

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

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.

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

Maxwell's Equations / Maxwellsche 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

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

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

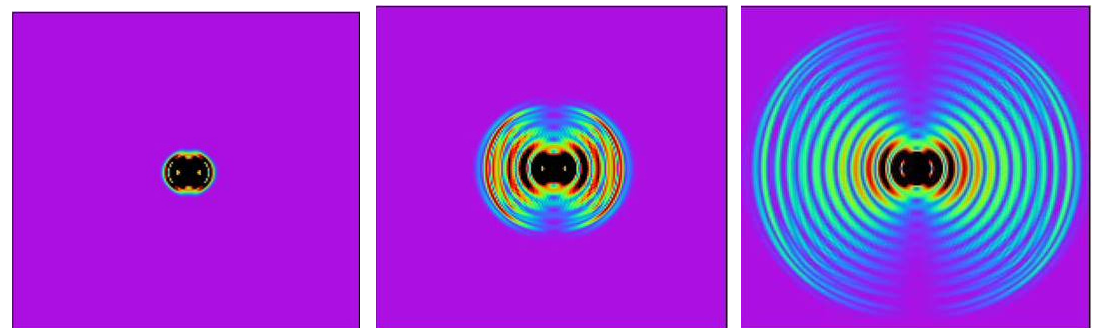
$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} = \iiint_V \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

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

Water Surface Waves / Wasseroberflächenwellen



Hertzian Dipole: EM Waves / Hertzscher Dipol: EM Wellen



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

Maxwell's Equations / Maxwellsche 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

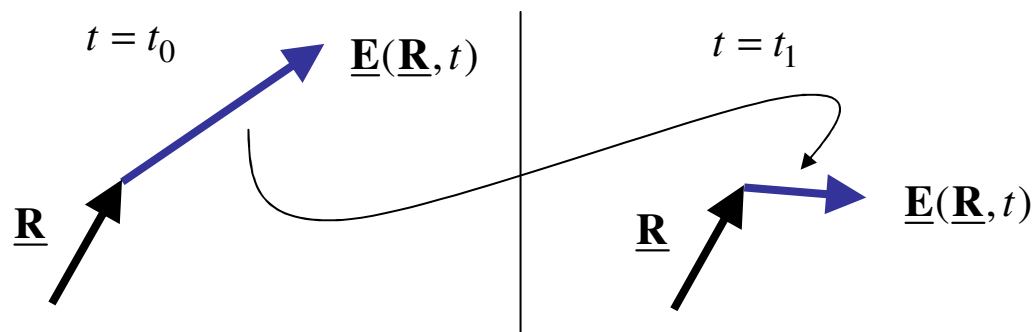
$$\oint_{C=\partial S} \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{R}} = -\iint_S \frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}} - \iint_S \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot d\underline{\mathbf{S}}$$

