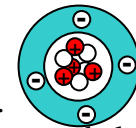


DAS ELEKTRISCHE FELD

A) Elektrische Ladung, elektrisches Feld

a) Grundlagen, Grundbegriffe, Wiederholung, Ergänzung

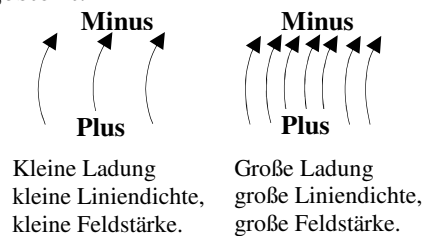
- 1) Die Elektrizität beruht auf der elektrischen *Ladung*.
- 2) Der Buchstabe der elektrischen Ladung ist Q , manchmal auch q .
- 3) Die Maßeinheit der elektrischen Ladung heißt *Coulomb*, Buchstabe C .
- 4) Seit dem Millikan-Versuch (1910) weiß man, dass jede Ladung Q ein Vielfaches der Elementarladung e ist. Es gilt $1C = 6,24 \cdot 10^{18} e$ bzw. umgekehrt $1e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.
- 5) Die elektrische Ladung hat ein positives oder negatives Vorzeichen.
- 6) Die Bezeichnungen Plus und Minus stammen von der Zahlenskala.
- 7) Gleichnamige Ladungen **stoßen sich ab**, ungleichnamige Ladungen **ziehen sich an**.
- 8) Im Rahmen der klassischen Elektrizitätslehre beruhen alle elektrischen Ladungen Q auf der Ladung des Elektrons mit $-e$ und Protons mit $+e$.
- 9) Da Atome genauso viele Elektronen in ihrer **Hülle** haben, wie Protonen im **Kern**, sind Atome nach außen hin elektrisch **neutral**.
Im Inneren herrschen jedoch große Kräfte, welche die Atome zusammenhalten.
- 10) Eine elektrische Ladung wirkt auf ihre Umgebung bis ins *Unendliche*. Eine andere elektrische Ladung wird selbst in größter Entfernung angezogen bzw. abgestoßen.
- 11) Die Übermittlung der elektrischen Kraft erfolgt durch das **elektrische Feld**.
- 12) Der Buchstabe der elektrischen **Feldstärke** ist E .
- 13) „Ladung haben“ und „Feld besitzen“ ist dasselbe. Doch: Das E kann sich von Q abkoppeln.
- 14) Das elektrische Feld ist eine Energieform. Wir lernen später: Die Energie W eines gleichmäßig mit der Feldstärke E erfüllten Volumens V beträgt $W_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot E^2 \cdot V$.
- 15) $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2 / m^2 \cdot N$ ist eine Naturkonstante, sie heißt *elektrische Feldkonstante*.
 ϵ_0 ist das elektrische Gegenstück zur Gravitationskonstante γ .



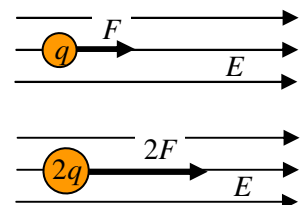
Nach außen sind Atome elektrisch neutral

16) Das elektrische Feld wird *zeichnerisch* durch **Feldlinien** dargestellt.

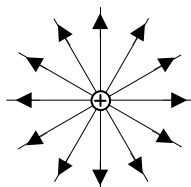
- a) Weil Ladung und Feld *zusammen gehören*, muss ein Q mit *vielen* Elementarladungen, auch *vielen* Feldlinien haben.
- b) Umgekehrt ist eine große **Feldliniendichte** ein Hinweis für eine große Ladungsansammlung.
- c) Daher entspricht die **Feldliniendichte** der **Feldstärke**.



