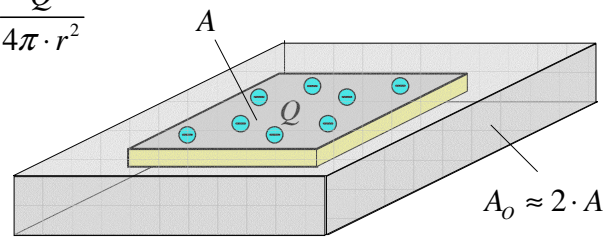


31) Elektrische Feldstärke einer dünnen geladenen Platte.

Für die elektrische Feldstärke einer Punktladung Q hatten wir die Formel $E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$ kennen gelernt und diese in die Form $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$

umgeschrieben. Weil der Nenner $4\pi \cdot r^2$ unter Q aber gerade die *Oberfläche* A_o einer Kugel mit Radius r um die Ladung herum ist, ergab sich die neue Gestalt $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A_o}$.



Wenn die Schachtel eng anliegt gilt $A_o = 2 \cdot A$

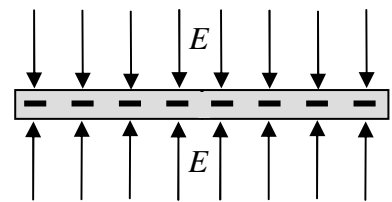
Diese Formel übertragen wir jetzt:

a) Die *Punktladung* Q wird durch eine mit Q geladene *dünne Platte* mit Flächeninhalt A ersetzt.

b) Die *Kugel* wird durch eine *flache quaderförmige Schachtel* um die Platte herum ersetzt. Liegt die Schachtel **eng** an, so beträgt ihre *Oberfläche* $A_o = 2 \cdot A$, denn die Seitenteile sind bei der extrem dünnen Platte vernachlässigbar.

c) Damit erhält die Formel $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A_o}$ für die Platte die

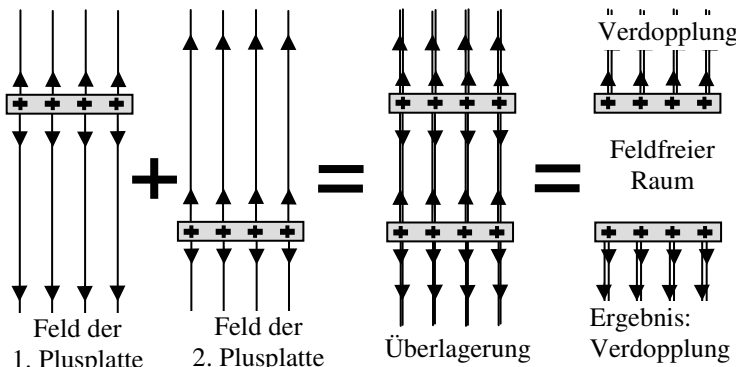
$$\text{Form } E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A_o} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{2A}, \text{ bzw. } E = \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A}$$



Die Feldstärke oben und unten beträgt $E = \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A}$

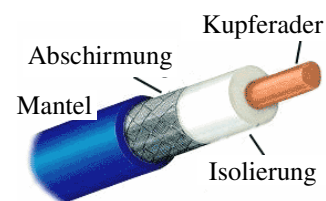
32) Überlagerung der Feldstärken von zwei gleich geladenen Platten: Faradayscher Käfig.

Bei *gleicher* Plattenladung heben sich die Felder dazwischen auf. Außen verdoppeln sie sich.

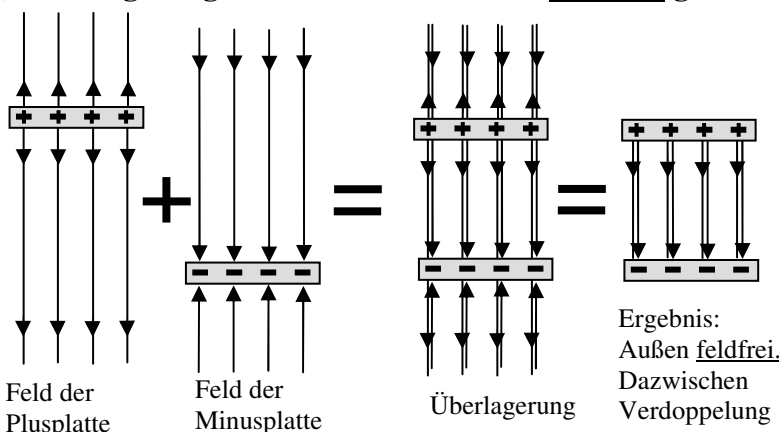


Faradayscher Käfig schützt vor Blitz.

