VII. Elektrisches Feld

1. Krafiwirkungen zwischen Punktladungen

1.1 Ladungsarten und Ladungseigenschaflen

Neutrale Ladung: Ladungsausgleich
Positive Ladung: Elektronenmangel
Negative Ladung: Elektronenüberschuss

Erhaltlmgssatz der elektrischen Ladung:
Im abgeschlossenen System ist die elektrische Ladung konstant.

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnami ge Ladungen ziehen sich an.

Die elektrische Lgadung besitzt Mengencharakter.
Ladungen kommen nur gequantelt vor (Elementarladung : e = $1{,}6022 \cdot 10^{-19}$C).

<u>Ladungsmessung</u>

a. **Statische Ladung**
Messung mit dem Elektroskop; Gleichnamige Ladungen sind auf dem beweglichen und festen Teil
⇒ Abstoßung, Ausschlag.

b. **Bewegte Ladungen**
Bewegte Ladungen stellen einen elektrischen Strom dar.

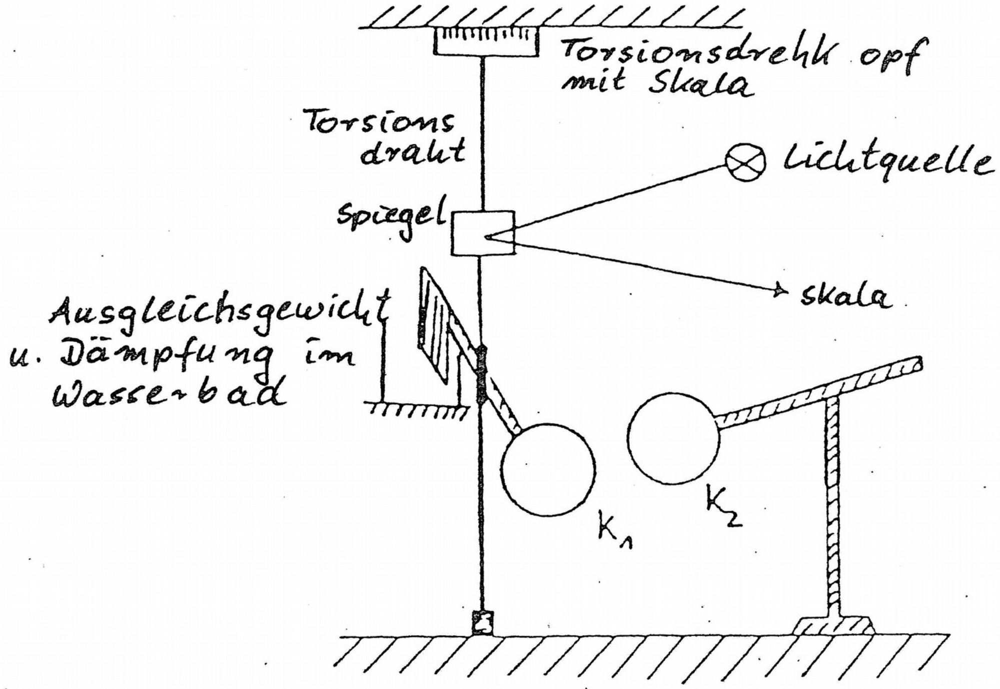
$$Stromstärke = \frac{beförderte\ Ladung}{benötigte\ Zeit} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{Q}{t} \;\Rightarrow\; Q = I * t \qquad [Q] = 1As = 1C \text{ „kulo“}$$

Messung z.B. mit Drehspul-, Dreheisenmessgerät

c. Ladungsmessung mit dem Messverstärker:
Man unterscheidet:
   1. **Ballistische Messung**
   kurzzeitig geflossene Ladungen werden durch einen Stoßausschlag angezeigt
   2. **Statische Messung**
   Ladungen gleichen Vorzeichens addieren sich (Laden eines Kondensators).
   Der Messverstärker zeigt die Summe der Lachmgen an

1.2 Gesez von Coulomb

Versuch : Torsionsdrehwaage zum Coulombschen Gesetz



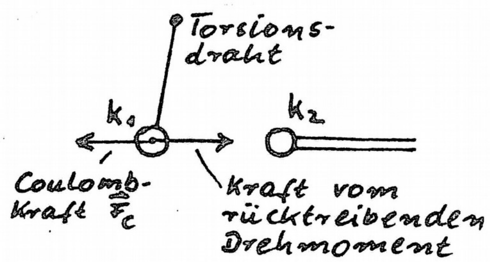
Versuchsdurchführung :

Am austariertenGestänge einer Drehwaage ist isoliert eine Metallkugel K_1 befestigt. In einer Ebene senkrecht zum Torsionsdraht in derselben Höhe wie K_1 und veränderbarem Mittelpunktsabstand befindet sich isoliert eine gleich große Metallkugel K_2 .

Beide Kugeln werden kurzzeitig mit dem gleichen Pol einer Stromquelle verbunden. Auf ihnen befinden sich dann die Ladungen Q_1 bzw. Q_2 . Zwischen den geladenen Kugeln wirkt die Coulombkraft, die zu einer Abstoßung der beweglichen Kugel K_1 führt.
Der Torsionsdraht erzeugt bei Verdrehung des Gestänges ein rücktreibendes Drehmoment, das in guter Näherung zum Drehwinkel proportional ist. Der Drehwinkel ist somit ein Maß für die abstoßende Kraft. Er wird mit Hilfe des Lichtzeigers abgelesen.

Die Kraft kann auch direkt durch Zurückdrehen des Torsionskopfes bestimmt werden.

Die Kraftmessung erfolg über ein Kräftegleichgewicht stationär (in Ruhe). Die Kraft vom rücktreibenden Drehmoment des Torsionsdrahtes ist entgegengesetzt gleich der Coulombkraft (abstoßende elektrische Kraft zwischen gleichnamigen Ladungen).



Man misst die Coulombkraft zwischen den geladenen Kugeln in Abhängigkeit vom Abstand r (Entfernung der Kugelmittelpunkte) und der Ladungen Q_1 und Q_2 .

