

Electromagnetic Field Theory I (EFT I) / Elektromagnetische Feldtheorie I (EFT I)

Dr.-Ing. René Marklein

marklein@uni-kassel.de

<http://www.tet.e-technik.uni-kassel.de>

<http://www.uni-kassel.de/fb16/tet/marklein/index.html>

Universität Kassel
FB 16 Elektrotechnik / Informatik
(FB 16)
FG Theoretische Elektrotechnik (FG TET)
Wilhelmshöher Allee 71
Büro: Raum 2113 / 2115
D-34121 Kassel

University of Kassel
Dept. Electrical Engineering / Computer Science
(FB 16)
Electromagnetic Theory (FG TET)
Wilhelmshöher Allee 71
Office: Room 2113 / 2115
D-34121 Kassel

Vorlesung (V) / Lecture (L)

Dr.-Ing. René Marklein

marklein@uni-kassel.de

<http://www.tet.e-technik.uni-kassel.de>

Übung (Ü) / Exercise (E)

Dipl.-Ing. Alexander Zimmer

zimmer@uni-kassel.de

<http://www.tet.e-technik.uni-kassel.de>

Universität Kassel
FB 16 Elektrotechnik / Informatik
(FB 16)
FG Theoretische Elektrotechnik (FG TET)
Wilhelmshöher Allee 71
Büro: Raum 2113 / 2115
D-34121 Kassel

University of Kassel
Dept. Electrical Engineering / Computer Science
(FB 16)
Electromagnetic Theory (FG TET)
Wilhelmshöher Allee 71
Office: Room 2113 / 2115
D-34121 Kassel

Andere Vorlesungen / Other Lectures

Dr.-Ing. René Marklein

✚ **Numerische Methoden in der Elektromagnetische Feldtheorie I & II /
Numerical Methods in Electromagnetic Field Theory I & II**

✚ **Praktikum: Numerische Methoden in der Elektromagnetische Feldtheorie I & II /
Practical Training: Numerical Methods of Electromagnetic Field Theory I & II**

Prof. Dr. rer. nat. Karl-Jörg Langenberg

✚ **Mathematical Foundation of Electromagnetic Field Theory I & II /
Mathematische Grundlagen der Elektromagnetischen Feldtheorie I & II**

Prof. Dr. rer. nat. Karl-Jörg Langenberg

Dr.-Ing. René Marklein

✚ **Inverse Problems and Imaging /
Inverse Probleme und Abbildungsverfahren**

Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

3

Rules for the Exam / Klausurbedingungen

Betrifft: **Geänderte Klausurbedingungen im Sommersemester 2002**

Beginnend mit der Prüfungsperiode im SS 2002 ist zu Klausuren des Fachgebietes
Theoretische Elektrotechnik als einziges Hilfsmittel nur noch eine

Handgeschriebene Formelsammlung

(1 Blatt, Vorder- und Rückseite dürfen beschrieben werden)
zugelassen. Die Formelsammlung wird am Ende der Klausur zusammen mit den
Klausurunterlagen abgegeben. Neben dieser Formelsammlung sind keine weiteren
Hilfsmittel zulässig, auch kein Taschenrechner.

Subject: **Changed rules for the exams in summer semester 2002**

Starting in SS 2002, all exams at the Chair of Electromagnetic Theory will be
closed book exams.

Except of a

handwritten collection of formulas,

(1 sheet, both sides may be used)

no other resources of help (e.g. pocket calculator) will be allowed. In the end of
the exam, the collection of formulas must be handed in with all other documents
concerning the exam.

Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

4

Maxwell's Equations of Electromagnetic Fields and Waves / Maxwell'sche Gleichungen elektromagnetischer Felder und Wellen

Maxwell's Equations / Maxwell'sche Gleichungen

Differential Form / Differentialform

$$\nabla \times \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) - \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \times \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) + \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

Integral Form / Integralform

$$\oint_{C=\partial S} \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{R}} = -\iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} - \iint_S \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}}$$

$$\oint_{C=\partial S} \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{R}} = \iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} + \iint_S \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}}$$

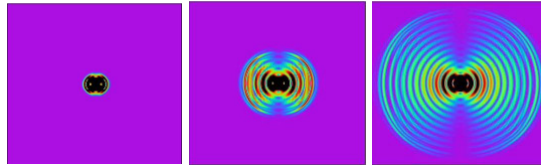
$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} = \iiint_V \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} = \iiint_V \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

Water Surface Waves / Wasseroberflächenwellen



Hertzian Dipole: EM Waves / Hertzscher Dipol: EM Wellen



Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

5

Maxwell's Equations of Electromagnetic Fields and Waves / Maxwell'sche Gleichungen elektromagnetischer Felder und Wellen

Maxwell's Equations / Maxwell'sche Gleichungen

Differential Form / Differentialform

$$\nabla \times \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) - \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \times \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) + \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

Integral Form / Integralform

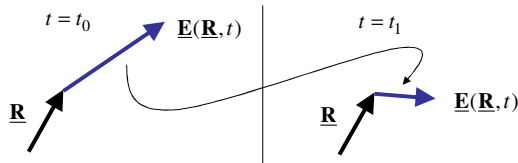
$$\oint_{C=\partial S} \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{R}} = -\iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} - \iint_S \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}}$$

$$\oint_{C=\partial S} \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{R}} = \iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} + \iint_S \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}}$$

$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} = \iiint_V \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} = \iiint_V \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

Electric Field Strength (Vector) / Elektrische Feldstärke (Vektor)



Time Point (Scalar) /
Zeitpunkt (Skalar) t

Position Vector /
Ortsvektor
(Positionsvektor) $\underline{\mathbf{R}}$

Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

6

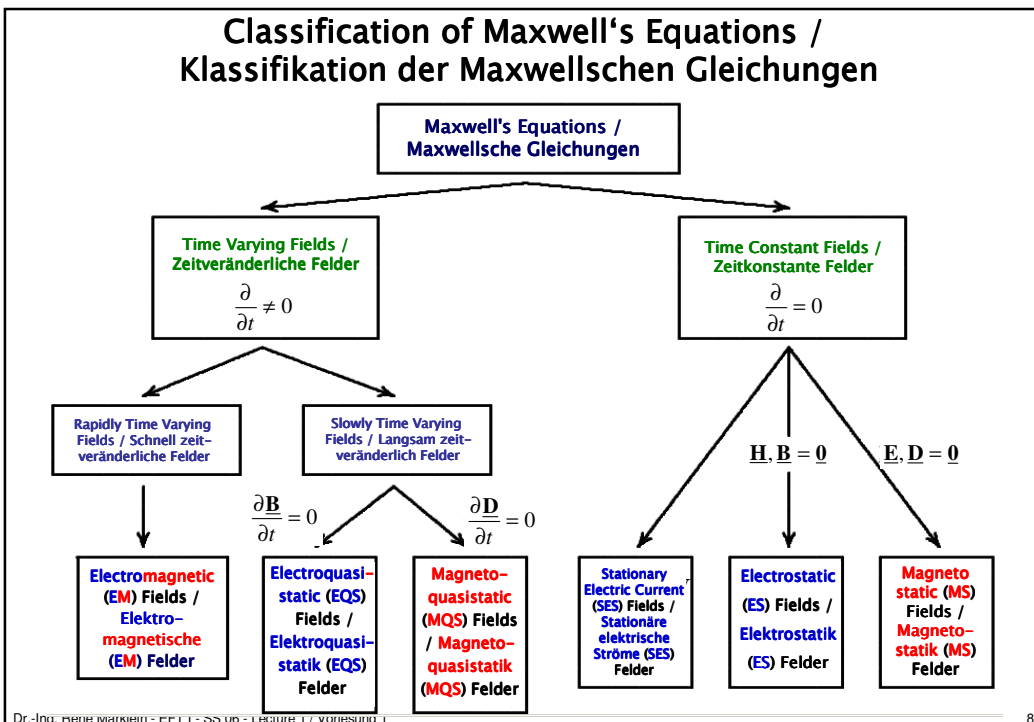
Governing Equations of Electromagnetic Fields and Waves / Grundgleichungen elektromagnetischer Felder und Wellen