Anwendung: Das *Koaxialkabel* ist ein Faradayschen Käfig: Mittels einer metallischen Abschirmung verläuft die eigentliche Ader auch bei äußeren Aufladung immer im feldfreien Raum.



33) Überlagerung der Feldstärken zweier ungleich geladenen Platten: Plattenkondensator.



Ergebnis:

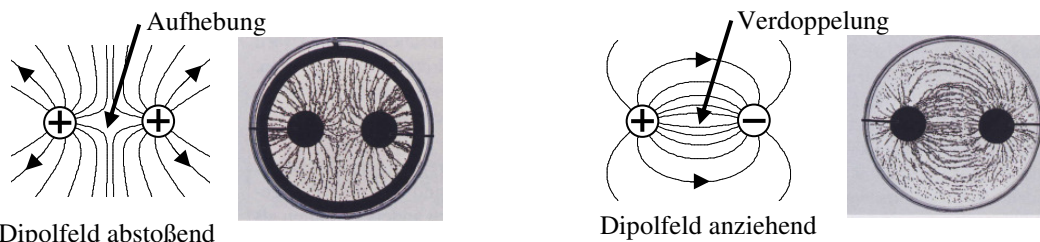
Die **Überlagerung** liefert *zwischen* den Platten eine

$$\text{Verdoppelung } E = 2 \cdot \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A}$$

Die Feldstärke zwischen den

$$\text{Platten beträgt } E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A}$$

34) **Dipolfelder:** Bei zwei felderzeugenden Punktladungen muss man die Feldstärken punktwise *vektoriell* addieren. Das erfordert zeichnerisches Geschick. Ergebnisse:

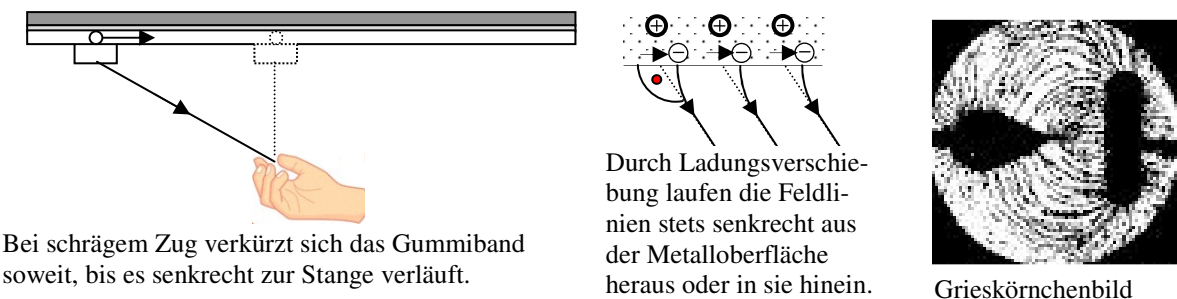


Elektrische Feldlinien schematisch: Sie beginnen jeweils am Pluspol und enden, wenn vorhanden, am Minuspol.

35) **Metalloberfläche mit schräg auflaufenden Feldlinien.**

Laufen die Feldlinien schräg auf eine Metalloberfläche zu, so verschiebt die Feldkraft die Elektronen in der Metalloberfläche so, dass die Feldlinien anschließend *senkrecht* austreten.

Veranschaulichung: Zieht man einen Gardinenroller mit einem Gummiband von schräg, so rollt er soweit, bis das Gummiband senkrecht zur Gardinerstange verläuft.



