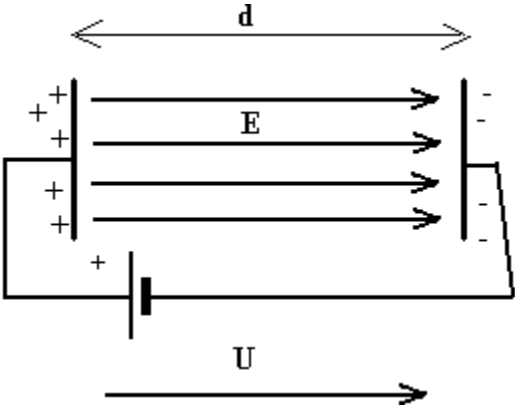
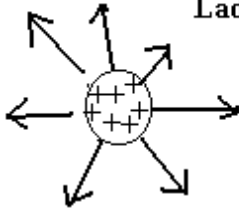
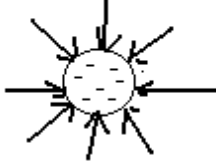
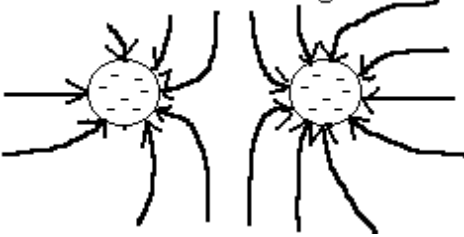
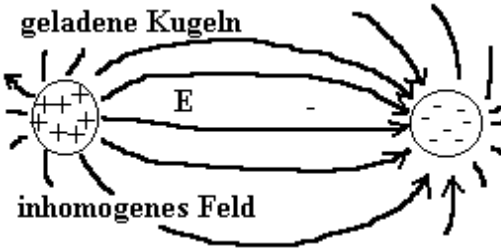
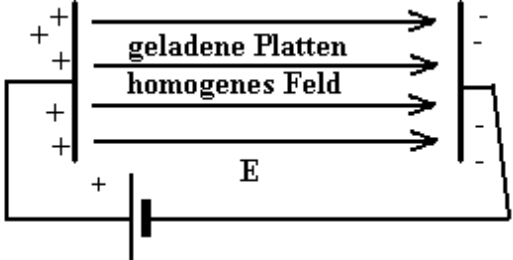


7. Elektrisches Feld und Kondensator

7.1. Das elektrische Feld

Feld	Ein Feld ist allgemein ein Raum, dem für jede Raumkoordinate eine bestimmte physikalische Grösse zugeordnet werden kann. Beispiele für statische, gleichbleibende Felder: ☐ Strahlungsfeld einer Wärme- oder Lichtquelle. • Temperaturfeld eines Raumes ☐ Gravitationsfeld: Jeder Punkt in, auf und über der Erde besitzt eine bestimmte Gravitationsbeschleunigung. Körper darin erfahren eine Gravitationskraft. ☐ Magnetfeld, magnetisierbare Körper erfahren eine magnetische Kraft ☐ Elektrisches Feld, geladene Körper erfahren eine elektrische Kraft. Nicht statisches Feld: ☐ Elektromagnetisches Feld (=Wechselfeld)
Ladung	Elektrischer Strom besteht bekanntlich aus fliessenden, bewegten Ladungsträgern. In elektrischen Leitern sind es Elektronen; sie besitzen die kleinste (negative) Ladungsmenge des Elektrons: $Q_e = -10^{-19}$ C (Coulomb) Eine Anhäufung von Ladungsträgern nennt man Ladung.
Statische Elektrizität	Ladung ist an Materie gebunden, das Vakuum kann nicht geladen sein. Wenn die Ladungen stillstehen, spricht man von Elektrostatik.
Ladungs-erhaltung:	Isolierte Ladungsanhäufungen gibt es nicht. Immer wenn man einen negativ geladenen Körper hat, muss irgendwo der entsprechend positiv geladene Körper sein. Ladung kann man also nicht "herstellen" (analog der Energie). Die Summe der positiven und negativen Ladungen muss null sein, da ja alle Atome und das ganze Universum im Prinzip elektrisch neutral sind.
Ladungs-trennung,	Um eine "Ladung" zu erzeugen (etwas aufzuladen), müssen also positive und negative Ladungsträger voneinander getrennt werden. In Festkörpern sind nur die Elektronen beweglich; beim Aufladevorgang werden also Elektronen verschoben. Der eine Körper erhält einen Elektronenmangel und ist somit positiv geladen, der andere einen Elektronenüberschuss und ist negativ geladen. Ladungstrennung erreicht man durch: ☐ Eine Spannungsquelle: Z.B: Die Pole einer Batterie sind gegensinnig gleich stark aufgeladen ☐ Durch Reibung (Reibungselektrizität), das Ergebnis sind zwei gegenpolig geladene Körper. Beispiele: - Pullover gegenüber Mensch - Mensch gegenüber Auto - Mensch gegenüber geerdeten Teilen (Wasserhahn, Türfalle ...) - Gewitterwolken gegenüber der Erde
Spannung	Zwischen getrennten Ladungen besteht eine elektrische Spannung. Auch elektrisch nichtleitende Stoffe können geladen sein!

