelder	12
4	Induktionserscheinungen	12
4.1	Quasistationäre Felder	12
	Bullard Gleichung 28.	12
4.2	Diffusion magnetischer Felder	13
	Diffusion magnetischer Felder 29.	13
5	Elektromagnetische Wellen	13
5.1	Grundgleichungen und Potentiale	13
	Elektrodynamische Potentiale 30.	13
	Hertzdipol 31.	13
	Inhomogene Wellengleichung 32.	13
	Wellengleichung 33.	14
5.2	Typen von Wellen	14
	Moden von Wellen 34.	14
	Polarisation von Wellen 2 35.	14
	Polarisation von Wellen 36.	14
	Sinuswelle 37.	15
	Typen von Wellen 38.	15
	TEM-Wellen 39.	15
	Wellenausbreitungsphänomene 40.	15
5.3	Wellen auf Doppelleitungen	16
	Standardmodell für Verlustbehaftete Doppelleiter 41.	16
	Randbedingungen in Hohlleiter 42.	16
	Leitungsgleichungen 43.	16

Leitungstheorie 44.	16
Verlustfreie Doppelleitung 45.	17

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/VU-351.019-Elektrodynamik/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 https://github.com/Painkilla/VU-351.019-Elektrodynamik.git
```

erstellst du eine lokale Kopie des Repositorium. Du kannst dann die Dateien mit einem \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 Einführung

1.1 Analytische Werkzeug

Koordinatensysteme 1.

Was sind Koordinatensysteme? Wie definiert man Sie? Gehen Sie speziell auf Kugelkoordinatensysteme ein. Leiten Sie die Definition für die Koordinatenbasis her. Welche geometrischen gebilde erhält man, wenn der Winkel α , θ oder der Radius r konstant ist? Wie wird der Ortsvektor dargestellt?

Hinweis:

Lösung 1.

Orientierungen 2.

Warum sind Ränder konsistent orientiert? Was ist ein konsistenter Bereich? Was passiert bei einem Loch in der Fläche? Warum unterscheidet man zwischen inneren und äußeren Orientierung? Was ist die innere Orientierung eines Punktes?

Hinweis:

Buch Seite 11

Lösung 2.

Räumliche Ableitung 3.

Was ist eine Räumliche Ableitung? Was ist ein Gradient, die Divergenz und Rotation? Was ist die Richtungsableitung eines Tensorfeldes? Was sind die Sätze von Gauß und Stokes? Wie ist Nabla einzuführen? Was ist die Grundlegende Idee dahinter?

Hinweis:

Lösung 3.

Dispersion durch Abstimmen des Induktivitätsbelages kann Sie beseitigt werden; Fourierzerlegung- unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten

Richtungsableitung von Tensoren 4.

Gradient von Tensoren

Hinweis:

Buch Seite 17

Lösung 4.

2 Elektromagnetische Felder

2.1 Globale und Lokale Eigenschaften

Maxwell Gleichungen 5.

Schreiben Sie die globale und die lokale Form, sowie die Integraldarstellung der Maxwell Gleichungen an. Welche mathematischen Voraussetzungen gibt es für die Sprungbedingungen? Welche Vereinfachungen gibt es im Quasi-Elektrostatik und in der Quasistationären Magnetfeldverteilung? Was sagt der Satz von Gauß?

Hinweis:

Lösung 5.

Strom-Ladungsfeld 6.

Welche 4 Verteilungen gehören zum Stromladungsfeld? Wie lauten die allgemeinen und die speziellen Eigenschaften? Was versteht man unter Stromverteilung? Was versteht man unter Ladungsverteilung? Was versteht man unter elektrischer Flussverteilung?

Hinweis:

Lösung 6.

2.2 Die Feldgleichungen in Sonderfällen

Stromdichte 7.

Was ist die Konvektions und die Konduktionsstromdichte? Wozu brauche ich die Gallilei und Lorentz transformation? Wo liegt die Anwendung?

Hinweis:

Lösung 7.

Bewegtes System 8.

Wie rechnet man die Feldgrößen zwischen einem Labor und einem bewegtem Inertialsystem um, für den Fall das $v \ll c_0$? Wozu braucht man die Umrechnung? Leiten Sie die Gleichungen her. Wie transformieren sich die Feldgrößen bei konstanter Geschwindigkeit?