Bei schrägem Zug verkürzt sich das Gummiband soweit, bis es senkrecht zur Stange verläuft.

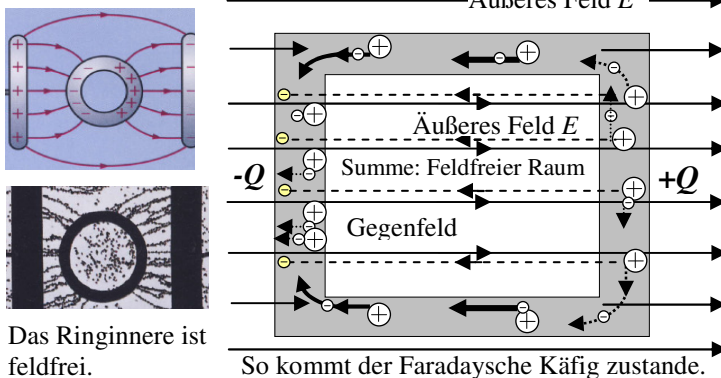
Durch Ladungsverschiebung laufen die Feldlinien stets senkrecht aus der Metalloberfläche heraus oder in sie hinein.

Grieskörnerbild

36) **Der Faradaysche Käfig im äußeren elektrischen Feld.**

Liegt ein Metallrahmen in einem äußeren elektrischen Feld, (z.B. beim Gewitter) so verschiebt die Feldkraft die beweglichen Elektronen des Metallrahmens. In der Abb. verläuft das äußere Feld von links nach rechts.

Deshalb erfahren die frei beweglichen Elektronen eine Kraft von rechts nach links. So entsteht im linken Schenkel ein Elektronenüberschuss, während rechts Löcher zurück bleiben. Zwischen diesen entsteht ein Gegenfeld, welches das ursprüngliche äußere Feld vollständig kompensiert. Dadurch wird das Innere feldfrei.

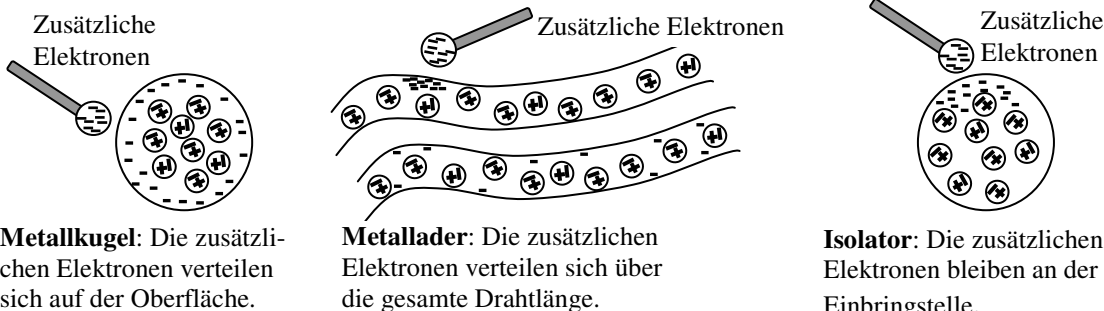


Das Ringinnere ist feldfrei.

So kommt der Faradaysche Käfig zustande.

37) **Aufbringen zusätzlicher Ladungen auf Leiter bzw. Isolator: Ladungsverteilung.**

Werden auf ein Metall **zusätzliche** Ladungen aufgebracht, so verteilen sie sich wegen der **gegenseitigen Abstoßung** und wegen der **freien Beweglichkeit** auf der gesamten Metalloberfläche. Das Kugellinnere bleibt elektrisch *neutral*.



Metallkugel: Die zusätzlichen Elektronen verteilen sich auf der Oberfläche.

Metallader: Die zusätzlichen Elektronen verteilen sich über die gesamte Drahtlänge.

Isolator: Die zusätzlichen Elektronen bleiben an der Einbringstelle.