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

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

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

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



Time Point (Scalar) /
Zeitpunkt (Skalar) t

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

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

Governing Equations in Differential Form / Grundgleichungen in Differentialform

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

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

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

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

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

$$\nabla \cdot \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t)$$

Governing Equations in Integral Form / Grundgleichungen in Integralform

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

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

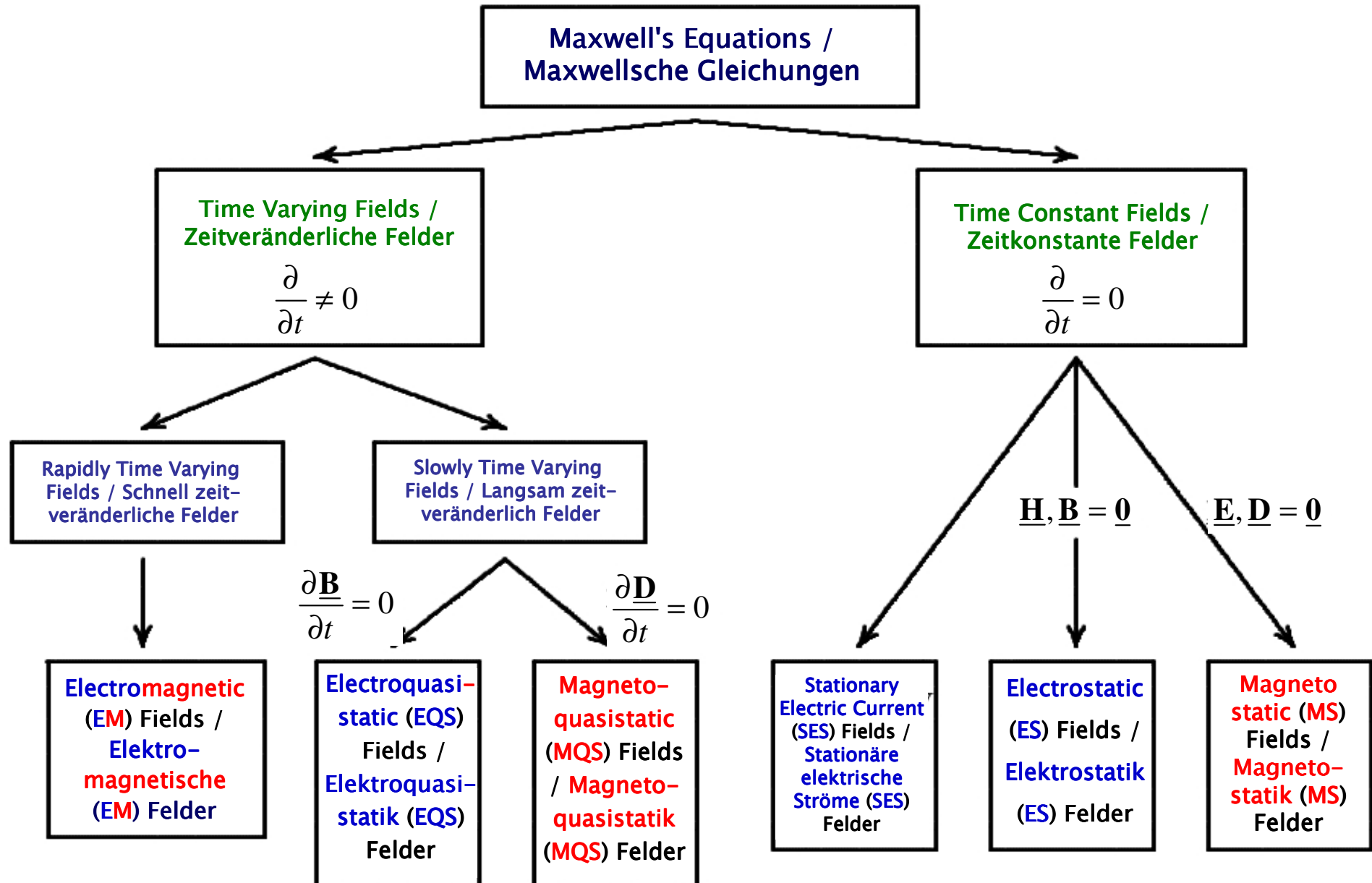
$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot \underline{\mathbf{dS}} = \iiint_V \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

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

$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot \underline{\mathbf{dS}} = -\iiint_V \frac{\partial}{\partial t} \rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

$$\oiint_{S=\partial V} \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \cdot \underline{\mathbf{dS}} = -\iiint_V \frac{\partial}{\partial t} \rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t) dV$$