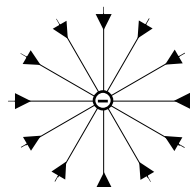
- 17) Die elektrische Feldstärke E entspricht der Gravitationsfeldstärke G , welche in Bodennähe den Wert g hat: $G(R_E) = g = 9,81 m/s^2$.
- 18) Bei bekannter Gravitationsfeldstärke G ergibt sich die Gravitationskraft F_G auf die Masse m durch $F_G = m \cdot G$, (am Boden gilt $F_G = m \cdot g$). Eine unbekannte Gravitationsfeldstärke G erhält man durch Messung von F_G (Newtonmeter) auf die Masse m (Waage) gem. $G = F_G / m$.
- 19) Genauso ist es bei der Elektrizität: Um eine unbekannte elektrische **Feldstärke** E zu ermitteln, messen wir die **Kraft** F_{el} , die das Feld auf eine Testladung = Probeladung q ausübt. Die Gleichung $E = F_{el} / q$ liefert dann die **Messformel** für die Feldstärke.
- 20) Aus der Messformel für die Feldstärke folgt deren Maßeinh. N/C .
- 21) Die Probeladung q wird grundsätzlich **positiv** gewählt. Deshalb wird q vom PLUSPOL abgestoßen und die Feldlinien laufen dort *heraus*. In den MINUSPOL laufen sie entsprechend *hinein*.



Verdoppelung der Probeladung verdoppelt die Kraft. Aber der Quotient $E = F_{el} / q$ für die Feldstärke bleibt gleich.

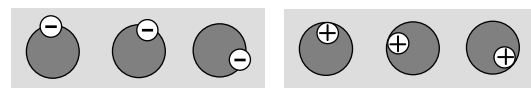


Auslaufende Feldlinien



Einlaufende Feldlinien

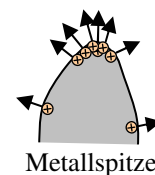
- 22) Metalle besitzen *frei bewegliche* Ladungsträger. Ist das Metallstück negativ aufgeladen, so sind die zusätzlichen **Elektronen** frei beweglich. **Nur sie** bewegen sich beim Stromfluss.



Negativ bzw. positiv geladenes Metallstück

- 23) Ist das Metall positiv aufgeladen, so werden Elektronen entnommen und die entstandenen Fehlstellen = **Löcher** sind frei beweglich. **Nur sie** bewegen sich beim Stromfluss.

- 24) Wegen der gegenseitigen Abstoßung drängen sich die beweglichen Ladungsträger auf die *Metalloberfläche*. Im Bereich großer Außenkrümmung sammeln sich die Ladungen besonders. Deshalb herrscht an Metallspitzen die vergleichsweise größte Feldstärke.

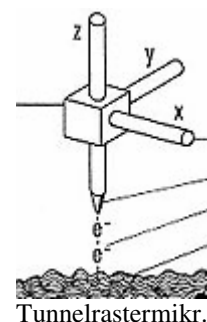


Metallspitze

Anwendung: Blitzableiter, Rastertunnelmikroskop.

- 25) **Formeln** für **Feldstärke** und **Kraft** im Vergleich.

	Gravitation	Elektrik
Messformel für Feldstärke	$G = \frac{F_G}{m}$	$E = \frac{F_{el}}{q}$
Rechenformel für Feldstärke	$G = \gamma \cdot \frac{M}{r^2}$	$E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$
Kraftgesetz	$F_G = \gamma \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$ Newtonsches Kraftgesetz	$F_{el} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ Coulombsches Kraftgesetz



Tunnelrastermikr.

Anmerkungen:

- Das Kraftgesetz $F_{el} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ für zwei Ladungen Q_1 und Q_2 erhält man dadurch, dass man **beliebig** eine Ladung als „felderzeugende“ Ladung und die *andere* Ladung als „Probeladung“ wählt. In Abb.1 wird Q_2 als *Probeladung*

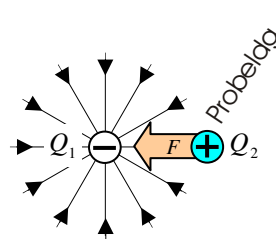


Abb.1 $E(Q_1)$

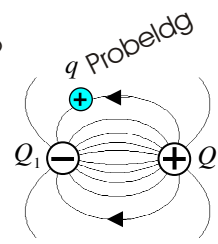


Abb. 2 $\mathbf{E}(Q_1, Q_2)$

in das *Feld* $E_1 = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r^2}$ von Q_1 gesetzt.