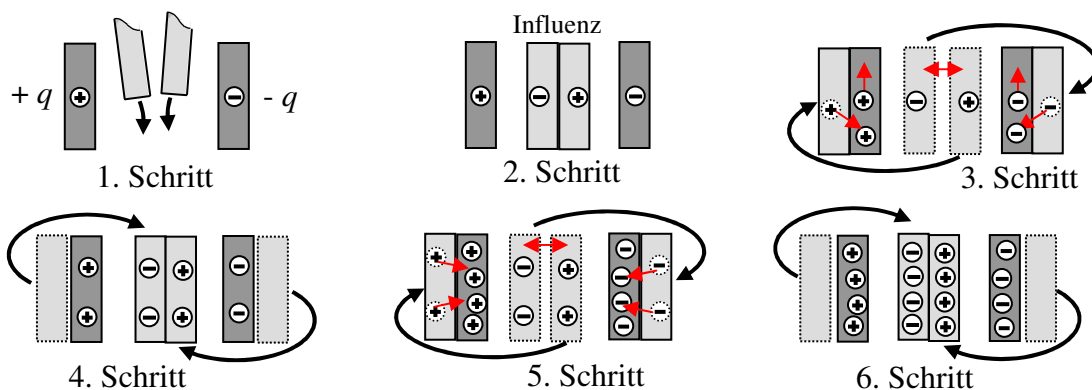
38) **Influenz = Beeinflussung** der **Ladungsverteilung** durch eine andere Ladung.

Versuch:

- Vor zwei sich berührende ungeladene Metallkugeln wird von links eine positiv geladene Folie gehalten.
- Die Folie zieht durch ihr Feld, auch ohne Berührung, Elektronen von beiden Kugeln zu sich.
- Dadurch kommt es auf der linken Seite der linken Kugel zu einem Elektronenüberschuss, also einer **negativen** Aufladung.
- Auf der rechten Seite der rechten Kugel kommt es entsprechend zu einer **positiven** Aufladung.
- Zieht man nun die beiden Kugeln auseinander, so hat man getrennte **Ladungen**. Also lässt sich durch Influenz eine Spannungsquelle konstruieren.



39) **Die Influenzmaschine als Spannungsquelle**



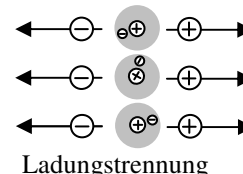
Prinzip der Influenzmaschine. (Alle Platten bestehen aus Metall)

- Zwei äußere feste Platten sind durch Zufall minimal mit $\pm q$ geladen.
- Zwischen die äußeren Platten werden jetzt zwei zusammengehaltene ungeladene bewegliche Platten gebracht. Auf ihnen bewirkt Influenz dann eine Ladungstrennung.
- Die beiden beweglichen Platten werden nun auseinander gezogen und umgekehrt nach außen gebracht. Ihre Ladungen fließen dann auf die Innenseiten der festen Platten, so dass diese nun *doppelt* geladen sind.
- Die jetzt ungeladenen beweglichen Platten werden erneut zusammen gelegt nach innen gebracht, so dass erneut Ladungstrennung erfolgt.
- Das Spiel wiederholt sich. Nach z.B. zwanzig Umladungen hat man mit einer 1 048 576- fachen Anfangsladung eine enorme **Hochspannung**.



40) **Definition der Spannung**

Die Influenzmaschine zeigt, dass zur Ladungstrennung und zum Spannungsaufbau Arbeit erforderlich ist. Elektrische Spannung und elastische Spannung sind ähnlich. Deshalb ver-



anschaulichen wir den Spannungsbegriff am Expander-Sportgerät: Die Spannung der Bänder hängt *nur* von deren Auszugslänge ab. Für die Spannung *eines* Bandes muss ich *eine* Arbeitsportion verrichten. Will ich *drei* Bänder genauso spannen wie das eine, so muss ich *drei* Arbeitsportionen verrichten. Der Arbeitsaufwand ist also proportional zur Anzahl der Bänder. Also gilt Spannung = Arbeit *pro* Anzahl der Bänder .

