

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

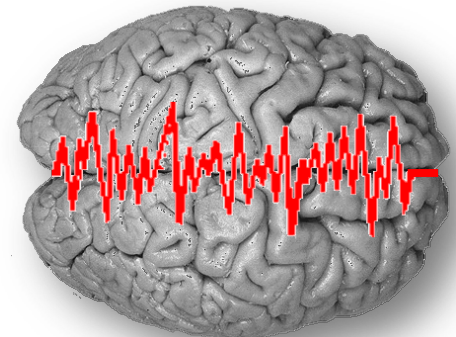
Elektrizitätslehre Teil 1

Am 29.04.2021

Dr. Simon Moser

Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg

simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de

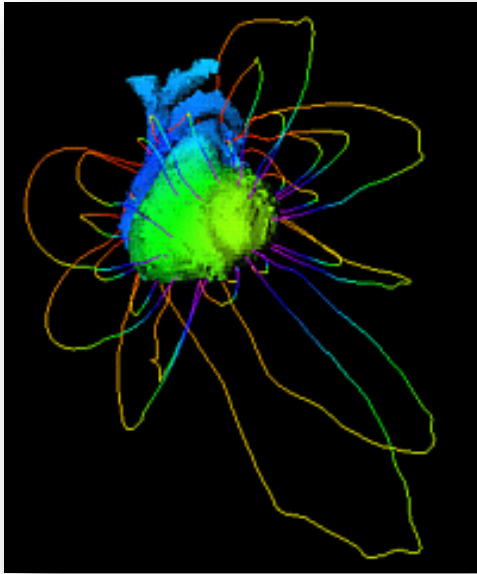


Grundlagen der Elektrizitätslehre

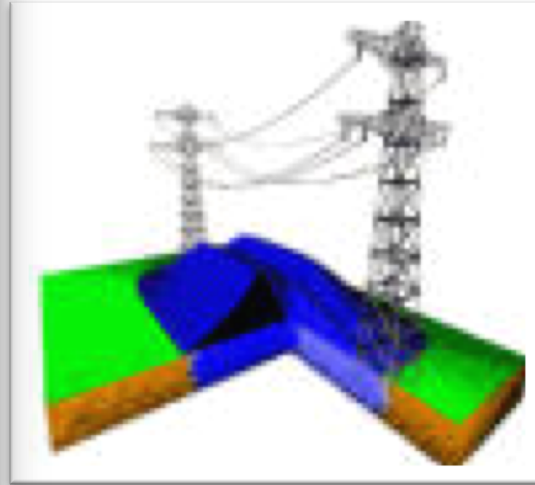
Elektrizitätslehre/Elektrik = Teilgebiet der Physik:

- elektrische Ladungen
- elektrisch geladene Körper
- elektrische Ströme
- elektrische Stromkreise/Elektronik/Schaltungen
- elektrische Energie
-

Einführung der Elektrizitätslehre



Elektrische Felder: EKG, EEG



Elektrischer Strom: Steckdose



Naturereignisse: Blitz

Wir sind umgeben von **faszinierenden elektrischen Phänomenen:**

- ① Blitze (pure Elektrizität)
- ② Elektrische Energie als Energiequelle: Maschinen, Heizen, EM-Wellen erzeugen,...

Einführung der Elektrizitätslehre

Aurora



Elektrische Aufladung



Aurora

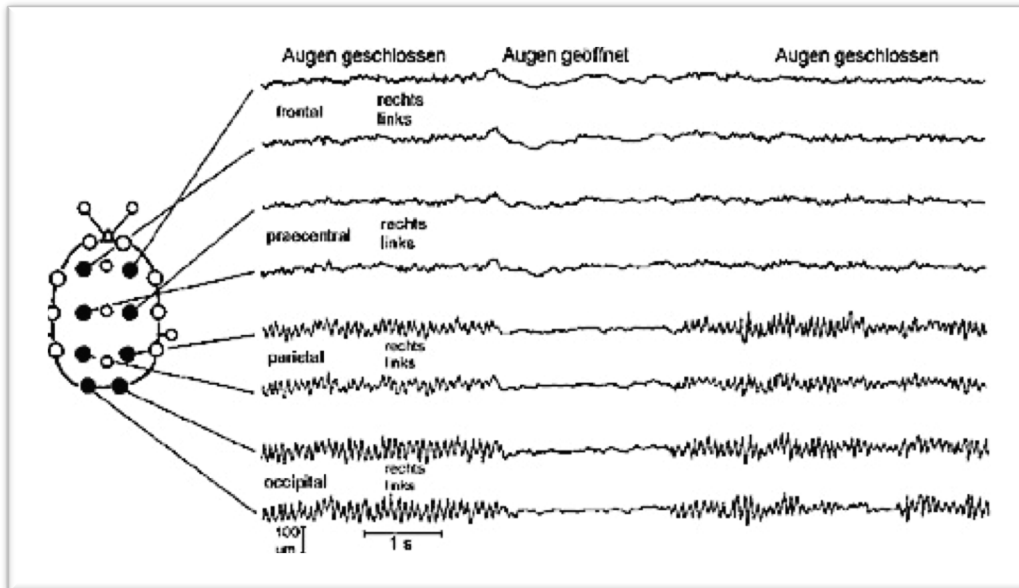
(geladene Teilchen von der Sonne treffen auf Sauerstoff- & Stickstoffatome)