Hinweis:

Buch Seite 39

Lösung 8.

Einfache Materialgleichungen 9.

Wie sehen die Materialgleichungen bei isotropen, anisotropen, linearen, nicht linearen, homogenen, nicht homogenen Materialien aus? Was ist die Magnetische Suszeptibilität? Was für Kenngrößen gibt es? Warum wird ein Tensor 2.Stufe bei anisotropen Materialien benötigt? Wann ist ein Körper nicht polarisierbar?

Hinweis:

Lösung 9.

Mikroskopischer Ursprung von elektrischer und magnetischer Polarisation 10.

Einheiten des Dipolmoments und Polarisation. Wie kann man sich das Vorstellen? Was ist statische Mittelung?

Hinweis:

Lösung 10.

Polarisation und Magnetisierung 11.

Welche Einheiten haben die Variablen? Was ist ein magnetischer Dipol? Wie sehen die Gleichungen im Mikroskopischen Fall aus?

Hinweis:

Lösung 11.

2.3 Energie und Impuls

Energiebillanz in der Feldphysik 12.

Schreiben Sie die Globale und Lokale form der Energiebillanz auf. Wann ist die Bilanzgleichung eine Erhaltungsgleichung? Was sind vollständige Systeme? Wie wird in Teilsysteme aufgespaltet? Wie kommt man von der Globalen auf die Lokale Form? Welche Vorraussetzungen müssen dafür erfüllt sein?

Hinweis:

Buch Seite 50

Lösung 12.

Impulsbillanz 13.

Schreiben Sie die Globale und Lokale form der Impulsbillanz auf. Wann ist die Bilanzgleichung eine Erhaltungsgleichung? Was sind vollständige Systeme? Wie wird in Teilsysteme aufgespaltet? Wie kommt man von der Globalen auf die Lokale Form? Welche Vorraussetzungen müssen dafür erfüllt sein?

Hinweis:

Buch Seite 50

Lösung 13.

Poynting Satz 14.

Leiten Sie alleine aus den Maxwellrotorgleichungen den Poyntingsatz her. Stellen Sie dann diese Identität als Integral dar. Wie sind die Terme zu interpretieren? Was sind die Joule-Verluste?

Hinweis:

Buch Seite 50

Lösung 14.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\partial_t \vec{B} \quad (2.3.1)$$

Poynting Vektor 15.

Wie wird der Poyntingvektor eingeführt? Wozu wird er benötigt? Wann kann man ihn als Energieflussdichte bezeichnen? Was wird aus dem Poyntingsatz gewonnen? Welche Voraussetzungen sind dafür notwendig? Was ist eine Bilanzgleichung? Warum ist auf der rechten Seite ein Minus?

Hinweis:

Lösung 15.**Maxwell Spannungstensor 16.**

Was ist der Maxwell Spannungstensor? Erklären Sie ihn anschaulich und interpretieren Sie ihn.

Hinweis:

Buch Seite 56

Lösung 16.

3 Statische und Stationäre Felder

3.1 Elektrostatik und Quasi-Elektrostatik

Dominant Elektrisch 17.

Welche Grundgleichungen gibt es im dominant elektrischen Feldsystem? Wo sind die Anwendungsbereiche?

Hinweis:

Lösung 17.**Elektrostatik 18.**

Erklären Sie allgemein die Behandlung von Randwertproblemen mit und ohne Raumladungen in der Elektrostatik. Was ist das Vektorpotential? Wie kommt man dazu? Welche Bedingungen müssen erfüllt sein? Welche Bedeutung hat es für ebene Probleme?

Hinweis:

Lösung 18.

Poission und Laplace 19.

Wie kommt man zu der Poission und Laplace Gleichung? Wie sieht die Grundlösung des Laplaceoperators aus? Was ist der Charakter dieser Gleichung? Wie sieht die Lösung der Poissiongleichung allgemein im 3 Dimensionalen kartesischen Koordinaten aus?

Hinweis:

Buch Seite 63,97

Lösung 19.

Randwertprobleme 20.

Wie lautet die Definition für die Randwertprobleme? Welche Art von Problemen gibt es? Wie sieht die allgemeine Lösung und die Poission Lösung in kartesischen Koordinaten aus?

Hinweis:

Buch Seite 68

Lösung 20.