Zusammenhang zwischen der Kraft F und dem Abstand r

($Q_1 = Q_2$ = Konstant)

r in 10^{-2} m	10	14,1	17,3	20
F in 10^{-4} N	6,5	3,3	2,2	1,6
F*r² in 10^{-6} Nm²	6,5	6,6	6,6	6,4

⇒ F*r² = K   bzw.: **F ~ 1/r²**

Zusammenhang zwischen der Kraft F und den Ladungen

Kugelpaar	Ladungen	Kraft	Produkt der Ladungen
1 – 1	Q, Q	F	Q²
2 – 1	Q/2, Q	F/2	Q²/2
2 – 2	Q/2, Q/2	F/4	Q²/4
3 – 2	Q/4, Q/2	F/8	Q²/8

Aus der Tabelle folgt: F ~ $Q_1 * Q_2$

und mit F ~ 1/r² ⇒ $F \sim \frac{Q_1 * Q_2}{r^2}$

Die Einheit der Ladung ist das Coulomb (C).
Zwei gleichnamige Ladungen von je einem Coulomb in einem Meter Entverunung, stoßen einander mit der Kraft F = 9 * 10^9N ab.
Damit kann man den Proportionalitätsfaktor im Coulombgesetz festlegen.

$$9*10^9 N = K*\frac{1C*1C}{1} m^2 \;=>\; K = 9*10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Man schreibt K üblicherwise in der Form $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ mit ε_0 = elektrische Feldkonstante

⇒ Coulombgesetz:

	Einheit	
$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$	1N	Coulombkraft
q_1, q_2	1C	Ladungen der beiden Körper
r	1 m	Abstand der Schwerpunkte
ε_0 = 8,854 10^{-12}	1 C^2/Nm^2	Elektrische Feldkonstante

Die 4 fundametalen Wechselwirkungen

Name	Relative Stärke	Wo	Reichweite
Starke WW	1-10	In Kernen	10^{-13}m
Elektromagnetische WW	10^{-2}	Bei chemischen Reaktionen	∞
Schwache WW	10^{-14}	Bei Elementarteilchen	10^{-13}m
Gravitations-WW	10^{-40}	Überall	∞

$F_{grav} = F_C$

$$G*\frac{G_1*m_2}{r^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon}*\frac{Q_1*Q_2}{r^2}$$

$$G*m^2=\frac{Q_1*Q_2}{4\pi\varepsilon}$$

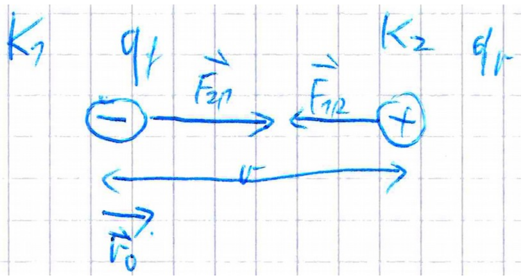
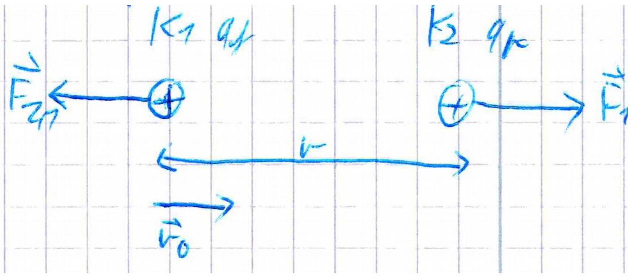
$$Q_2=\frac{G*m^2*4*\pi*\varepsilon}{Q_1}$$

$$Q_2=7,42*10^{-14}\,C$$

2. Elektrische Feldstärke

Der Raum, in dem die Columb-Kraft wirksam ist, nenen wir sein elektrisches Feld.
Zur untersuchnung elektrischer Felder, werden nur positve Probeladungen herangezogen.

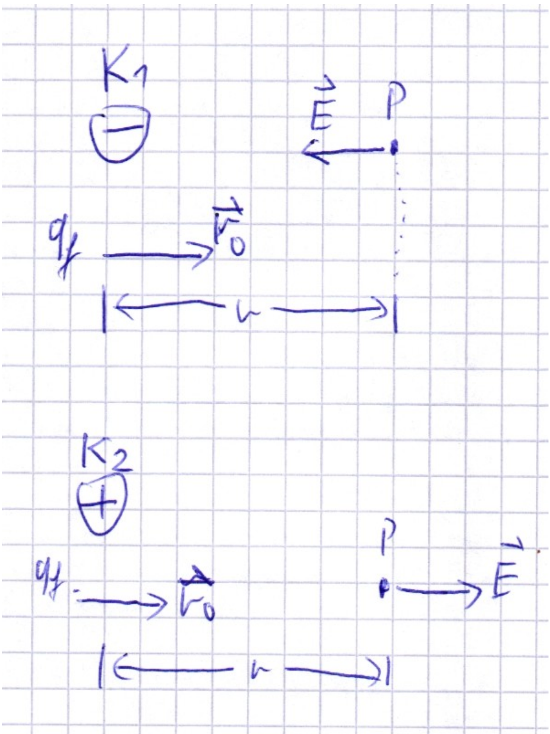
Es sei K_1 der Körper mit der felderzeugenden Ladung q_f und K_2 der Körper mit der Probeladung q_p.

	
$F_{1,2}=-\frac{1}{4\pi\varepsilon}*\frac{q_f*q_p}{r_2}*\vec{r}_0$	$F_{1,2}=+\frac{1}{4\pi\varepsilon}*\frac{q_f*q_p}{r_2}*\vec{r}_0$
$\frac{F_{1,2}}{q_p}=-\frac{q_f}{4\pi\varepsilon r^2}*\vec{r}_0$	$\frac{F_{1,2}}{q_p}=+\frac{q_f}{4\pi\varepsilon r^2}*\vec{r}_0$

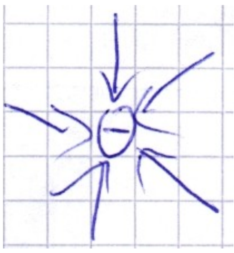
Dieser Ausdruck ist dem Betrag konstant für alle Punkte P mit gleichem Abstand r von der felderzeugenden Ladung q_f.

Diese Punkte liegen auf einer Kugelschale um K_1 im Radius r.