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



Electrostatic Fields: Applications / Elektrostatische Felder: Anwendungen

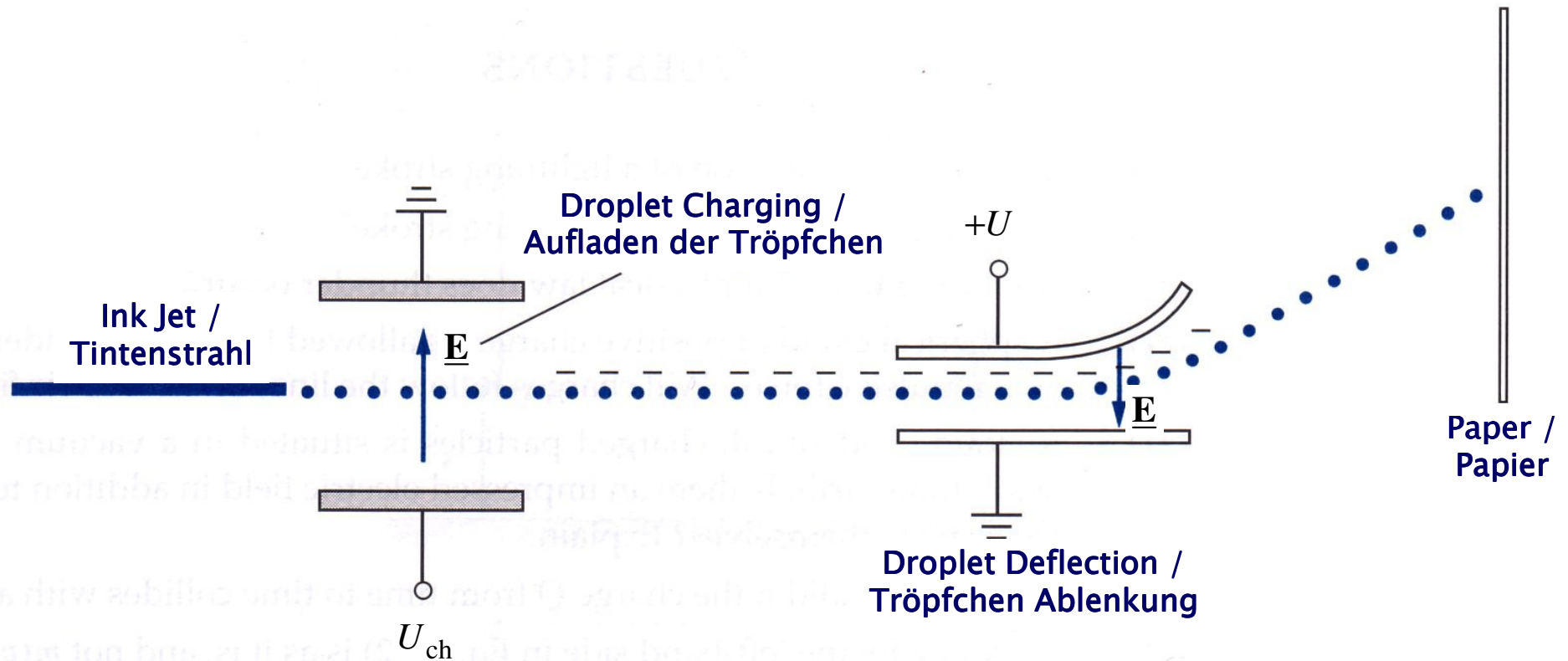
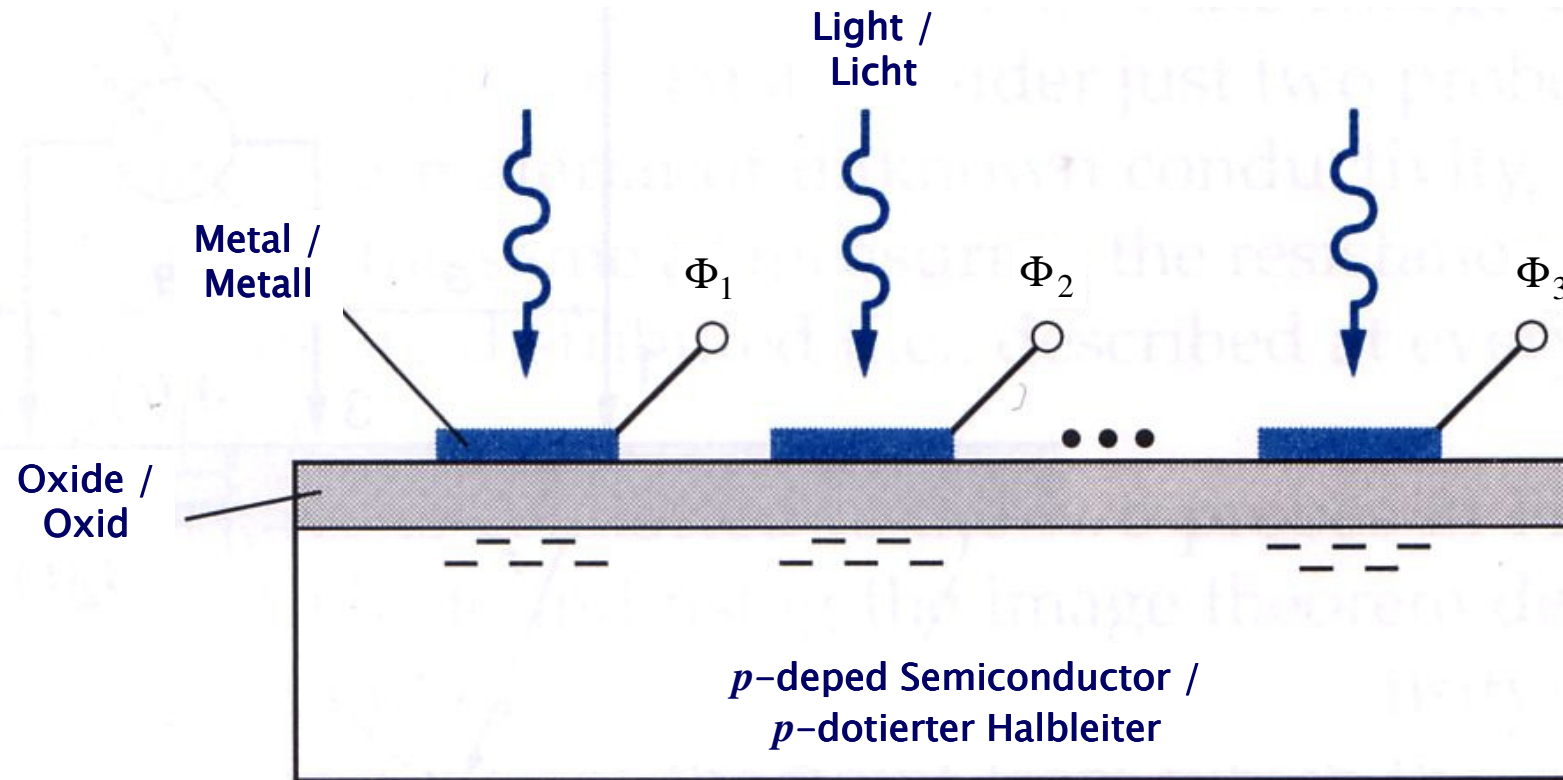


