Das statische elektrische Feld

M. Jakob

Gymnasium Pegnitz

10. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

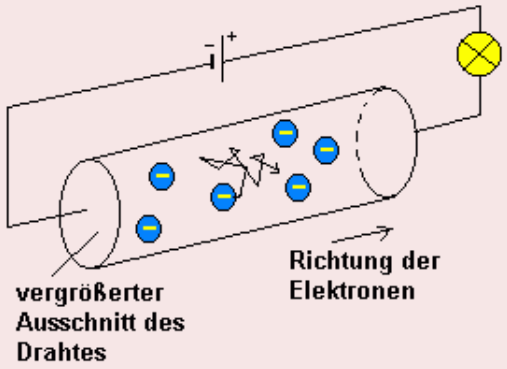
In diesem Abschnitt

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

Elektrischer Strom

Elektrischer Strom

In Metallen befinden sich frei bewegliche negativ geladene Elektronen. Sie werden im geschlossenen Stromkreis vom Minuspol der Batterie zum Pluspol getrieben. Der elektische Strom kommt also durch das Fließen elektrischer Ladungen zustande.



Strom-Spannung-Widerstand

Größe		*Einheit*	*Definition*
Stromstärke	I	1 A(*Ampere*)	
Spannung	U	1 V(*Volt*)	Ursache des Stroms
Widerstand	R	$1\,\Omega = 1\,\mathrm{V\,A^{-1}}$	$R = \frac{U}{I}$

Elektrisch geladene Körper

- Durch Reiben lassen sich Körper elektrisch aufladen
  LV: Katzenfell-Versuche
- Es gibt negative (meist Elektronen)und positive Ladungsträger
- Ladungen können von einem Körper auf einen anderen übertragen werden.
  Ü 1.1: LV Tischtennisballversuch ➥
- Gleichnamig Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.
  Ü 1.2: LV Elektrische Kräfte ➥

In diesem Abschnitt

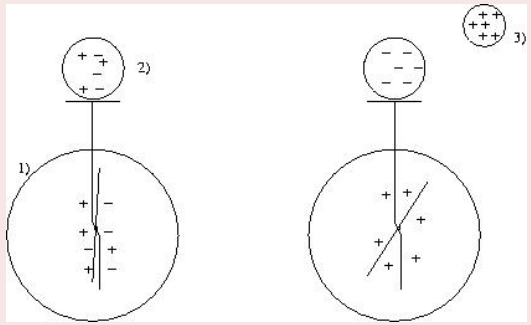
1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

Influenz

LV: Influenz ➥

Influenz

Nähert man einen gelandenen Körper einem Elektroskop ohne dieses zu berühren, so verschieben sich darin die frei beweglichen Ladungen.
Ursache: Fernwirkung der el.Kraft.



Polarisation

Ü 1.1: LV: Wasserstrahlablenkung: Versuchsprotokoll

Polarisation

In Isolatoren sind die Elektronen nicht frei beweglich. Hier bilden sich durch einen geladenen Körper innerhalb der Atome und Moleküle zu einheitlich ausgerichteten Dipolen. Sie führt dazu, dass neutrale Körper von elektrisch geladenen angezogen werden.
Man unterscheidet Verschiebe- (bei Watte, Staub,...) und Orientierungspolarisation (bei Wasser)

Verschiebepolarisation ➥

Orientierungspolarisation ➥

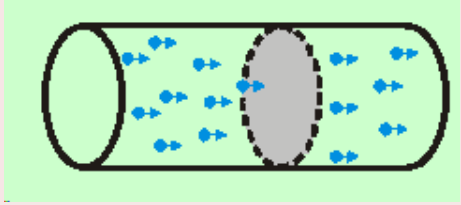
Elektrische Ladung und Stromstärke

Ladung und Stromstärke

Die Stromstärke I gibt an, wie viel Ladung in einer bestimmten Zeit durch den Querschnitt eines Leiters fließt. Man schreibt:

$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ bzw. $I = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = Q'(t)$

Größe	*Einheit*
Stromstärke I	1 A
Ladung Q	$1\,\mathrm{A\,s} = 1\,\mathrm{C}$(*Coulomb*)



Die Elementarladung

Ü 1.2: Kurzzusammenfassung: Millikan-Versuch paetec S. 30 ➥

Die Elementarladung

Positiv und negativ geladene Körper tragen ganzzahlige Vielfache der Elementarladung

$$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

Die Ladung eines Elektrons ist gleich $-e$.