Elektrisches Feld	Den Raum zwischen ungleichartigen Ladungen nennt man elektrisches Feld E .
Elektrische Feldstärke E	Die elektrische Feldstärke ist definiert als Spannung U geteilt durch den Abstand d der Ladungen: $E = \frac{U}{d} \quad \text{Einheit: V/m (Volt pro Meter)}$ 
Elektrische Feldlinien	Feldlinien verdeutlichen den Verlauf eines Feldes. <u>Merkmale:</u> ☐ Die Richtung der Feldlinien zeigt den Verlauf des Feldes, genauer den Verlauf der Kraftwirkung auf einen positiv geladenen Körper. ☐ Die Dichte der Feldlinien zeigt die Stärke des Feldes / der Kraftwirkung ☐ Elektrische Feldlinien haben einen Anfang und ein Ende. ☐ Sie gehen von positiven Ladungen aus und führen zu negativen Ladungen hin. ☐ Feldlinien verlassen die Oberfläche senkrecht. ☐ Feldlinien ungleicher Ladungen vereinigen sich. ☐ Feldlinien gleicher Ladungen verdrängen sich. Verschiedene Feldlinienbilder: räumlich getrennte Ladungen   benachbarte Ladungen  geladene Kugeln  inhomogenes Feld geladene Platten  homogenes Feld

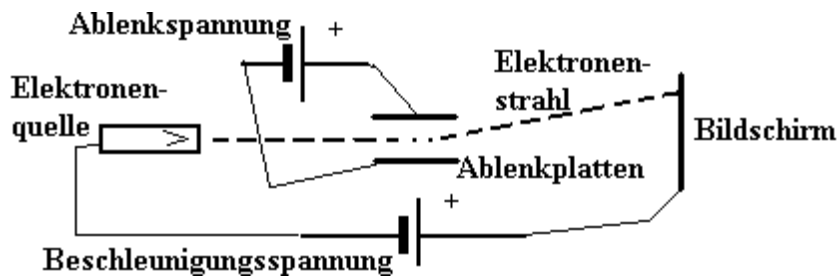
Ladungs- speicherung	Eine Ladungstrennung bleibt erhalten, solange sich keine Gelegenheit für einen Ladungsausgleich bietet, also falls die Körper elektrisch voneinander isoliert sind. Man sagt, die Ladung bleibe solange gespeichert .
Ladungs- ausgleich, Ausgleichs- strom	Ein Ladungsausgleich kann stattfinden: ☐ wenn die Ladungen durch einen auch nur schwach leitenden Stoff verbunden werden. Es fliesst solange ein Ausgleichsstrom, bis kein Ladungsunterschied mehr besteht. ☐ Wenn die Spannung zwischen den Ladungen zu gross oder der Abstand zu klein ist, wird die so genannte Durchschlagfeldstärke des isolierenden Mediums (z.B. der Luft) überschritten, es kommt zu einem schlagartigen Ladungsausgleich, bei dem je nach Ladungsspeicher und Entladungsweg ein kurzzeitiger, sehr hoher Strom fliessen kann. Bsp: - Blitz - elektrostatische Entladungen (englische Abkürzung: ESD, electrostatic discharge)

Kraftwirkung g des elektrischen Feldes

Bekanntlich ziehen sich ungleichartige Ladungen an.
(Gleiche Ladungen würden sich abstossen.)