Elektrostatisches Skalarpotential 21.

Wie und unter welchen Voraussetzungen kann man ein Skalarpotential einführen?

Hinweis:

Lösung 21.

Elektrostatisches Vektorpotential 22.

Welche Voraussetzungen sind Notwendig um $\vec{D} = \vec{\nabla} \times \vec{V}$ schreiben zu können? Wie wird es Definiert? Wo liegt seine Anwendung? Was bedeutet es für ebene elektrostatische Felder?

Hinweis:

Buch Seite 79

Lösung 22.

3.2 Spezielle elektrostatische Felder

Holomorphe Funktionen 23.

Was sind Holomorphe Funktionen? Wie sind Sie Definiert? Wo finden Sie Ihre Anwendung? Was ist die Cauchy-Rieman Differentialgleichung? Was ist eine konforme Abbildung?

Hinweis:

Lösung 23.

Laplacelösung mittels Separationsansatz 24.

Wie lässt sich die Lösung der Laplacegleichung mittels Separationsansatz entwickeln? Laplacegleichung in ebenen Polarkoordinaten/kartesische Koordinaten Wie sieht 3 dimensionale Laplacegleichung in kartesischen Koordinaten aus? Kann es sein, dass alle 3 Koordinaten aus $c \cdot e^x$ bestehen? Lösung 2 dimensional in Kreis-zylinderkoordinaten?

Hinweis:

Buch Seite 73,76

Lösung 24.

3.3 Relaxion und Konvektion elektrischer Ladungen

Relaxion und Konvektion 25.

Leiten Sie die Formel dazu her ohne Konvektion und interpretieren Sie die Gleichung. Von welchen Grundgleichungen geht man aus? Warum nimmt man wegen der Feldberechnung dominant magnetische Feldsysteme an? Ist eine Bewegung möglich? Geben Sie ein Beispiel für einen elliptischen Typus. Was beschreibt die Reynoldszahl im Zusammenhang mit Relaxion elektrischer Ladung? Was für eine Einheit hat sie?

Hinweis:

Buch Seite 88

Lösung 25.

3.4 Stationäre Magnetfelder

Dominant Magnetisch 26.

Welche Grundgleichungen gibt es im dominant magnetischen Feldsystem? Wo sind die Anwendungsbereiche?

Hinweis:

Lösung 26.

Stationäre Ebene magnetische Felder 27.

Wann ist ein Stationäres Magnetfeld eben? Wie führt man das magnetische Vektorpotential ein? Welche Eigenschaften hat das Vektorpotential? Welche Grundgleichungen werden benötigt? Was ist die Maxwellgleichung? Welche Bedingung muss \vec{A} bei ideal permeablen Körpern haben? Formulierung von Randwertproblemen. Wie liegt die elektrische Stromdichte? Aufgrund welcher Grundlage kann man das magnetische Skalarpotential einführen? Welche Eigenschaften hat das Skalarpotential?

Hinweis:

Buch Seite 123

Lösung 27.

3.5 Spezielle stationäre Magnetfelder

4 Induktionserscheinungen

4.1 Quasistationäre Felder

Bullard Gleichung 28.

Leiten Sie die Bullardgleichung aus den Grundgleichungen her. Was ist die Induktionszeitkonstante? Was für eine Einheit hat Sie?

Hinweis:

Buch Seite 111

Lösung 28.

4.2 Diffusion magnetischer Felder

Diffusion magnetischer Felder 29.

Wie sieht die Flussverteilung und die Stromverteilung aus, bei Sinusförmigem und Sprungförmigen Eingang?

Hinweis:

Buch Seite 112

Lösung 29.

5 Elektromagnetische Wellen

5.1 Grundgleichungen und Potentiale

Elektrodynamische Potentiale 30.

Wie und auf welcher Grundlage kann man Elektrodynamische Potentiale einführen? Was bedeutet Eichung? Was ist die Eichtransformation? Wie sieht Sie aus? Was ist der Unterschied zwischen Maxwell und Lorentz Eichung? Warum nennt man die Maxwelleichung auch Coulumb Eichung?

Hinweis:

Lösung 30.

Hertzdipol 31.

Zeigen Sie, dass der Hertzdipol Energie abstrahlt.

Hinweis:

Buch Seite 128

Lösung 31.

Inhomogene Wellengleichung 32.

