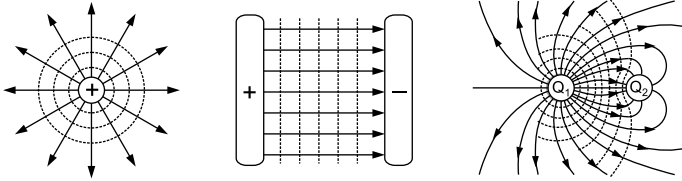


Lösung: Äquipotenziallinien gestrichelt



2. Beschreiben Sie ein selbst gewähltes Phänomen aus der Technik, bei dem elektrische Felder eine entscheidende Rolle spielen.

Lösung:

- Beispiel **Xerografie** (Verfahren zur Erstellung von Fotokopien)
Eine mit einem lichtsensiblen Halbleiter beschichtete Metalltrommel wird einem starken elektrischen Feld ausgesetzt, durch Sprühentladung wird die Halbleiterschicht aufgeladen. Anschließend erfolgt die Belichtung der Schicht. An den belichteten Stellen wird der Halbleiter leitend und entlädt sich dort, sodass bei der anschließenden Bewegung in unmittelbarer Nähe zum Tonerpulver keine Anziehung erfolgt, in den dunklen Bereichen dagegen schon. Schließlich wird die Trommel unter Druck mit dem Papier in Verbindung gebracht, dieses nimmt den Toner auf (evtl. erfolgt noch eine thermische Fixierung).
- Beispiel **Piezoeffekt**
Eine feste Kristallstruktur (z. B. Quarz) wird durch Druck verformt. Durch die Verschiebung einzelner Ionen wird das elektrostatische Gleichgewicht der Anordnung lokal gestört. Es entstehen so elektrische Spannungen, die etwa zum Zünden eines Feuerzeugs oder für viele andere Schaltprozesse dienen können.

Liegen mehrere Ladungen vor (Ladungsverteilung), überlagern sich die Einzelfelder zu einem Gesamtfeld.

Überlagerung (Superposition) von elektrischen Feldern

Feldstärken addieren sich vektoriell, Potentiale skalar:

$$\vec{E}_{\text{ges}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \quad \varphi_{\text{ges}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots \quad (\text{bzgl. desselben Punkts})$$

Die Wirkung elektrischer Felder auf leitende und nichtleitende Materialien ist unterschiedlich:

- Elektrischer Felder verschieben auf eingebrachten elektrisch neutralen **Leitern** Elektronen so lange, bis der Raum im Leiterinneren feldfrei ist. Dieses Phänomen heißt **elektrische Influenz**.
- Bringt man einen **Nichtleiter** (Isolator) in ein elektrisches Feld, wird er **polarisiert**, d. h., auf seinen Außenflächen treten Ladungen auf. Diese Polarisationsladungen lassen sich durch Erden nicht beseitigen.

Weitere typische Aufgabenstellungen

1. Gegeben: Verteilung einzelner (Punkt-)Ladungen

Gesucht: Feldlinien- und/oder Äquipotenziallinienbild

Lösung:

- Ladungsgröße und -vorzeichen beachten. Bei gleichen Ladungsbeträgen Symmetrie der Ladungsverteilung ausnutzen. Speziell bei 2 Ladungen: Rotationssymmetrie zur Verbindungslinie
 - Beachten: Keine Schnitt- oder Berührungspunkte gleichartiger Linien; Feld- und Äquipotenziallinien stehen aufeinander senkrecht; Feldlinien beginnen/enden senkrecht an geladenen Flächen
 - Liniendichte umso größer, je kleiner der Abstand zur Ladung und je größer der Ladungsbetrag
2. Gegeben: Influenzplattenversuch
- Gesucht: Beschreibung des Versuchs; Begründung der Feldfreiheit zwischen den Influenzplatten

Lösung:

Werden zwei gleich große, ungeladene Metallplättchen zunächst aufeinanderliegend in das elektrische Feld eines Plattenkondensators eingeführt (senkrecht zu den Feldlinien), tritt Influenz auf, d. h., die Ladungen in den Plättchen verschieben sich entsprechend der Ladung der Kondensatorplatten. Werden anschließend die Plättchen im Feld voneinander getrennt, bildet sich im Raum zwischen den Plättchen ein weiteres elektrisches Feld aus, das dem äußeren Feld betragsgleich, aber entgegengesetzt gerichtet ist. Beide Felder kompensieren sich daher zu null, der Raum zwischen den Plättchen ist feldfrei.

3. Gegeben: Faraday'scher Käfig

Gesucht: Prinzip und Anwendungsbeispiel

Lösung:

- Prinzip: Faraday'scher Käfig = geschlossene leitende Hülle, z. B. Drahtgeflecht, Blechhülle. Bei angelegtem äußerem elektrischen Feld bleibt das Käfiginnere infolge der Influenz feldfrei. Daher eignet sich der Käfig zur elektrischen Abschirmung.
- Anwendungsbeispiel: Schutz vor Blitzeinschlag im Auto oder Flugzeug (Blechkarosserie)

1.2 Homogenes elektrisches Feld – PlattenkondensatorEin elektrisches Feld ist **homogen**, wenn

- die elektrische Feldstärke in allen Feldpunkten die gleiche Richtung und den gleichen Betrag besitzt: $\vec{E} = \text{konst.}$
- die Feld- bzw. Äquipotenziallinien parallel und äquidistant verlaufen.