Governing Equations in Differential Form / Grundgleichungen in Differentialform	Governing Equations in Integral Form / Grundgleichungen in Integralform
$\nabla \times \underline{E}(\underline{R}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \underline{B}(\underline{R}, t) - \underline{J}_m(\underline{R}, t)$ $\nabla \times \underline{H}(\underline{R}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \underline{D}(\underline{R}, t) + \underline{J}_c(\underline{R}, t)$ $\nabla \cdot \underline{D}(\underline{R}, t) = \rho_c(\underline{R}, t)$ $\nabla \cdot \underline{B}(\underline{R}, t) = \rho_m(\underline{R}, t)$	$\oint_{C=\partial S} \underline{E}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{R} = -\iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{B}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} - \iint_S \underline{J}_m(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S}$ $\oint_{C=\partial S} \underline{H}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{R} = \iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{D}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} + \iint_S \underline{J}_c(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S}$ $\oiint_{S=\partial V} \underline{D}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} = \iiint_V \rho_c(\underline{R}, t) dV$ $\oiint_{S=\partial V} \underline{B}(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} = \iiint_V \rho_m(\underline{R}, t) dV$
$\nabla \cdot \underline{J}_c(\underline{R}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_c(\underline{R}, t)$ $\nabla \cdot \underline{J}_m(\underline{R}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_m(\underline{R}, t)$	$\oiint_{S=\partial V} \underline{J}_c(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} = -\iiint_V \frac{\partial}{\partial t} \rho_c(\underline{R}, t) dV$ $\oiint_{S=\partial V} \underline{J}_m(\underline{R}, t) \cdot d\underline{S} = -\iiint_V \frac{\partial}{\partial t} \rho_m(\underline{R}, t) dV$

Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

7

Classification of Maxwell's Equations / Klassifikation der Maxwell'schen Gleichungen



Dr.-Ing. René Marklein - EFT I - SS 06 - Lecture 1 / Vorlesung 1

8

Electrostatic Fields: Applications /
Elektrostatische Felder: Anwendungen

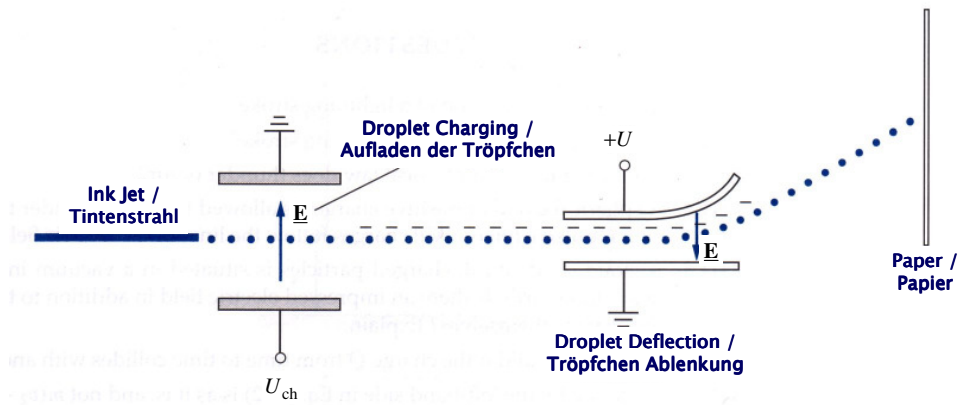


Figure: Basic Components of an Ink-Jet Printer /
Abbildung: Basiskomponenten eines Tintenstrahl Druckers