Ladungsmessung

Experiment zur Ladungsmessung ist sau aufwändig

In diesem Abschnitt

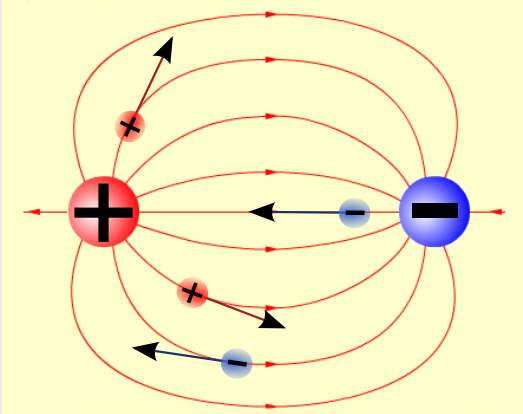
1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

Elektrische Felder

LV: Grießkörner auf Rizinusöl ➥

Elektrische Felder

Um den Raum eines elektrisch geladenen Körpers existiert ein el. Feld, das durch Feldlinien veranschaulicht wird.
Die Feldlinien verlaufen von der positiven zur negativen Ladung und geben die Kraftrichtung auf eine positive Ladung an.



Übungen / Vertiefung

Feldliniensimulation ➥

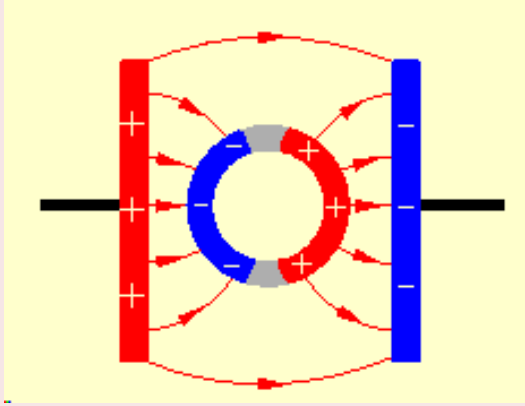
Überlagerung elektrischer Felder ➥

Ü 1.3: Fotokopierer und Laserdrucker Kurzzusamenfassung (Leifi/Paetec S.25) ➥

Abschirmen elektrischer Felder

Elektrische Felder

- Metallische Körper schirmen elektrische Felder ab.
- Das innere eines metallischen Körpers ist feldfrei.
- Auf leitenden Oberflächen stehen Feldlinien stets senkrecht.



Analogie Gravitation und el. Feldstärke

Kraft	*wirkt auf*	*Feldkraft*	*Feldgröße*
Gravitation	Masse m	$F = m \cdot g$	g (Ortsfaktor)
el. Kraft	Ladung q	$F = q \cdot E$	E (el. Feldstärke)

Elektrische Feldstärke

Elektrische Felder

Die physikalische Größe, die das elektrische Feld unabhängig von der ProbeLadung q_P charakterisiert, heißt elektrische Feldestärke $\vec{E}$. Es gilt:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_P}; \text{ Einheit:}[E] = 1\,\text{N/C} = 1\,\text{N/(As)}$$