Was ist der D´Alambert Operator? Wie sieht die partikuläre Lösung dazu aus? Wie sieht die Grundlösung aus? Was versteht man unter Kausalität und Retardierung?

Hinweis:

Lösung 32.

Wellengleichung 33.

Wie kommt in der Elektrodynamik eine Wellengleichung zustande? Wie lautet die einfache Wellengleichung? Unter welchen Voraussetzungen liefert die elektrische Feldstärke eine Wellengleichung?

Hinweis:

Lösung 33.

5.2 Typen von Wellen

Moden von Wellen 34.

Was sind Moden von Wellen?

Hinweis:

Buch Seite 135

Lösung 34.

Polarisation von Wellen 35.

Welche Arten von Polarisation gibt es? Stellen Sie die Gleichungen dazu dar.

Hinweis:

Buch Seite 131

Lösung 35.

Polarisation von Wellen 36.

Welche Arten von Polarisation bei Wellen gibt es? Durch welche Gleichungen werden Sie bestimmt? Wie sieht das Vektorfeld einer ebenen Sinuswelle aus? Wie ist die Gruppen- und Phasengeschwindigkeit definiert? Was sind Phasenebenen?

Hinweis:

Buch Seite 135

Lösung 36.

Linear, zirkular, elliptisch

Sinuswelle 37.

Wie stellt man ebene Sinuswellen dar?

Hinweis:

Lösung 37.**Typen von Wellen 38.**

Welche Typen von Wellen gibt es? Was muss erfüllt sein, um eine TEM Welle über zylindrische Struktur zu führen? Warum gibt es eine untere Grenzfrequenz?

Hinweis:

Lösung 38.

Es gibt freie Wellen und geführte Wellen. Es gibt eine untere Grenzfrequenz, weil nur oberhalb von dieser EM-Wellen angeregt werden können.

TEM-Wellen 39.

Welche Voraussetzung müssen gegeben sein? Wann entsteht Dispersion? Warum sind Sie durch Leitungsgleichungen berechenbar? Bedingung damit man entlang einer zyklischen Struktur TEM Wellen haben kann?

Hinweis:

Buch Seite 139

Lösung 39.**Wellenausbreitungsphänomene 40.**

Welche arten von Wellenausbreitungen gibt es? Wie werden sie dargesetellt?

Hinweis:

Lösung 40.

Longitudinale und transversale Wellen

5.3 Wellen auf Doppelleitungen

Standardmodell für Verlustbehaftete Doppelleiter 41.

Welche Parameter gibt es? Wie sieht die Ersatzschaltung aus? Wie sieht die Berücksichtigung von Verlusten im Vergleich zum verlustfreien Fall aus? Was ist der Unterschied zu verlustfreier Leitung? z.B. bei Impuls. Woher kommt Dispersion? Welche Wellentypen gibt es? Wie kommt man auf die Leitungsgleichungen? Was ist die allgemeine Lösung?

Hinweis:

Lösung 41.

Randbedingungen in Hohlleiter 42.

Ideal metallische Randbedingung bei Hohlleitern (Wellen) für Rand – Sprungbedingungen Wie kann man Eindringen verhindern?

Lösung 42.

Leitungsgleichungen 43.

Wie kommt man auf die Leitungsgleichungen? Wo ist der Unterschied bei verlustlosen und verlustbehafteten Leitungen? Wie sieht die Lösung für Hin und Rücklaufende Wellen aus? Wie kann eine Welle mit dem d'Almbert Operator dargestellt werden?

Hinweis:

Lösung 43.

Leitungstheorie 44.

Welche Voraussetzungen sind für die Leitungstheorie bei Doppelleitungen notwendig? Auf welchen Modus sind Sie beschränkt? Warum?

Hinweis:

Lösung 44.

Die Leitungstheorie ist auf TEM-Wellen beschränkt, da es sonst keine eindeutigen Werte von Spannung und Strom gibt.

Verlustfreie Doppelleitung 45.

Welche Typen von Wellen werden verwendet? Leiten Sie die Wellengleichungen her. Von welchem Wellentyp muss man ausgehen, um solch eine Ersatzschaltung zeichnen zu können? Was sind die resultierende Kenngrößen?

Hinweis:

Buch Seite 145

Lösung 45.