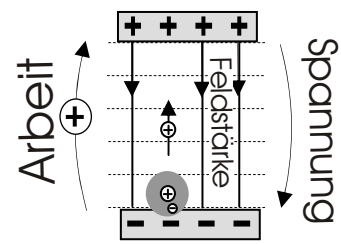
Entsprechend ist es bei der elektrischen Spannung U:

Die Spannung besteht zwischen den einzelnen *getrennten* Plus-Minus-Ladungspaaren.

Will ich mehr Ladungspaare trennen, so muss ich entsprechend mehr Trennarbeit verrichten.

Also: $\boxed{\text{Spannung} = \text{Arbeit } \textit{pro} \text{ Ladung}}$. Als Formel: $\boxed{U = W / Q}$.

In der Abb. wird eine **positive Probeladung** vom unteren Blech abgetrennt und unter **Arbeitsaufwand** auf das obere Blech transportiert. Dadurch wird das obere Blech positiv und das untere negativ geladen. Zwischen dem oberen und dem unteren Blech besteht dann eine *elektrische Spannung* und ein *elektrisches Feld*. Feld und Spannung zählen von Plus nach Minus, denn sie wollen die Ladungstrennung *rückgängig* machen. Daher gilt:

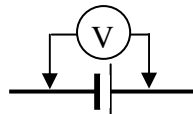


Feld und Spannung bestehen zwischen getrennten Ladungen. Sie zählen von Plus nach Minus.

Die Maßeinheit der elektrischen Spannung ist *Volt*. Wegen $U = W / Q$ gilt $\boxed{V = J / C}$



Schaltzeichen des Voltmeters



Die Spannungsmessung erfolgt in Parallelschaltung.



Damit kein Fehlstrom durch das Voltmeter fließt, sollte sein Innenwiderstand möglichst groß $\rightarrow \infty$ gehen.

Aufgaben

- 1) Leite Formel $E = Q / 2 \epsilon_0 \cdot A$ für die Feldstärke oberhalb und unterhalb einer Platte her.
- 2) Wenn sich zwei *gleich* geladene Platten bzw. Punktladungen gegenüberstehen, entsteht zwischen ihnen ein feldfreier Raum bzw. ein feldfreier Punkt. Erkläre dies.
- 3) Wenn sich zwei *ungleich* geladene Platten bzw. Punktladungen gegenüberstehen, entsteht zwischen ihnen im ganzen Raumbereich bzw. an einem Punkt eine Feldverdopplung. Erkläre dies.
- 4) Leite Formel $E = Q / \epsilon_0 \cdot A$ für die Feldstärke innerhalb eines Plattenkondensators her.
- 5) Beschreibe, wie ein äußeres Feld aus einem Metallrahmen durch Ladungsverschiebung heraus gedrängt wird.
- 6) Beschreibe das Verhalten von Zusatzladungen auf einer Metallkugel, einer Metallader und einem Isolator.
- 7) Erkläre die Influenz am Beispiel von zwei Metallkugeln und einer geladene Folie.
- 8) Erkläre das Prinzip der Ladungstrennung bei der Influenzmaschine.
- 9) Erkläre, warum die Ladungstrennung bei der Influenzmaschine Arbeit erfordert.
- 10) Erkläre, warum 20-fache Ladungstrennung die Anfangsladung ver.. 1 048 576- facht.
- 11) Erläutere die Definition $U = W / Q$ der elektrischen Spannung anhand der Analogie mit dem Expander-Sportgerät.
- 12) Erkläre, wie sich die Maßeinheit „Volt“ der elektrischen Spannung auf andere Maßeinheiten zurückführen lässt.
- 13) Vergleiche die Richtung der elektrischen Feldstärke E mit der Zählrichtung der Arbeit W und der elektrischen Spannung U .
- 14) Erkläre, ob ein Voltmeter parallel zur Spannungsquelle oder zu einem Widerstand, bzw. einem Verbraucher geschaltet werden muss, oder ob die Reihenschaltung die richtige Wahl ist.
- 15) Voltmeter und Amperemeter haben auf Grund ihrer Konstruktion einen unvermeidlichen *inneren Widerstand*. Frage: Sollte der innere Widerstand bei diesen Instrumenten eher null oder eher unendlich sein? Erkläre.