In diesem Abschnitt

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

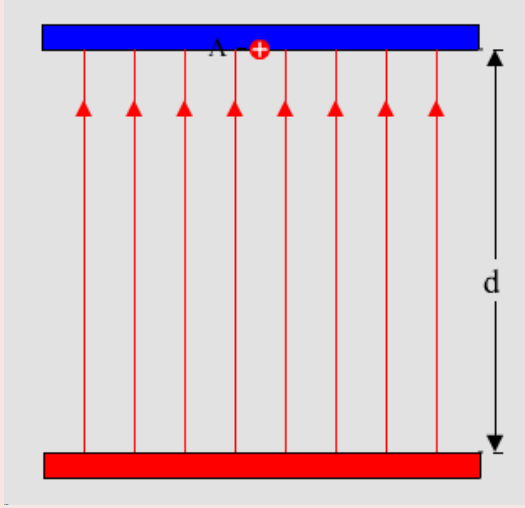
Elektrisches Feld im Plattenkondensator

Beschreibung Plattenkondensator

Plattenkondensator — Homogenes Feld eines P.-Kondensator

Elektrische Felder

Im Inneren eines Plattenkondensators liegt eine homogenes elektrisches Feld vor.
Mechanisches Analogon: Schiefe Ebene



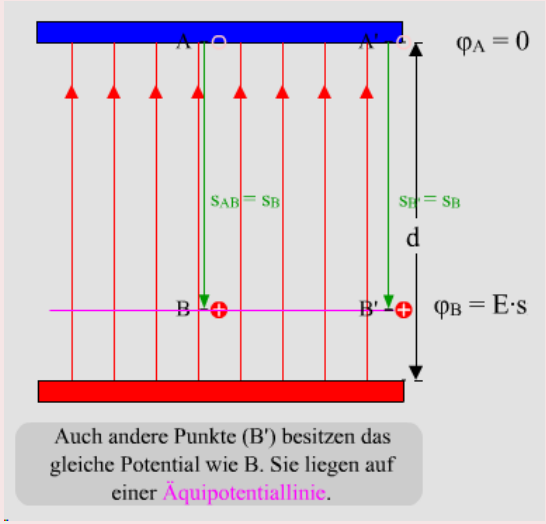
Analogie potentielle Energie und elektrisches Potential

Masse m gegen Schwerkraft bewegen	$W_{pot} = mgh$
Ladung q gegen E-Feld bewegen	$W_{pot} = Fs = qEs$

Wir dividieren durch q und erhalten:

Potential eines Plattenkondensators

Die Größe $\varphi = \frac{W}{q} = E \cdot s$
heißt elektrisches Potential
Einheit: $1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = 1\,\mathrm{V}$



Elektrische Spannung und Potential

Aus alten Zeiten weiß man:

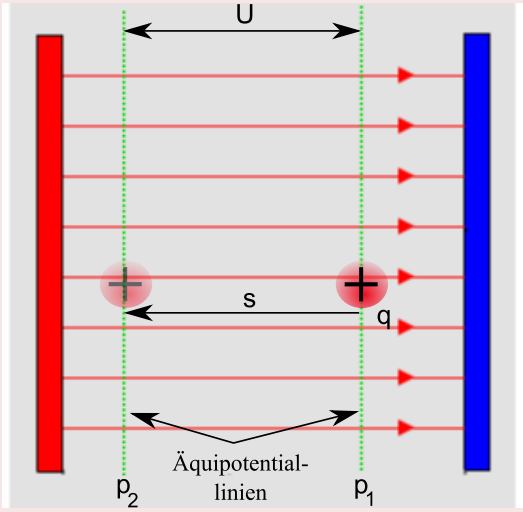
$$W_{el} = U \cdot I \cdot t = U \cdot q \Rightarrow U = \frac{W_{el}}{q} = \varphi = E \cdot s$$

und damit

Elektrische Felder

Die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten eines elektrischen Feldes ist gleich ihrer Potentialdifferenz.

$$\begin{aligned} U &= \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = E \cdot \Delta s \\ [U] &= 1\,\mathrm{V} \end{aligned}$$



In diesem Abschnitt

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

Feldstärke eines Plattenkondensators

$$U = \frac{W_{el}}{q} = \frac{F \cdot d}{q} = \frac{E \cdot q \cdot d}{q} = E \cdot d$$