Im elektrischen Feld gibt es drei verschiedene Arten von Kraftwirkungen:

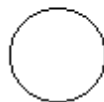
- **Anziehung und Abstossung:** Jedes **geladene** Teilchen (ein Körper oder ein einzelnes Elektron) in einem elektrischen Feld erfährt eine **Kraftwirkung**.
Technische Anwendung: Kathodenstrahl-Oszilloskop (KO): Der horizontal verlaufende Elektronenstrahl wird vom E-Feld der geladenen Ablenkplatten auf nach oben oder unten abgelenkt und so auf dem Schirm herumgelenkt.
Anmerkung: Bei der Fernseh- oder PC-Bildschirmröhre findet die Ablenkung des Strahl **magnetisch** statt, nicht elektrostatisch!)



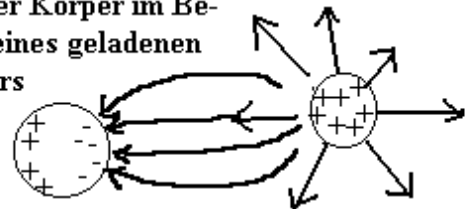
Weitere Effekte:

- **Influenz** (=Hineinfließen, Beeinflussung): Geladene Körper bzw. ihr elektrisches Feld üben auch auf **ungeladene, leitende** Körper eine Kraft aus:
Im ungeladenen Körper findet eine innere Ladungstrennung statt, weil die frei beweglichen Ladungsträger vom anderen, geladenen Körper angezogen werden.

elektrisch neutraler
Körper (ungeladen)



gleicher Körper im Be-
reich eines geladenen
Körpers



- **Polarisation** (=Ausrichtung): Auch **nicht** geladene, **nicht** leitende Teilchen und Körper erfahren eine Kraft, weil sie polarisiert werden. Das heisst, in den Molekülen des Stoffes ist die Ladung nicht symmetrisch verteilt und wird auf eine Seite hin gezogen.
Alltagsbeispiel: Die (ungeladenen, nichtleitenden) Haare stehen zu Berge, wenn man einen "elektrischen" Pulli auszieht.
Technische Anwendung: der Laserdrucker:
Die ungeladenen Tonerteilchen werden von den geladenen Zonen der Drucktrommel angezogen. Sie haften dort, wo gedruckt werden soll und werden dann auf das Papier übertragen.

7.2. Der Kondensator

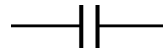
Konden- sator

Eine technische Vorrichtung, die eine erwünschte Menge Ladung speichert, nennt man Kondensator.

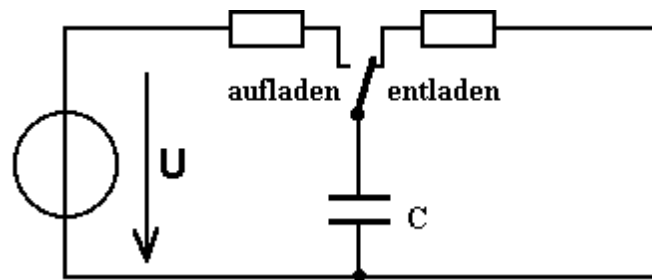
Das Schaltsymbol stellt die zwei gegenüberliegenden Platten dar, welche gegensätzlich aufgeladen werden können.

Ein Kondensator besteht im Prinzip immer aus zwei isoliert benachbarten Elektroden (z.B. Platten, Folien o.ä.).

Schaltsymbol:



Ein Kondensator kann aufgeladen und entladen werden, ähnlich einer Batterie.



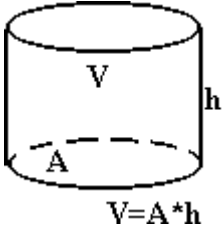
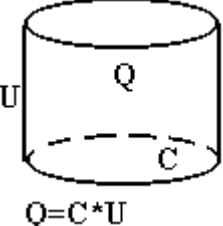
Er hat aber eine **viel kleinere** Kapazität (Energie-Fassungsvermögen) als eine Batterie!

Gespeichert werden die reinen Ladungsträger.

Bei der Batterie hingegen verursacht der Ladevorgang chemische Prozesse und die Batterie"ladung" ist eigentlich als **chemische** Energie und nicht in Form von Ladungsträgern gespeichert.

