

Elektromagnetische Felder und Wellen

Tutorium 2

Christoph Lubert

uxyls@student.kit.edu

1. Tipps für die Klausur
2. Wiederholung

Tipps für die Klausur

Im Semester:

- An Übungen/Tutorien dran bleiben
- Mit Formelsammlung, Integraltabelle etc. üben

In der Klausurenphase:

- Am besten 3 Wochen zum lernen einplanen
- Sehr viele Aufgaben rechnen
 - Übungsaufgaben, Tutorienaufgaben
 - EMF und EMW Altklausuren (Davon sind nicht alle Themen relevant, aber ein Großteil ist sehr ähnlich)

Ladungen

- Ladung $[Q] = C = A \cdot s$

- Raumladungsdichte $\rho = \frac{\partial^3 Q}{\partial x \partial y \partial z}$ (für $\rho = \text{const} \Rightarrow \rho = \frac{Q}{V}$)

- Ladung pro Volumen
- $Q = \iiint \rho dv$

- Flächenladungsdichte $\sigma = \rho dy = \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial z}$ (für $\sigma = \text{const} \Rightarrow \sigma = \frac{Q}{A}$)

- Ladung pro Fläche
- $Q = \iint \sigma d\vec{f}$

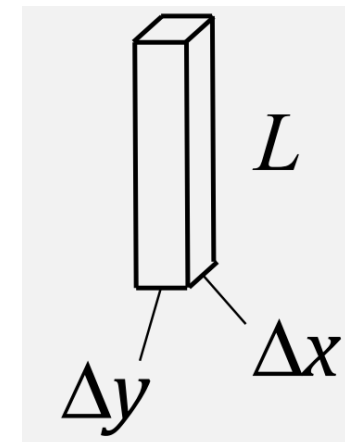
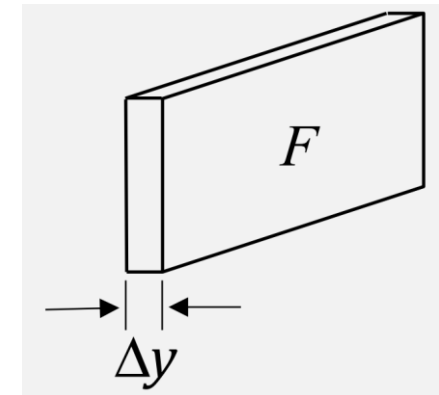
- Linienladungsdichte $\lambda = \sigma dx = \frac{\partial Q}{\partial z}$ (für $\lambda = \text{const} \Rightarrow \lambda = \frac{Q}{L}$)

- Ladung pro Längeneinheit
- $Q = \int \lambda d\vec{s}$

$$[\rho] = \frac{Q}{m^3} = \frac{A \cdot s}{m^3}$$

$$[\sigma] = \frac{Q}{m^2} = \frac{A \cdot s}{m^2}$$

$$[\lambda] = \frac{Q}{m} = \frac{A \cdot s}{m}$$

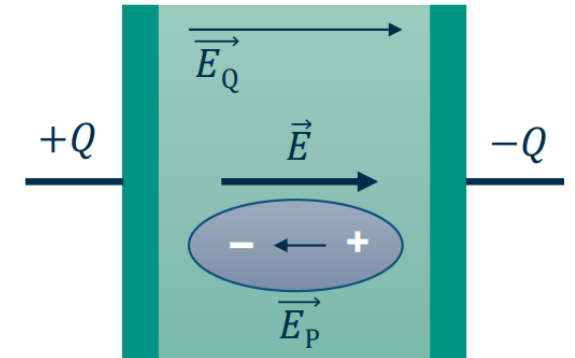


Elektrische Feldstärke \vec{E} , Elektrische Verschiebungsdichte \vec{D} , Elektrische Permittivität ε

- Elektrische **Verschiebungsdichte** \vec{D} ist mit der **Ursache** des Feldes (Ladungen) verknüpft
- Elektrische **Feldstärke** \vec{E} mit der **Wirkung** des Feldes (Kraft auf Probeladung) verknüpft

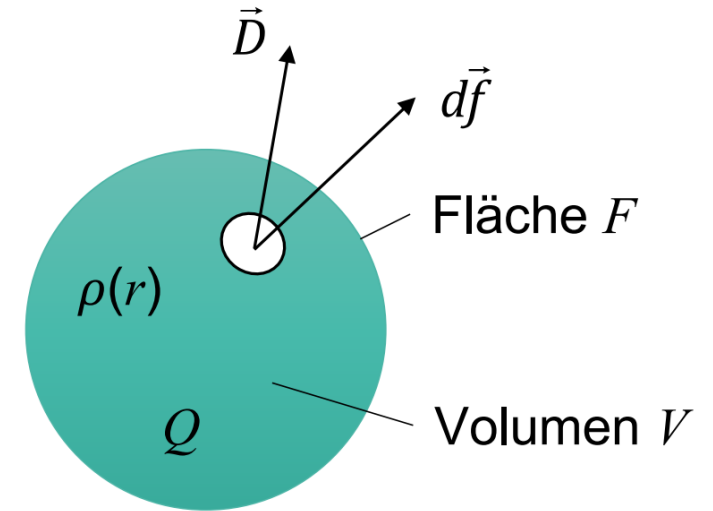
Verschiebungsdichte \vec{D} berücksichtigt nur **Oberflächenladungen**, **Feldstärke** \vec{E} berücksichtigt **alle Ladungen**, einschließlich Polarisationsladungen