Q_2 „sieht“ sich also selber nicht, sondern Q_2 sieht *nur* das Radialfeld E_1 von Q_1 und

erfährt darin die Kraft $F_{el} = Q_2 \cdot E_1 = Q_2 \cdot \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r^2} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$.

Das Dipolfeld \mathbf{E} von Q_1 und Q_2 sieht Q_2 also nicht. Das Dipolfeld von Q_1 und Q_2

„sieht“ erst die *weitere* Probeladung q , welche in dieses Überlagerungsfeld gesetzt wird. Grundsätzlich gilt, dass eine (Punkt)Ladung *keine* Kraft durch sich *selbst* erfahren kann, weil es für jede ihrer Kraftkomponenten eine gleich große Gegenkraft gibt.

- Die Messformeln für Gravitationsfeldstärke G und elektr. Feldstärke E sind äquivalent.
- Die Rechenformel für G enthält Newtons quadratisches Abstandsgesetz.
- Die Rechenformel für E beinhaltet ebenfalls das quadratische Abstandsgesetz. Der Gravitationskonstanten γ entspricht der umgerechneten Feldkonstante $1 / 4\pi \cdot \epsilon_0$.
- Gleichsetzen von Messformel und Rechenformel der Feldstärke liefert das Kraftgesetz.
- Der Gleichwertigkeit von felderzeugender Masse M und felderfahrenden Masse m wird dadurch Rechnung getragen, dass $m = M_1$ und $M = M_2$ (oder umgekehrt) genannt wird.
- Entsprechend werden q und Q in Q_1 und Q_2 umbenannt.
- Entsprechend ergibt Gleichsetzen von Messformel und Rechenformel das Kraftgesetz der Elektrizität = Coulombsches Kraftgesetz

- 26) **Aufg. 1)** Berechne die Feldstärke E einer Punktladung $Q = 1C$ in $r = 1m$ Entfernung.
 27) **Aufg. 2)** Wie groß muss Q sein, damit $E(r = 1m) = 1N/C$ beträgt?
 28) **Aufg. 3)** Wie groß ist die Anziehungskraft von $Q_{1,2} = \pm 1C$ im Abstand $r = 1m$?

Wieviel m^3 Wasser erfahren in Bodennähe die gleiche Kraft?

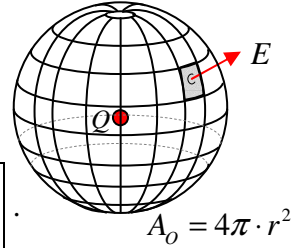
- 29) **Lsg. 1)** $E = 8,99 \cdot 10^9 N/C$. **Lsg. 2)** $Q = 111 pC$. **Lsg 3)** $F \approx 9 \cdot 10^9 N$, $916200 m^3$

- 30) **Geometrische Begründung** der Feldstärkenformel einer Punktladung.

Die **elektrische Feldstärke** der Punktladung Q im Abstand r ist

gegeben durch $E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$. Weil $4\pi \cdot r^2 = A_o$

die Größe der Oberfläche einer Kugel mit Radius r ist gilt $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A_o}$.



Sämtliche Feldlinien der Ladung Q gehen von dieser Ladung aus, es kommen keine weiteren Feldlinien hinzu. Die Feldlinien laufen radial von Q bis ins Unendliche und durchdringen dabei Kugelschalen, deren Oberfläche gemäß $4\pi \cdot r^2$ anwächst.

Da die Anzahl der Feldlinien gleich bleibt, die Fläche aber wächst, nimmt die Feldliniendichte ab. Die Feldliniendichte entspricht aber der Feldstärke.

Aufgaben

Lerne alle Kapitel auswendig und gib sie in Stichworten wieder

1) ..

2) ..

3) ..

4) ..

5) ..

6) ..

7) ..

8) ..

9) ..

10) ..

11) ..

12) ..

13) ..

14) ..

15) ..

16) ..

17) ..

18) ..

19) ..

20) ..

21) ..

22) ..

23) ..

24) ..

25) ..