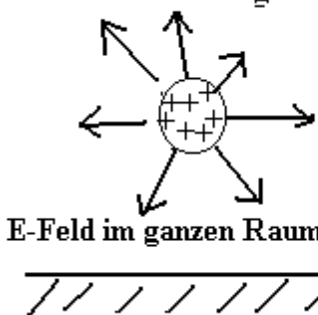
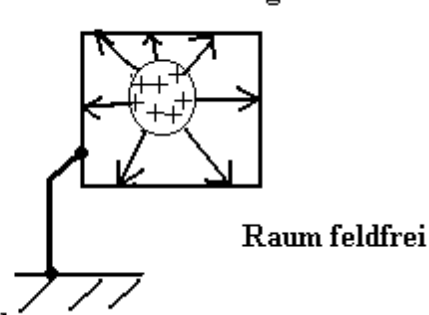
Die Kapazität C	Der Kondensator ist ein also Ladungsspeicher. Die Speicherefähigkeit des Kondensators heisst Kapazität. Die Kapazität hat das Kurzzeichen C (von engl. capacity, Kondensator=capacitor). Sie ist die wichtigste Kenngrösse und zugleich das Kurzzeichen eines Kondensators. Analog den Bezeichnungen wie R1 oder R7 für Widerstände bezeichnet man Kondensatoren mit C, z.B. C3 Die gespeicherte Ladungsmenge Q ist proportional zur Kapazität sowie zur Spannung, auf die er aufgeladen werden kann. Dies ist das Kondensatorgesetz:
Das Kondensatorgesetz	Formel: $Q = C \cdot U$ oder umgeformt: $C = \frac{Q}{U}$ Ladung Q ist Kapazität C mal Spannung U.
Einheit: F	Die Einheit der Kapazität heisst Farad, Kurzzeichen F Eine mögliche Angabe ist also z.B.: C = 250µF (Vom engl. Physiker und Chemiker Michael Faraday (1791-1867)). Farad ist eine Abkürzung für die Einheit As/V, die aus der umgeformten Form des Kondensatorgesetzes herausgelesen werden kann.

Analogie Wasserspeicher	Zur Verdeutlichung kann man wieder den Vergleich ziehen zu einem Wasserspeicher: Das Volumen ist auch proportional zur Grundfläche und zur Füllhöhe.
--------------------------------	--

		Wasserspeicher	Ladungsspeicher
	gespeichert wird:	Wassermenge	Ladungsmenge
		Grundfläche A (Fläche, auf der sich das Wasser verteilen kann)	Kapazität C (Fläche, auf der sich die Ladung verteilen kann)
		Füllhöhe h (verantwortlich für Druck)	Ladespannung U (elektrischer Druck)
		 $V = A \cdot h$	 $Q = C \cdot U$
	Gespeicherte Menge:	$V = A \cdot h$ (Volumenberechnung) Das Volumen ist ein Mass für die gespeicherte Wassermenge.	$Q = C \cdot U$ (nach Kondensatorgesetz) Beim Kondensator ist die Baugrösse ein Mass für die speicherbare Ladungsmenge

Abhängig- keit der Kapazität	Die Kapazität eines Kondensators hängt nur von der Bauart des Kondensators ab. Zum Beispiel: - von der Elektrodenfläche (C ist proportional zur Fläche) - vom Elektrodenabstand (C ist umgekehrt proportional zum Abstand) - vom Material dazwischen (bei Vakuum oder Luft am kleinsten, steigt bei anderen Stoffen)
Werte für C	Technisch verwendete Kondensatoren haben SEHR kleine Kapazitäten. Die Werte liegen zwischen 1pF und 1 F (pF = PicoFarad = 10^{-12} F!)
Kondensator als Energie- speicher?	Wie schon erwähnt gibt es nur wenige Anwendungen, Kondensatoren als Batterieersatz zu verwenden, da Batterien die viel höheren Kapazitäten zulassen. In Batterien wird die Elektrizität in chemische Energie umgewandelt, was eine viel höhere Speicher- und Energiedichte zulässt.
!	Aufgabe: Wie gross ist die Kapazität einer Autobatterie mit einer Ladung von 60 Ah (Ampèrestunden) und einer Spannung von 12V? (Tip: Ah in As (Ampèresekunden) umrechnen!) (Resultat: C=18kF) Welches Volumen müsste ein Kondensator für die gleiche Ladung haben, wenn man bei Kondensatoren zur Speicherung einer Ladungsmenge $Q = 1 \text{ C}$ (=1 As) Ladung etwa das Volumen einer Cola-Dose benötigt (1/3 Liter) beansprucht? (Resultat: 72 m³ !)