Figure: *Basic Components of an Ink-Jet Printer* /
Abbildung: *Basiskomponenten eines Tintenstrahldruckers*

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

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

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

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

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

$$\underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

Electric Field Strength / Elektrische Feldstärke

$$\underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

Magnetic Field Strength / Magnetische Feldstärke

$$\underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2} \right]$$

Electric Flux Density / Elektrische Flussdichte

$$\underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \right]$$

Magnetic Flux Density / Magnetische Flussdichte

$$\underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right]$$

Electric Current Density / Elektrische Stromdichte

$$\underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}^2} \right]$$

Magnetic Current Density / Magnetische Stromdichte

$$\rho_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{As}}{\text{m}^3} \right]$$

Electric Volume Charge Density / Elektrische Raumladungsdichte

$$\rho_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^3} \right]$$

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	$\underline{\underline{\underline{\mathbf{d}}}} = d_{ijk} \underline{\mathbf{e}}_i \underline{\mathbf{e}}_j \underline{\mathbf{e}}_k$	Bold Face with three Underlines / Fett mit drei Unterstrichen
$n = 4$	Fourth Rank / vierten Ranges	Tetrad / Tetrade	Elastic Stiffness Tensor / Elastischer Steifigkeitstensor	$\underline{\underline{\underline{\underline{\mathbf{c}}}}} = c_{ijkl} \underline{\mathbf{e}}_i \underline{\mathbf{e}}_j \underline{\mathbf{e}}_k \underline{\mathbf{e}}_l$	Bold Face with four Underlines / Fett mit vier Unterstrichen

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