Definition elektrische Feldstärke:



$\vec{E}=\frac{\vec{F}_C}{q_p}$ bzw. $\boxed{E=\frac{F}{q}}$



$\vec{r}_0$ und $\vec{E}$ sind entgegengerichtet

$\vec{r}_0$ und $\vec{E}$ sind gleichgerichtet

$$\Rightarrow \quad E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}*\frac{|q_f|}{r^2}$$

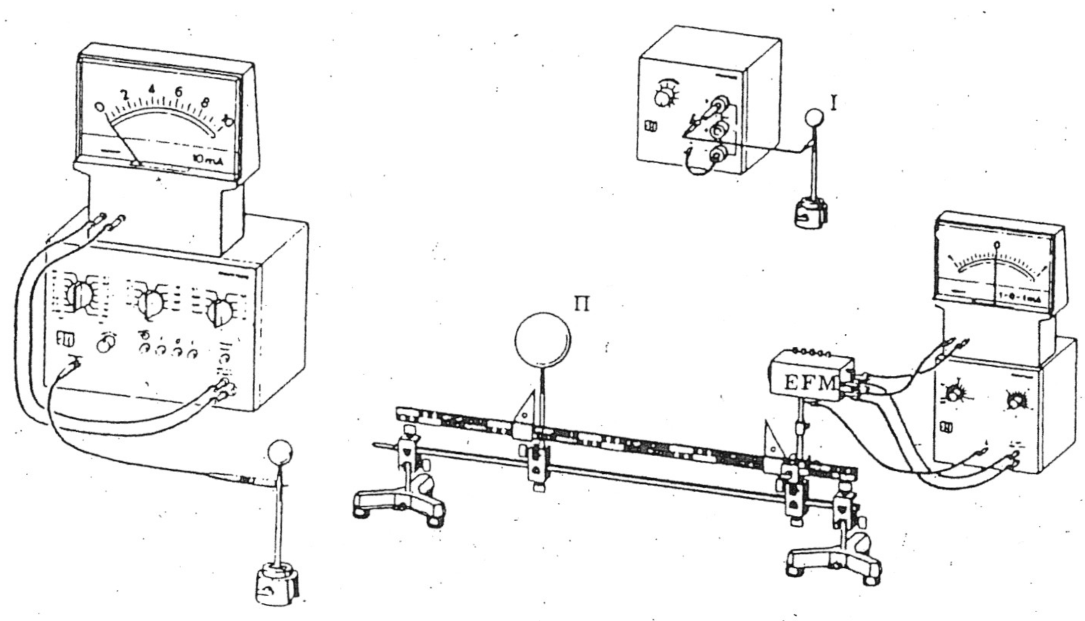
Für die **elektrische Feldstärke** des radialsymetrischen elektrischen Feldes* **einer Ladung** q **gilt**:

$\boxed{F_C=q*E}$ $\boxed{E(r)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}*\frac{q}{r^2}}$ $[E]=1\frac{N}{C}$

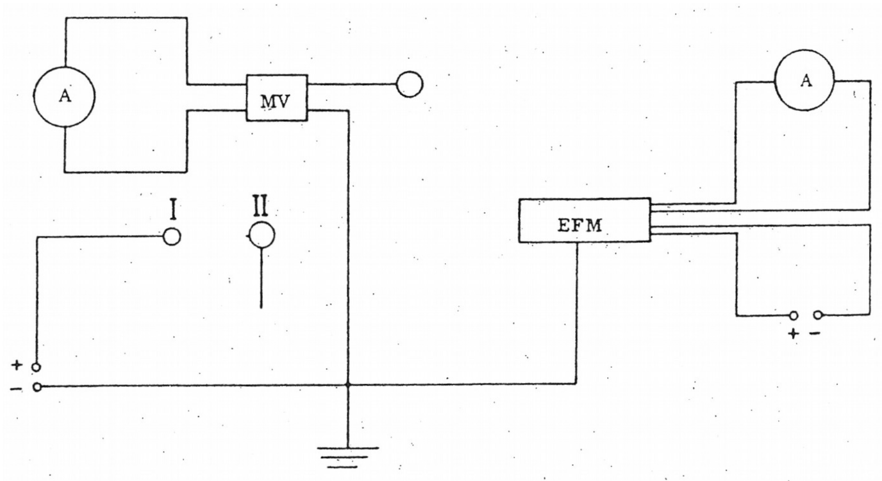
Die elektrische Feldstärke ist eine **feldbeschreibende Größe**.
* Eine isolierte elektrische Ladung, erzeugt in ihrer Umgebung ein radialsymetrisches Feld.

Experimentelle Bestätigung der Formel für das radialsymetrische elektrische Feld einer geraden Kugel mit Hilfe des Elektrofeldmeters (EFM):

Versuchsaufbau



Schaltskizze

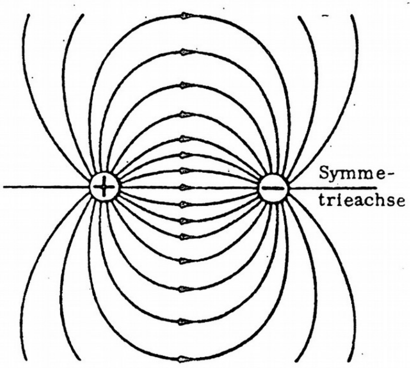


Versuchsdurchführung

Mit Hilfe eines geeichten EFM wird die elektrische Feldstärke E einer felderzeugenden Ladung q (Konduktor II) am Ort des EFM gemessen.
Durch kurzzeitiges Berühren des mit einer Stromquelle verbundenen Konduktors I wird der Konduktor II aufgeladen und trägt dann die Ladung q. Die aufgebrachte Ladung ermittelt man mit dem stromempfindlichen Meßverstärker (Ladungsmesser).
Man bestimmt die elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit von der felderzeugenden Ladung q bei konstantem Abstand r (Entfernung von EFM und Mittelpunkt des Konduktors II) bzw. in Abhängigkeit vom Abstand r bei konstanter Ladung q.

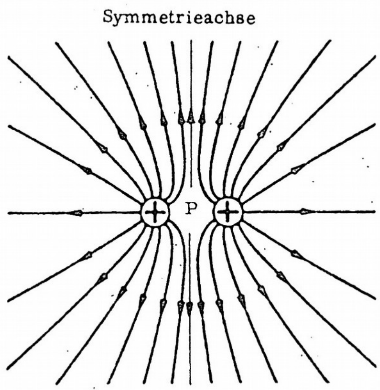
3. Feldlinienbilder

1. Feld zweier gegengleich geladener Metallkugeln



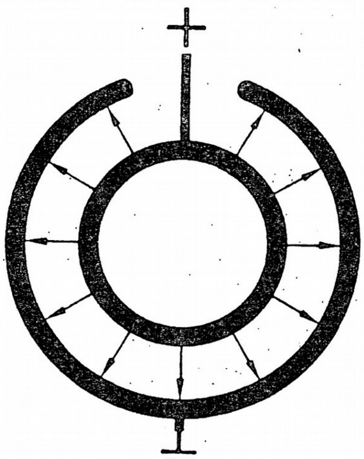
Symmetrieachse ist die Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte.
In keinem Punkt nimmt die Feldstärke den Wert Null an.
Dieses Feld besitzt kein Analogon bei Gravitationsfeldern.