7.3. Schutzmassnahmen gegen elektrische Felder und ESD

Schutz vor elektrischen Feldern	Wie aus den Feldlinienbildern ersichtlich, beeinflussen geladene Körper und elektrische Felder ihre Umgebung. Diese Beeinflussung ist oft unerwünscht und störend. Sie kann auch Störungen in elektrischen Anlagen verursachen. <u>Anmerkung:</u> Der Begriff Elektrosmog bezieht sich meist auf störende oder schädliche Einflüsse elektromagnetischer Felder oder Strahlen (und nicht "nur" elektrischer Felder. Elektromagnetische Felder treten dann auf, wenn ein elektrisches (oder magnetisches) Feld nicht konstant ist, sondern zeitlich schwankt, wie zum Beispiel bei unserem Netzstrom.
Abschirmung	Auch gegen Einflüsse Deshalb kann man Schutzmassnahmen treffen. • man kann die Feldquelle abschirmen, d.h. an der "Abstrahlung" hindern oder • einen Körper vor der Feldeinwirkung abschirmen
Abschirmung gegen Abstrahlung	Schutz vor der Fernwirkung eines elektrischen Feldes Feldlinien gehen von positiven zu negativen Ladungszentren. Alles dazwischen liegt in einem elektrischen Feld. Z.B. alles zwischen einem geladenen Körper und Erde. • Will man das Feld von einem grösseren Gebiet fernhalten, so muss man die "Feldquelle" einpacken, abschirmen. Man muss das Feld also "erden", bevor es den Raum durchdringen kann. ohne Abschirmung:  E-Feld im ganzen Raum mit Abschirmung:  Raum feldfrei Erdboden

Abschirmung gegen Einwirkung	Schutz vor der Einwirkung eines elektrischen Feldes auf einen Körper. Ein Körper befindet sich in einem elektrischen Feld. Es soll gegen die Einwirkung eines Feldes geschützt werden. Will man das Feld von einem relativ kleinen Raum fernhalten, so muss man die Feldlinien quasi um den Körper herumleiten. Das Innere eines von Metall umgebenen Raumes ist feldfrei. Das Metall braucht nicht geerdet zu sein.
Faraday-Käfig	Dieser Schutz ist der bekannte Faradaysche Käfig. Wie die Bezeichnung Name "Käfig" sagt, muss es nicht Vollmetall sein, es genügt auch ein Gitternetz oder Drahtkäfig. Beispiele: - Blitzschutzanlagen bei Gebäuden bilden einen Faradayschen Käfig. Sie verhindern das Eindringen des Blitzes ins Gebäude (aber nicht das Einschlagen in die Schutzanlage!). - In einem Auto (mit Metallkarosserie) ist man vor den elektrischen Auswirkungen eines Blitzeinschlags sicher geschützt. (Aber nicht vor einem Einschlag ins Auto, also auch nicht vor einem Gehörschaden oder einem Donnerschock).
ESD-Schutz	Schutz vor elektrostatischer Aufladung und den Folgen der Entladung (ESD) ESD bedeutet electrostatic discharge (elektrostatische Entladung) Besonders beim Umgang mit Hardware und elektronischen Bauteilen (Halbleitern) ist Vorsicht wegen elektrostatischen Auf- und Ent-Ladungen geboten. Die Entladungen können die Bauteile zerstören. Hier muss der ESD-Schutz greifen. Es ist alles zu vermeiden, was zu elektrostatischen Entladungen führen könnte. Dies heisst z. B. für den Einbau von Hardware in einen PC etwa folgendes: - Böden, Schuhe und Kleider meiden, welche eine Aufladung fördern - Warnaufschriften beachten: Inhalt empfindlich auf elektrostatische Ladungen Contenu sensible aux charges electrostatiques Contenuto sensibile alle scariche elettrostatiche Contents sensitive to electrostatic charges - Vor der Handhabung der Hardware sich selber entladen (erden), z.B. an einem Wasserhahn. - Leitende Verpackung der Hardware fest anfassen - Hardware mit blossen Händen anfassen und aus der Packung nehmen - Mit der andern Hand PC-Chassis berühren (nicht mit der Hardware!) - Hardware mit blossen Händen einbauen. Hierbei stillstehen und Reibungen mit Teppichen oder Kleidern vermeiden.