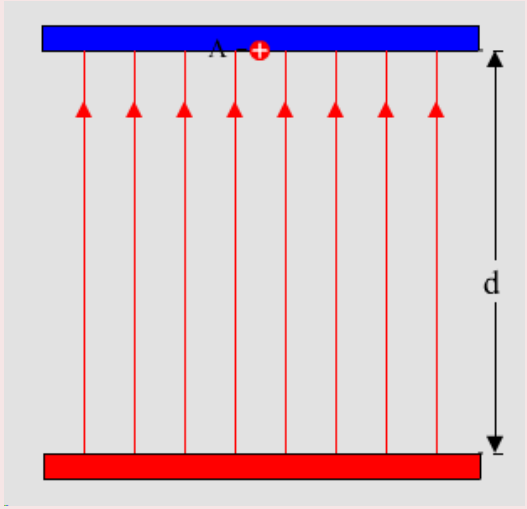
und damit

Feldstärke eines Plattenkondensators

Für die Feldstärke im homogenen el. Feld eines Plattenkondensators gilt

$$E = \frac{U}{d} = \frac{F}{q}$$

Einheit: $1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} = 1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$



Cornelsen 1.5 - Energie im Plattenkondensator

Übungen

Ü 2.1: Leifi-Aufgaben ➥

(a) Äquipotentiallinien
(b) Schwebende Kugel
(c) Elektrisches Feld
(d) Potentielle Energie im homogenen E-Feld
(e) Feldlinienbilder in elektrischen Feldern

Ü 2.2: HA: 10 Fragen zum Elektrischen Feld ➥

Übungen

SchÜ: Potentialmessung ➥

Ü 2.3: paetec S. 45/10

Ü 2.4: paetec S. 45/11,12

Ü 2.5: Kurzzusammenfassung paetec, S. 34,35

Ü 2.6: Kurzzusammenfassung paetec, S. 25 Xerographie

In diesem Abschnitt

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

Das Coulomb'sche Gesetz

Leifi/Veranschaulichung ➥

Das Coulomb'sche Gesetz

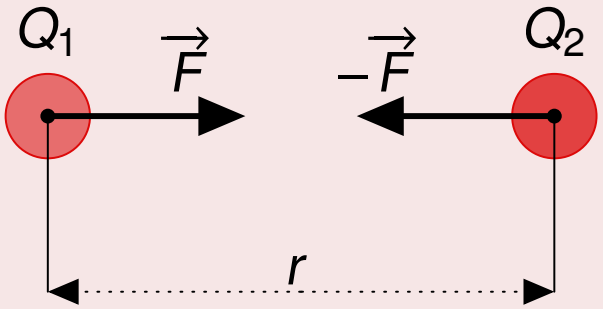
Leifi/Veranschaulichung ➥

Das Coulomb'sche Gesetz

Zwischen zwei elektrisch leitenden Kugeln mit den Ladungen Q_1 und Q_2 wirkt im Vakuum die Kraft

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$\epsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{C/(Vm)}$
heißt elektrische Feldkonstante.