2. Feld zweier gleich geladener Metallkugeln



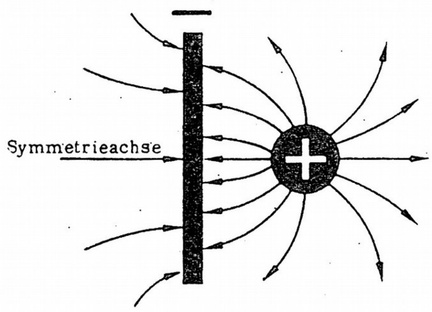
Im Punkt P hat die Feldstärke den Wert Null.
Symmetrieachse ist die Mittelsenkrechte zur Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte. Analogon zum Gravitationsfeld eines Systems zweier massegleicher Körper (vgl. Doppelsternsystem).

3. Feld zweier verschieden geladener konzentrischer Ringe



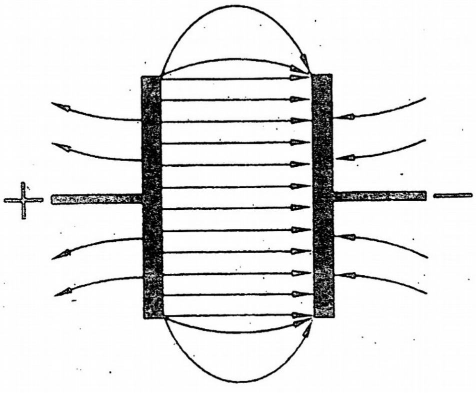
Es liegt ein radialsymmetrisches Feld vor (Symmetriezentrum = Mittelpunkt). Durch die äußere Ringelektrode wird das Feld nicht verformt (gestört), sondern nur nach außen begrenzt. Der Innenraum der inneren Ringelektrode ist feldfrei (Faraday-Käfig).
Keine Analogie zum Gravitationsfeld.

4. Feld einer positiv geladenen Metallkugel mit geerdeter Metallplatte



Das Feld ist symmetrisch zur Mittelsenkrechten auf die Metallplatte.
Das Feld ist nicht radialsymmetrisch, es ist inhomogen.
Keine Analogie zum Gravitationsfeld.

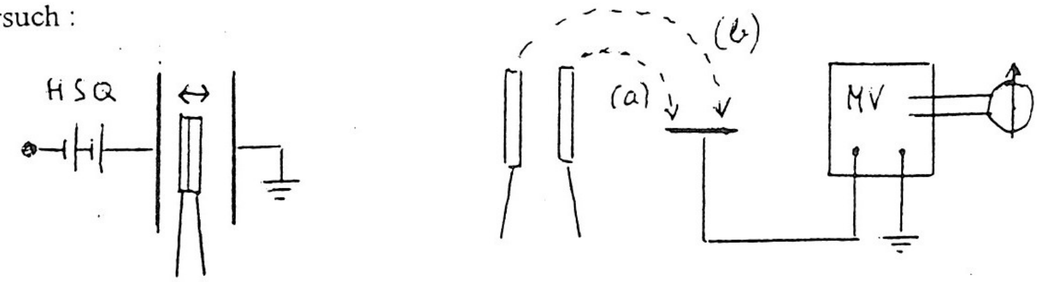
5. Feld zweier ungleichnamig geladener Platten (Plattenkondensator).



Überall in Betrag und Richtung gleiche Feldstärke (Feldlinien verlaufen parallel (Richtung!) und äquidistant (Betrag!)). Analogon zum homogenen Gravitationsfeld.
Dabei entspricht die negative Platte der Erdoberfläche. Der Innenraum des Kondensators besitzt ein homogenes Feld, der Rand ein inhomogenes Feld. Im Außenraum ist das Feld stark geschwächt.

4. Influenz

Versuch :



Durchführung : Die ungeladenen Doppelplatten werden in das Feld einesPlattenkondensators gebracht. Anschließend werden die Platten im Feld getrennt und einzeln mit dem MV in Berührung gebracht.

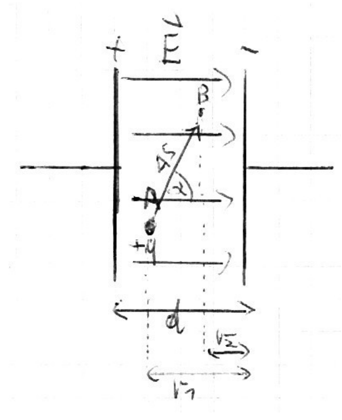
Ergebnis : Der zunächst sichtbare Ausschlag des Anzeigegerätes bei (a) geht nach Berühren mit der zweiten Platte (b) auf Null zurück.

Erklärung : In der Doppelplatte werden durch den Einfluss des elektrischen Feldes Ladungen getrennt.

<u>Diese Ladungstrennung unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes heißt Influenz.</u>

5. Verschiebungsarbeit im elektrischen Feld

5.1 Arbeit beim Verschieben einer Probeladung im homogenen Feld



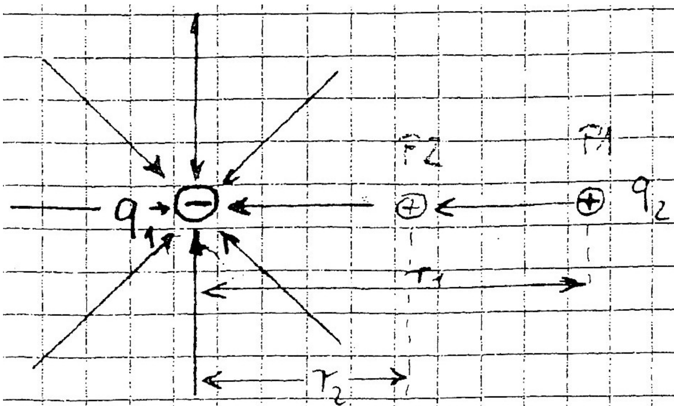
$$W=\vec{F}_C*\Delta\vec{s}$$
$$W=\vec{q}*\vec{E}*\Delta\vec{s}$$
$$W=\vec{q}*\vec{E}*\Delta s*\cos(\alpha)$$
$$\cos(\alpha)=r_1-r_2$$