- Zusammenhang zwischen \vec{E} und \vec{D} : $\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}$
- **Elektrische Permittivität:** ($\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$)
 - ε_0 : Permittivität des Vakuums, konstant ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$)
 - ε_r : Relative Permittivität, Materialabhängig
 - **Materialeigenschaft**, die beschreibt, wie ein Material auf ein angelegtes \vec{E} – Feld reagiert.
 - Maß dafür, wie leicht ein Material durch ein \vec{E} -Feld polarisiert werden kann und wie stark es das \vec{E} -Feld abschwächt. (Je größer ε_r , desto kleiner resultierendes \vec{E} -Feld)
 - Im Vakuum und näherungsweise in Luft: $\varepsilon_r = 1 \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_0$



Berechnung von \vec{E}/\vec{D} -Feld für einfache Symmetrien

- Wahl eines geeigneten Koordinatensystems
 - Tipp: überlegen, wie \vec{E}/\vec{D} -Feld verlaufen
- Wahl einer geschlossenen Integrationsfläche
- Satz vom Hüllfluss anwenden:
 - Der durch die **Hüllfläche austretende Fluss** ist gleich der **eingeschlossenen Ladung**
 - $\oint \vec{D} d\vec{f} = \oint \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \iiint \rho dv = Q$ (Integralform)
 - $\text{div } \vec{D} = \rho$ (Differentialform)
 - Sinnvoll anwendbar bei **symmetrischen** Anordnungen (z.B. Kugel- bzw. Rotationssymmetrie)



Elektrischer Fluss Ψ

- Anteil der elektrischen Flussdichte \vec{D} , welcher Normal zur Fläche A steht
 - Gibt an, wie Stark ein elektrisches Feld eine bestimmte Fläche durchdringt
 - Anschaulich: Anzahl der Feldlinien, die durch die Fläche hindurchgehen
- $\Psi = \iint \vec{D} d\vec{f}$

Aufgabe 1

Gegeben sei eine Punktladung Q im Ursprung. Denken Sie sich eine beliebige Kugel, welche um den Ursprung zentriert ist und berechnen Sie den Fluss $\Psi = \oint \vec{D} d\vec{f}$ durch diese imaginäre Kugel. Bestätigen Sie, dass der Fluss unabhängig vom Radius der Kugel ist.

Hinweise:

- Erst \vec{E} -Feld der Punktladung bestimmen
 - Maxwell-Gleichung: $\oint \vec{D} d\vec{f} = \iiint \rho dv$
- Dann Fluss berechnen

Aufgabe 2

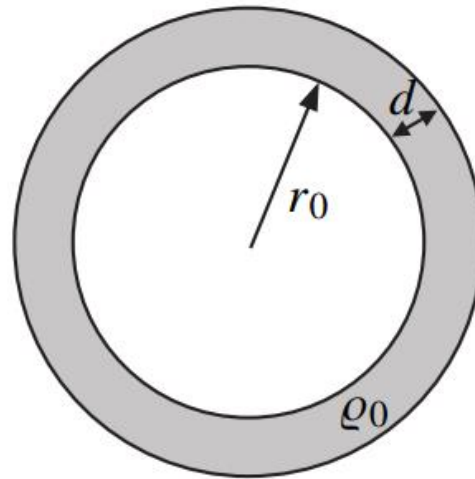
Berechnen Sie mit den Maxwellgleichungen in integraler Form das elektrische Feld \vec{E} außerhalb einer homogen geladenen Kugel mit der Ladungsdichte ϱ_0 und dem Radius R_0 . Vergleichen Sie mit dem Feld einer Punktladung der gleichen Gesamtladung Q im Mittelpunkt der Kugel.

Hinweise:

- $Q = \rho \cdot V$
- Volumen einer Kugel: $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$

Aufgabe 3

Berechnen Sie das elektrische Feld im *Inneren* einer homogen geladenen Hohlkugel der Wandstärke d mit dem Innenradius r_0 . Die Ladungsdichte sei ϱ_0 .



Danke für eure Aufmerksamkeit!

Christoph Lubert
uxyls@student.kit.edu