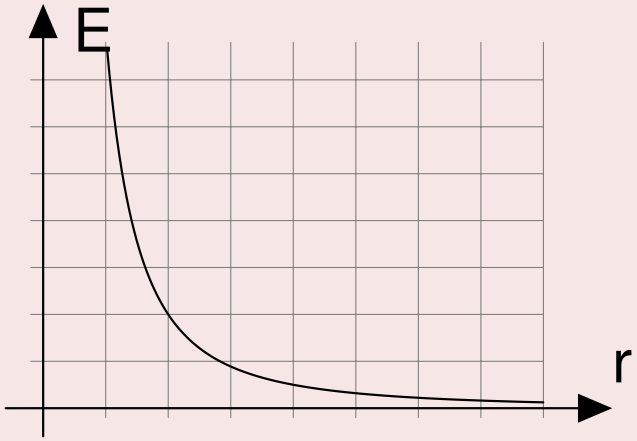


Feldstärke und Potential eines Kugelkondensators

Für einen Kugelkondensators mit den Ladungen Q gilt wegen $E = \frac{F}{q}$

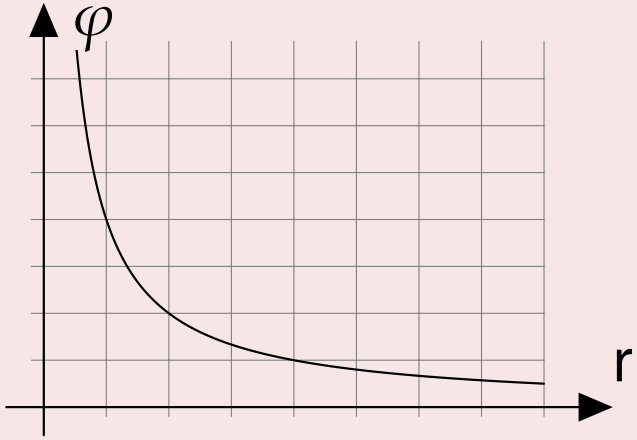
Feldstärke

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}$$



Potential

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$



Übungen

Potential eines Kugelkondensators mit Geogebra ➥

App: Elektrisches Feld von Punktladungen ➥

Ü 2.7: Leifi-Aufgaben ➥

(a) Wasserstoffatom

(b) Radialsymmetrisches Feld

Ü 2.8: Versuchsprotokoll, Ladungsbestimmung durch Schwerkraft

In diesem Abschnitt

1. Darstellung eines elektrischen Feldes (6 Std.)
   - Wiederholung
   - Die elektrische Ladung
   - Das elektrische Feld
2. Grundgrößen elektrischer Felder (10 Std.)
   - Potential und elektrische Spannung
   - Feldstärke von Plattenkondensatoren
   - Das Coulomb'sche Gesetz
   - Kapazität und Feldenergie

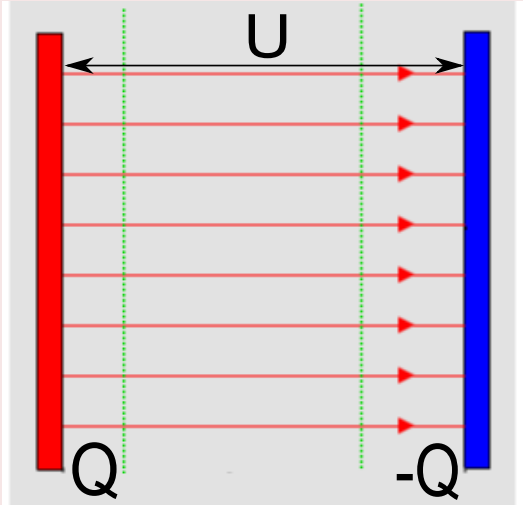
Kapazität eines Plattenkondensators

Die Kapazität C eines Plattenkondensators

ist ein Maß dafür, wieviel Ladung er speichern kann. Es gilt:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Einheit: $1\,\mathrm{C\,V^{-1}} = 1\,\mathrm{F}$ (Farad)



Ü 2.9: Herleitung der Kapazitätsformel ➥

Kapazität eines Plattenkondensators

Kapazität eines Plattenkondensators

Für einen idealen Plattenkondensator gilt

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}.$$

ϵ_r heißt relative Permittivität und ist eine Materialkonstante.

Stoff	ϵ_r
Vakuum	1
Luft	1,00058
Wasser	80
Porzellan	6,5

Übungen

Ü 2.10: (E) Fokus S.27/6

Energie eines elektrischen Feldes

Leifi-App: Kondensator als Energiespeicher ➥

Energie eines elektrischen Feldes

Leifi-App: Kondensator als Energiespeicher ➥

Energie eines Plattenkondensators

Zum aufladen eines Plattenkondensator ist Energie nötig, die dann im elektrischen Feld gespeichert wird. Es gilt

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot A \cdot d \cdot E^2.$$

Übungen

Ü 2.11: Leifi-Aufgaben ➥

(a) 10 Fragen zum Kondensator
(b) 10 Fragen zu Arbeit und Potential im E-Feld
(c) Energie beim Plattenkondensator
(d) Goldcap-Kondensator
(e) Metallplatte im Kondensator
(f) Gewitterwolke
(g) Kräfte am Plattenkondensator
(h) Plattenkondensator

Übungen

Ü 2.12: paetec-Aufgaben S. 46f

(a) Nummer 21
(b) Nummer 22
(c) Nummer 23
(d) Nummer 27