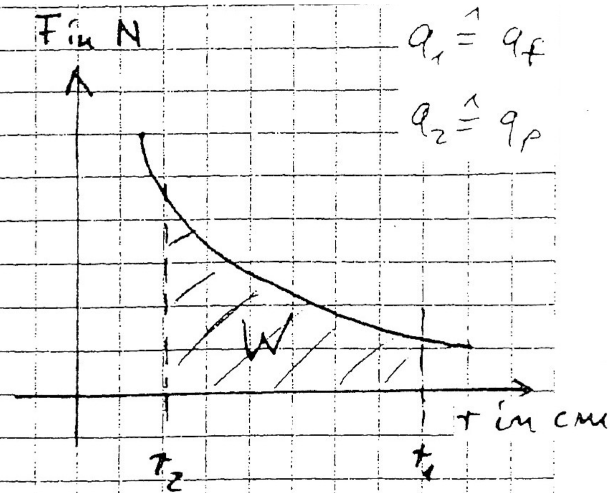
$$\Rightarrow \boxed{W=q*E*(r_1-r_2)}$$

Vergleich Gravitationsfeld elektrisches Feld bezüglich:

Vergleich	Grafitationsfeld	Elektrisches Feld
Kraft	$F_G = m*g$	$F_C = q * E$
Arbeit	$W = m*g*\Delta S$ $W = m * g * (S_2 - S_1)$	$W = q * E * \Delta S$ $W = q * E * (r_1 - r_2)$ $W > 0$: Arbeit wird vom Feld verrichtet $W < 0$: Arbeitsafuwand von außen

5.2 Arbeit beim Verschieben einer Probeladung im radialsymetrischen Feld





$q_1 \hat{=} q_f$

$q_2 \hat{=} q_p$

Verschiebungsarbeit von P1 nach P2:

$$W_{1/2} = \int_{r_1}^{r_2} F(r)\,dr$$

$$W_{1/2} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}\,dr = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r^2}\,dr$$

$$W_{1/2} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0} \left[-\frac{1}{r}\right]_{r_1}^{r_2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \left[-\frac{1}{r_2} - \left(-\frac{1}{r_1}\right)\right]$$

$$W_{1/2} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0} \left(-\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_1}\right)$$

$$\boxed{W_{1/2} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}$$

$W > 0$: Arbeit wird vom Feld verrichtet

$W < 0$: Arbeitsaufwand von außen

6. Potenzielle Energie im elektrischen Feld

Das Bezugsniveau liegt im Unendlichen ∞, d.h.
E_{pot} = 0 liegt im Unendlichen und somit auch r_1.
Verschiebungsarbeit vom Unendlichen in de Enterfnung r_2 zur felderzeugenden Ladung:

$$W_{verschiebung} = \frac{q_1 * q_2}{4\pi\varepsilon_0} * \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$W_{verschiebung} = -\frac{q_1 * q_2}{4\pi\varepsilon_0} * \frac{1}{r_2}$$

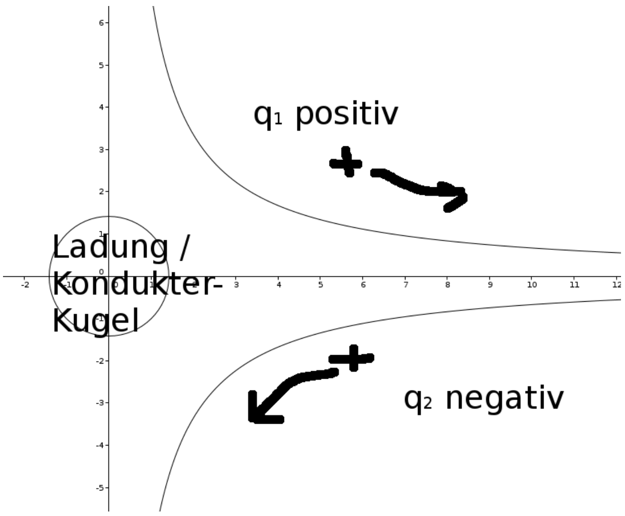
$$E_{Pot} = |-W_{Verschiegung}|$$

=> $E_{Pot} = \frac{q_1 * q_2}{4\pi\varepsilon_0} * \frac{1}{r}$

Bsp:

$|E_{pot}|$ = $\frac{q_1 * q_2}{4\pi\varepsilon_0} * \frac{1}{r} = \frac{5{,}0 * 10^{-9} C * 1{,}5 * 10^{-9} C}{4 * \pi * 8{,}85 * 10^{-12} C^2/Nm^2}$

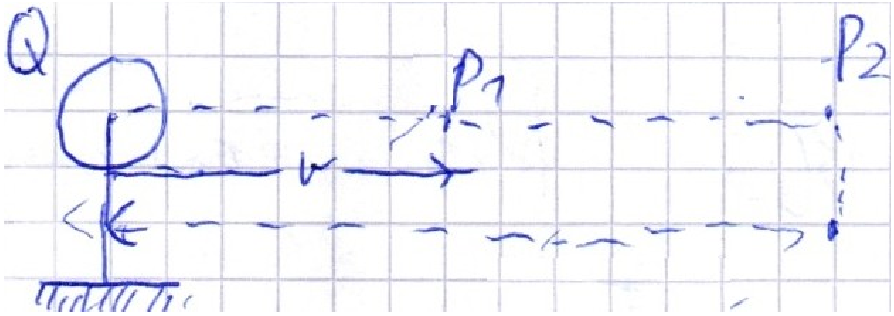
= $6{,}7 * 10^{-8}$ Nm² * 1/r



r in 10^{-2}m		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
$\|E_{pot}\|$ in 10^{-6} J		6,7	3,4	1,7	0,84	0,67

7. Das elektrische Potenzial

Im elektrischen Feld der Lagjnq befindet sich im abstand r_1 die positive Probeladung q_p.



Für die Verschiebungsarbeit von q_p vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 gilt:

$$\mathrm{W(r1,r2)}=\frac{Q*q_p}{4\pi*\varepsilon}*(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})=\frac{Q*q_p}{4\pi*\varepsilon}*\frac{1}{r_1}-\frac{Q*q_p}{4\pi*\varepsilon}*\frac{1}{r_2} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{W(r1,r2)}=E_{pot}(r_1)-E_{pot}(r_2)$$

Der Quotient aus Verschiebungsarbeit und Probeladung kann als Feldbeschreibende Größe verwendet werden, da dieser von q_p unabhängig ist

$$\frac{W(r1,r2)}{q_p}=\frac{E_{pot}(r_1)}{q_p}-\frac{E_{pot}(r_2)}{q_p}$$

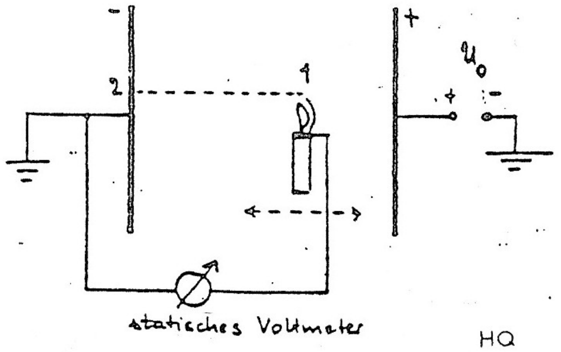
Die Größe Verschiebungsarbeit W(r_1,r$_2$)/pq wird elektrische Spannung U zwischen den Punkten P1 und P2, kurz $U_{1,2}$ genannt.