Electrostatic Fields: Applications /
Elektrostatische Felder: Anwendungen

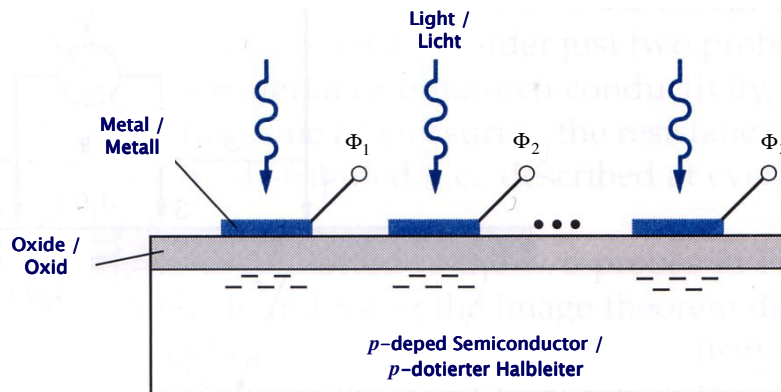


Figure: A CCD Camera Consists of an Array of MOS Capacitors /
Abbildung: Eine CCD-Kamera besteht aus einer Gruppe (Array) von MOS-Kondensatoren

Electromagnetic Field Quantities / Elektromagnetische Feldgrößen

$$\begin{aligned} \nabla \times \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) &= -\frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) - \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) & \nabla \cdot \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) &= \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \\ \nabla \times \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) &= \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) + \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) & \nabla \cdot \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) &= \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \end{aligned}$$

$\underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$	Electric Field Strength / Elektrische Feldstärke
$\underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$	Magnetic Field Strength / Magnetische Feldstärke
$\underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2} \right]$	Electric Flux Density / Elektrische Flussdichte
$\underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \right]$	Magnetic Flux Density / Magnetische Flussdichte
$\underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right]$	Electric Current Density / Elektrische Stromdichte
$\underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{V}}{\text{m}^2} \right]$	Magnetic Current Density / Magnetische Stromdichte
$\rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{As}}{\text{m}^3} \right]$	Electric Volume Charge Density / Elektrische Raumladungsdichte
$\rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$	$\left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^3} \right]$	Magnetic Volume Charge Density / Magnetische Raumladungsdichte

Notation and Field Quantities / Notation und Feldgrößen

Rank / Rang	Tensor of... / Tensor des...	Name / Name	Example / Beispiel	Symbol / Symbol	Notation / Schreibweise
$n = 0$	Zeroth Rank / nullten Ranges	Scalar / Skalar	Electric Potential / Elektrisches Potential	Φ_e	Roman with no Underline / Roman mit keinem Unterstrich
$n = 1$	First Rank / ersten Ranges	Vector / Vektor	Electric Field Strength / Elektrische Feldstärke	$\underline{\mathbf{E}} = E_i \underline{\mathbf{e}}_i$	Bold Face with one Underline / Fett mit einem Unterstrich
$n = 2$	Second Rank / zweiten Ranges	Dyad / Dyade	Electric Permittivity Tensor / Elektrischer Permittivitätstensor	$\underline{\underline{\boldsymbol{\varepsilon}}} = \varepsilon_{ij} \underline{\mathbf{e}}_i \underline{\mathbf{e}}_j$	Bold Face with two Underlines / Fett mit zwei Unterstrichen
$n = 3$	Third Rank / dritten Ranges	Triad / Triade	Piezoelectric Coupling Tensor / Piezoelektrischer Koppeltensor	$\underline{\underline{\underline{\boldsymbol{d}}}} = d_{ijk} \underline{\mathbf{e}}_i \underline{\mathbf{e}}_j \underline{\mathbf{e}}_k$	Bold Face with three Underlines / Fett mit drei Unterstrichen
$n = 4$	Fourth Rank / vierten Ranges	Tetrad / Tetrade	Elastic Stiffness Tensor / Elastischer Steifigkeitstensor	$\underline{\underline{\underline{\underline{\boldsymbol{c}}}}} = c_{ijkl} \underline{\mathbf{e}}_i \underline{\mathbf{e}}_j \underline{\mathbf{e}}_k \underline{\mathbf{e}}_l$	Bold Face with four Underlines / Fett mit vier Unterstrichen

**End of Lecture 1 /
Ende der 1. Vorlesung**