Das Feld eines **Plattenkondensators** ist in seinem Inneren homogen. Die auf den Platten des Plattenkondensators gespeicherte Ladung ist proportional zu der angelegten Spannung. Sein „Ladungsfassungsvermögen“ bezeichnet man als Kapazität. Ganz allgemein gilt:

Kapazität

Unter der Kapazität C eines (luftgefüllten) Kondensators, der bei angelegter Spannung U die Ladung Q trägt, versteht man die Proportionalitätskonstante

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

Speziell für den **Plattenkondensator** ist die Kapazität durch dessen Geometrie festgelegt:

$$C_{\text{Pl}} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

A: Plattenfläche

d: Plattenabstand

 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}}$)

Isolatoren in elektrischen Feldern werden meist als **Dielektrika** bezeichnet. Die Kapazität C_{mat} eines mit einem Dielektrikum gefüllten Kondensators ist stets größer als die Kapazität C_{vak} des leeren Kondensators. Die dimensionslose Verhältniszahl

$$\epsilon_r = \frac{C_{\text{mat}}}{C_{\text{vak}}}$$

heißt **relative Dielektrizitätskonstante** und ist eine Materialkonstante.

Die Arbeit, die nötig ist, um eine Probeladung von einer Platte zur anderen zu transportieren, beträgt, da das Feld homogen ist ($E = \text{konst.}$):

$$W = F \cdot d = Q \cdot E \cdot d$$

Wegen $U = \Delta\phi = \frac{W}{Q}$ folgt:

U-E-d-Regel für den Plattenkondensator

Im Plattenkondensator hängen die angelegte Spannung U , die erzeugte Feldstärke E und der Plattenabstand d über die Beziehung

$$U = E \cdot d$$

zusammen.

Ein Kondensator ist nicht nur ein Ladungsspeicher, sondern auch ein Energiespeicher. Die Energie lässt sich durch zwei der drei Größen Kapazität C , Ladung Q und Spannung U ausdrücken:

Im Kondensator gespeicherte Energie

Im elektrischen Feld eines Kondensators (Kapazität C , Ladung Q , Spannung U) ist die Energie

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot U \quad \text{bzw.} \quad W = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad \text{bzw.} \quad W = \frac{Q^2}{2C}$$

gespeichert.



1. Ein Plattenkondensator (Ladung $6,0 \text{ nC}$) hat quadratische Platten von $8,0 \text{ cm}$ Seitenlänge. Berechnen Sie die Feldstärke.

Lösung:

$$Q = C \cdot U = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U = \epsilon_0 \cdot A \cdot \frac{U}{d} = \epsilon_0 \cdot A \cdot E$$

$$\Rightarrow E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A} = \frac{6,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}} \cdot (0,080 \text{ m})^2} = 1,1 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

2. Ein Plattenkondensator wird mit einer Gleichspannungsquelle verbunden. Bestimmen Sie, ob und wie sich Kapazität C , Plattenladung Q , Spannung U und Feldstärke E ändern, wenn der Plattenabstand d verdoppelt wird und
- der Kondensator mit der Spannungsquelle verbunden bleibt.
 - der Kondensator nach dem Ladevorgang von der Spannungsquelle getrennt worden ist.

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{a) } U = U': \quad C' &= \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d'} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{2d} = \frac{1}{2}C \\ Q' &= C' \cdot U' = \frac{1}{2}C \cdot U = \frac{1}{2}Q \\ E' &= \frac{U'}{d'} = \frac{U}{2d} = \frac{1}{2}E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } Q = Q': \quad C' &= \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d'} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{2d} = \frac{1}{2}C \\ U' &= \frac{Q'}{C'} = 2 \cdot \frac{Q}{C} = 2U \\ E' &= \frac{U'}{d'} = \frac{2U}{2d} = E \end{aligned}$$

3. Begründen Sie die erhöhte Gefahr eines Blitzeinschlags bei einem freistehenden Baum. Erläutern Sie kurz die Wirkungsweise eines Blitzableiters.

Lösung:

- Bei einem Gewitter kann man sich die Konstellation Wolke–Erde stark vereinfacht als Plattenkondensator vorstellen, in dem ein homogenes elektrisches Feld zwischen den „Platten“ Wolke (positiv) und Erde (negativ) besteht. Die Feldlinien verlaufen näherungsweise geradlinig von der Wolke zur Erde, die Äquipotenziallinien liegen parallel zur Erde. Eine spitz geformte geerdete Oberfläche wie z. B. ein Baum oder das obere Ende eines Blitzableiters stört diesen Verlauf: Die Äquipotenziallinien werden gestaucht und verlaufen mit entsprechend starker Krümmung um die Spitze herum. Das Feld wird inhomogen, die Feldstärke steigt lokal stark an, die Überschlagswahrscheinlichkeit ist an der Spitze am größten, sodass der Blitz bevorzugt dort einschlägt.
- Der Blitzableiter dient dazu, die Ladungen kontrolliert abfließen zu lassen und damit Schaden an Gebäuden zu vermeiden.