Es gilt: $\boxed{U_{1/2}=W\frac{(r_1,r_2)}{q_p}}$ [U] = 1 J/C = 1V

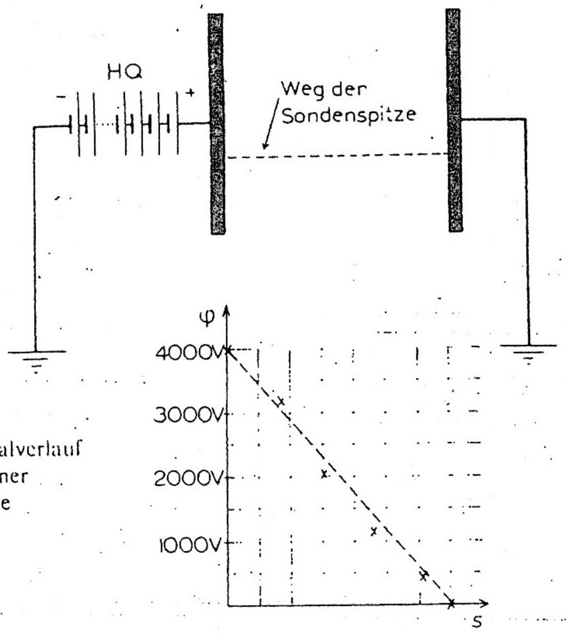
Der Ausdruck $\frac{E_{pot}(r)}{q_p}$ wird <u>elektrisches Potenzial φ(r)</u> in Punkt P genannt.

Es gilt: $\boxed{\varphi(r)=\frac{E_{pot}(r)}{q_p}}$ oder $\boxed{\varphi(r)=\frac{Q}{4\pi*\varepsilon}*\frac{1}{r_2}}$ [φ] = 1V

Versuch zum elektrischen Potential

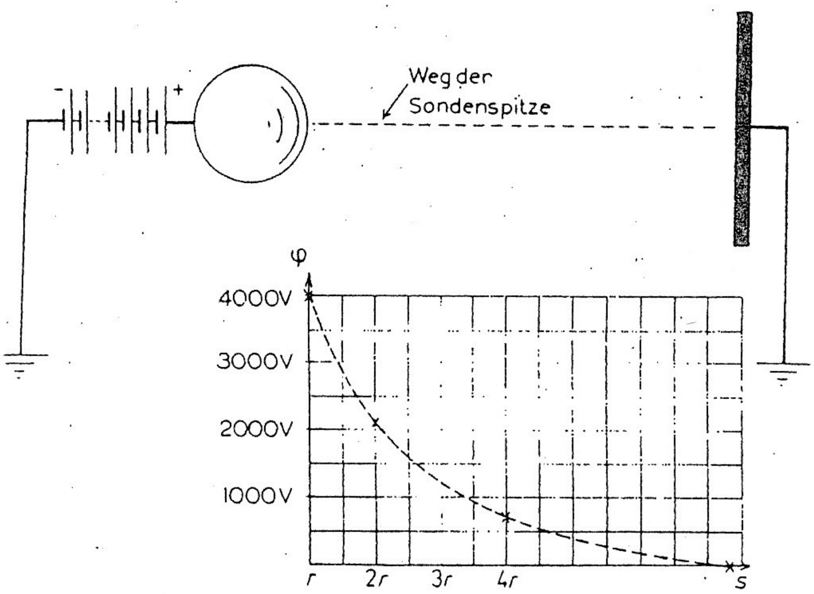


Spannungen bzw. Potentiale in elektrischen Feldern lassen sich mit der Flammensonde experimentell bestimmen.



Potentialverlauf längs einer Feldlinie

Potentialverlauf im radialsymmetischen Feld einer geladenen Kugel



Potentialverlauf längs einer Feldlinie

Ergebnis: Mit der Annäherung an die Oberfläche der geladenen Kugel wird die Potentialkurve immer steiler.

Daraus folgt, daß die Kraft auf eine Probeladung in Kugelnähe größer ist als in einiger Entfernung von der Kugel.

Fakten zum Potenzial

1. Als Bezugspunkt (Nullniveau) des Potenzials wählt man meist die Erdoberfläche.

2. Es gilt : $U_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2$

3. Für das Coulombpotenzial gilt allgemein : $\varphi = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$

4. Das elektrische Potenzial ist eine Feldgröße (Skalar) , die den einzelnen Punkten des Raumes zugeordnet ist. Eine Potenzialdifferenz bezieht sich dagegen ebenso wie die Spannung auf zwei Punkte.

5. Alle Punkte in der Umgebung einer felderzeugenden Ladung, die gleich große elektrische Potenziale besitzen, bilden eine sogenannte Äquipotenzialfläche .

6. Für einen Plattenkondensator (homogenes Feld gilt) :

$$U = \frac{W}{q} = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} = E \cdot d \qquad \text{bzw.:} \quad \boxed{E = \frac{U}{d}}$$

Bezugspunkt für das Potenzial ist in der Regel die negative Platte.

Zusammenfassung

Elektrische Felder können mit Hilfe

1. der elektrischen Feldstärke E (vektorielle Größe)
2. des elektrischen Potentials φ (skalare Größe)

beschrieben werden.

Der Potentialwert eines Feldpunktes hängt von der Wahl des Bezugspunktes ab. (Änderung des Nullniveaus bedeutet für die Graphen im $x - \varphi$ – Diagramm bzw. im $r - \varphi$ – Diagramm eine Parallelverschiebung.)

Punkte gleichen Potentials werden durch Flächen verbunden ; man erhält so „Äquipotentialflächen". Sie dienen der Veranschaulichung der Felder ; vgl. mit Feldlinienbildern.

Bei Verschiebung einer Ladung innerhalb einer Äquipotentialfläche ist keine Arbeit aufzuwenden. Die elektrischen Feldlinien schneiden somit die Äquipotentialflächen stets senkrecht.

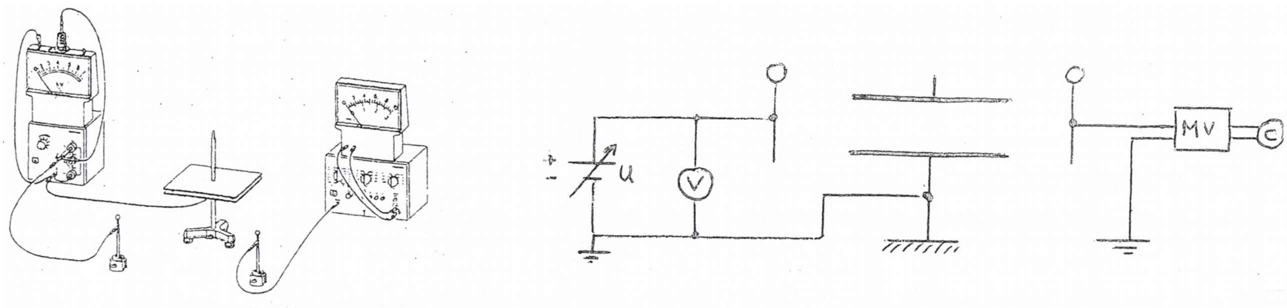
Im homogenen elektrischen Feld sind die Äquipotentialflächen Parallelebenen senkrecht zur Feldrichtung. ; bei einem radialen Feld sind es konzentrische Kugeln, deren Mittelpunkte mit dem Mittelpunkt der geladenen Kugel bzw. der „Punktladung" zusammenfallen.

DasPotential steigt in Richtung positiver felderzeugender Ladungen an, also entgegen der Feldrichtung.
Freie positive Probeladungen bewegen sich in Richtung abnehmenden Potentials (in Feldlinienrichtung) ; freie negative Punktladungen in Richtung zunehmenden Potentials (gegen Feldlinienrichtung).

Wenn man die Potentialwerte in einem elektrichen Feld kennt, kann man die Überführungsarbeit einer Probeladung sofort berechnen.
Überführungsarbeiten in elektrischen Feldern sind vom Weg unabhängig.

8. Kapazität eines Kondensators

a) Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Spannung und Ladung am Kondensator



U in KV	1,5	2,0	2,6	3
Q in µC	0,31	0,40	0,49	0,56
$\frac{Q}{U}$ in $\frac{nC}{V}$	0,21	0,20	0,19	0,19

Ergebnis: im Ramen der Messgenauichkeit gilt:
$\frac{Q}{U} = Konstant$ bzw. $Q \sim U$

⇒ $\boxed{Q = C * U}$ [C] = 1 C/V = 1 Farad = 1F

Der Proportionalitätsfaktor C heist Kapazität des Kondensator.
Er ist ein Maas dafür welche Ladungsmenge der Kondensator aufnehmen kann.

b) Abhängigkeit der Kapazität von der Plattenfläche A und dem Plattenabstand d

Messungen ergeben:

C ~ A \
⇒ $C = \varepsilon_0 * A/d$ mit ε_0 = elektrische Feldkonstante
C ~ 1/d /

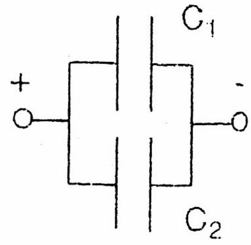
Ist der Kondensatorinnenraum mit einem Stoff (Dielektrikum) ausgefüllt, so erhöht sich die Kapazität (Durch influenz ist „dichtere Packung“ der Ladungen möglich).

Dielektrikum → bildet Dipole bei Influenz

Es gilt: $\boxed{C = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * \frac{A}{d}}$ mit ε_r = Dielektrizitäts-Konstante

c) Schaltung von Kondensatoren

1. Parallelschaltung von Kondensatoren



Parallelschaltung von Kondensatoren

Die zwischen den Kondensatorplatten angelegte Spannung ist für alle parallelgeschalteten Kondensatoren gleich groß (2. Kirchhoff-Regel).

Es gilt: $U_0 = U_1 = U_2$

Die insgesamt auf den Platten gespeicherte Ladung addiert sich zur gesamten beim Einschalten des Stromes bewegten Ladung Q_0 auf.

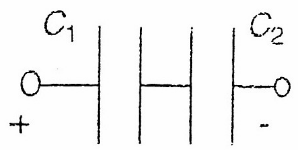
Es gilt: $Q_0 = Q_1 + Q_2$ mit $Q = C \cdot U$ folgt

$$C_0 \cdot U_0 = C_1 \cdot U_1 + C_2 \cdot U_2 \qquad |:U$$

$$\Rightarrow \quad C_0 = C_1 + C_2$$

oder allgemein: $C_{ges} = \sum_{i=1}^{n} C_i$

2. Reihenschaltung von Kondensatoren



Reihenschaltung von Kondensatoren

Die gesamte bewegte Ladung fließt zunächst auf den Kondensator 1. Durch Influenz wird auch der Kondensator 2 geladen. Für die Ladungsmengen gilt: $Q_0 = Q_1 = Q_2$

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren addieren sich die Spannungen der einzelnen Kondensatoren zur gesamten angelegten Spannung auf.

Es gilt $U_0 = U_1 + U_2$ und mit $U = \frac{Q}{C}$ $\Rightarrow$ $\frac{Q_0}{C_0} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$

Berücksichtigt man, dass die Kondensatorladungen alle gleich sind, folgt: $\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

oder allgemein: $\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$

d) Technische Kondensatoren siehe Buch S. 184-186

9. Energieinhalt eines Kondensators

Beim Laden eines Kondensators muss die Stromquelle Arbeit gegen die Wirkenden Coulombkräfte verrichten. Diese wird als elektrische Energie im elektrischen Feld des Kondensators gespeichert. Man untersucht den Zusammenhang zwischen Energie und Spannung sowie zwischen Energie und Kapazität.
Dabei ergibt sich:

$E_{el} \sim U^2$ \
⇒ $E_{el} \sim C * U^2$ bzw: $E_{el} = K * C * U^2$
$E_{el} \sim C$ /

mit K = ½ ⇒ $\boxed{E_{el} = \frac{1}{2} * C * U^2}$

10. Flächenladungsdichte

An einem Kondensator liegt die konstante Spannung U . In sein homogenes Feld werden verbundene Leiterplatten gebracht, im Feld getrennt und außerhalb des Feldes über einen Messverstärker entladen. Der Versuch wird mit Leiterplatten verschiedener Größe wiederholt und der Zusammenhang zwischen Leiterplattenfläche A und influenzierter Ladung Q untersucht.

Als Ergebnis erhält man : Q ~ A bzw.: Q/A = Konst. = D = Flächenladungsdichte oder elektrische Flussdichte

=> $D = Q/A$ $[D] = 1C/m^2$

Im Plattenkondensator gilt :

(1) $D = Q/A$
(2) $Q = C*U$
(3) $C = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * A/d$
(4) $U = E * d$

$D = C*U / A = \varepsilon0 * \varepsilon r * A * U / A*d$

$D = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * E$ (= Grundgleichung des elektrischen Feldes)

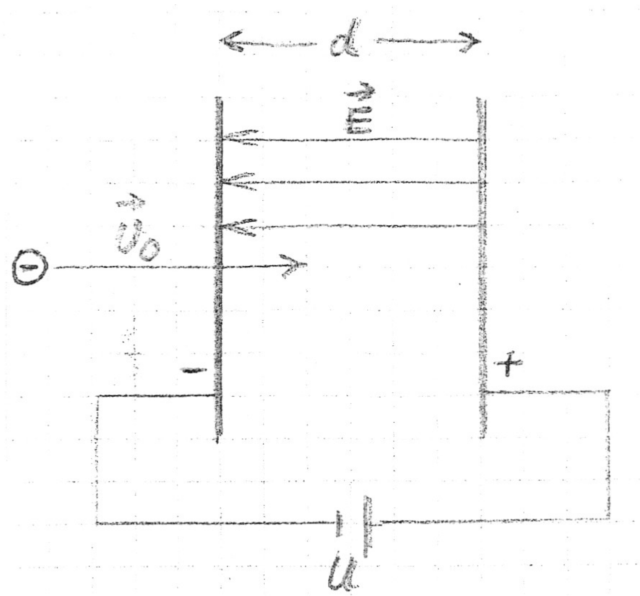
Für das radialsymmetrische Feld gilt :

$D = \varepsilon0 * E$ mit $E = 1/4*pi*\varepsilon0 * Q/r^2$

=> $D = Q/4pir^2$

11. Bewegung von geladenen Teilchen im elektrischen Längsfeld

Ein Elektron wird mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 in einen Plattenkondensator eingeschossen.



Das Elektron führt eine geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung parallel zu den elektrischen Feldlinien aus, da F_C = konstant sowie parallel und gleichgerichtet zu v_0 .

Es gitl $F_C = e * E = e*U/d$

m*a = e*U over d ⇒ $\boxed{a=\frac{eU}{md}=K}$

Ermitlung der Endgeschwindigkeit $$V_E=\sqrt{V_0^2+2as};\, s=d$$
$$V_E=\sqrt{V_0^2+2*\frac{|e|}{m}*U}$$

Ist $V_0 = 0$; so gilt Algemein: $\boxed{V_Q=\sqrt{2*\frac{|q|}{m}*U}}$ mit q/m = spezifische Ladung

Zunahem der kinetischen Energie: $\Delta E_{Kine} = E_{kinE} - E_{kinA} = 1/2mVe^2 - 1/2mV_0$
⇒ $\boxed{\Delta E_{Kin} = e*U}$ [e U] = 1Elektronenvolt = 1eV

Merke: Ein Elektroenvolt ist die Energie,die ein Elektron beim durchlaufen der Spannung 1V im Vakuum gewint

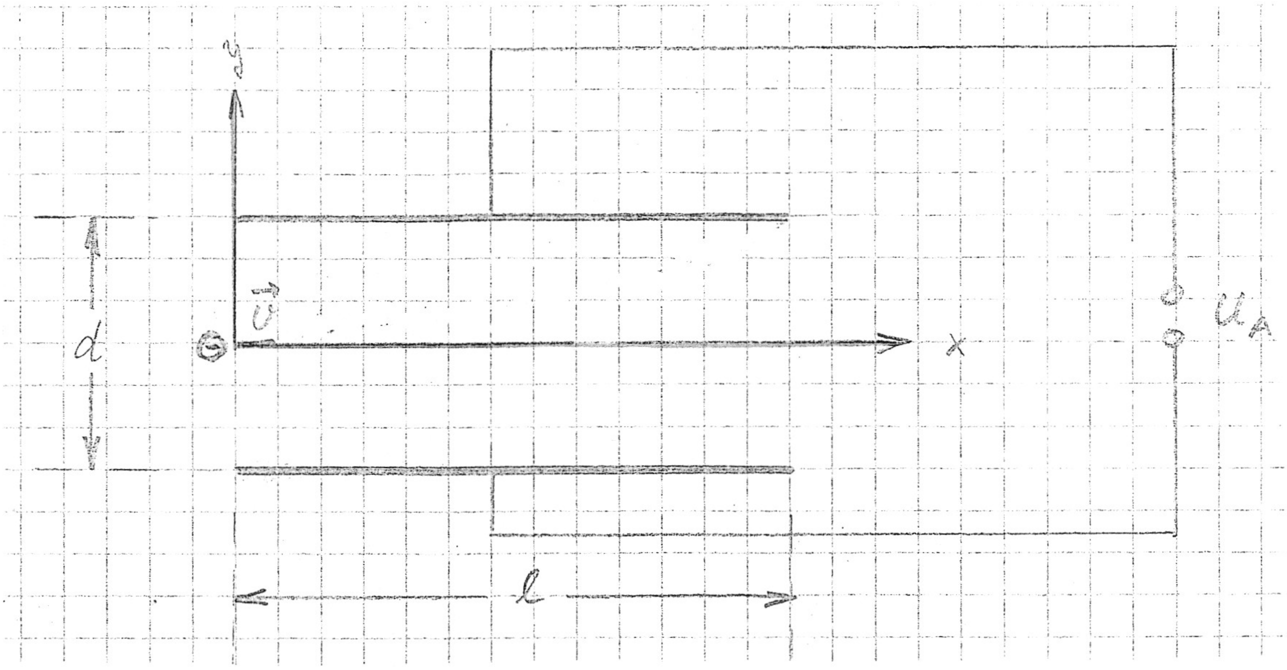
1eV = $1{,}602 *10^{-19}$J

Die Elektronen durchlaufen vor Eintritt einden Ablenkkondensator eine Beschleunigungs-Spanung U_B

→ Es Gitl: Elektrische Energie (Arbeit) = mech. Energie

-> $\boxed{e*U_B=\frac{1}{2}*m*V_0^2}$ $\quad y=\frac{e*U_A}{2*m*d*2*\frac{e}{m}*U_B}$ $\quad y=\frac{U_A}{4*d*U_B}$

12. Bewegung von geladenen Teilchen im elektrischen Querfeld



Braun'sche Röhre