Elektrizität begegnet uns täglich in vielerlei Gestalt !!!

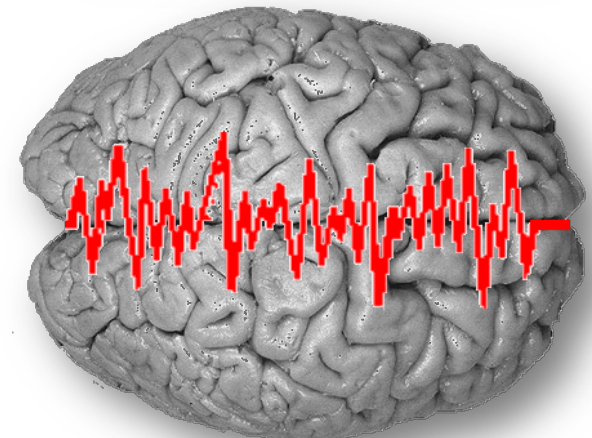
Einführung der Elektrizitätslehre

Elektroenzephalografie (EEG):

Methode zur Messung der **elektrischen Aktivität** des menschlichen Gehirns:
Aufzeichnung der Spannungsschwankungen (5-100 μV) an der Kopfoberfläche



Messelektroden



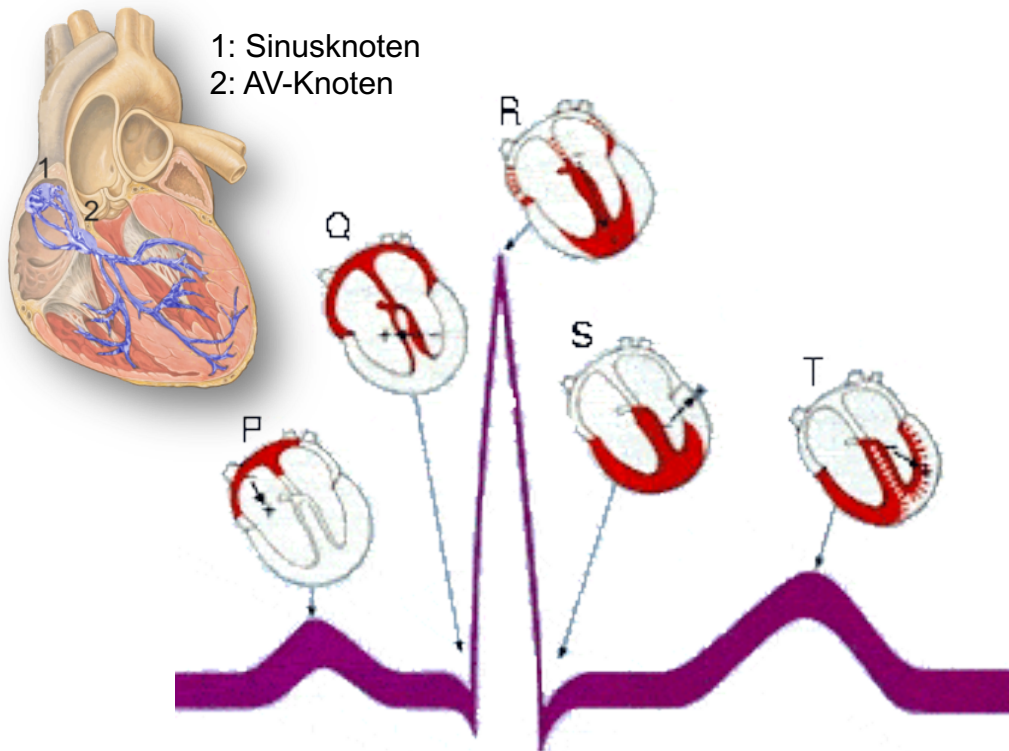
Gehirnaktivität

Elektrische Felder im Gehirn: Elektroenzephalogramm(EEG)

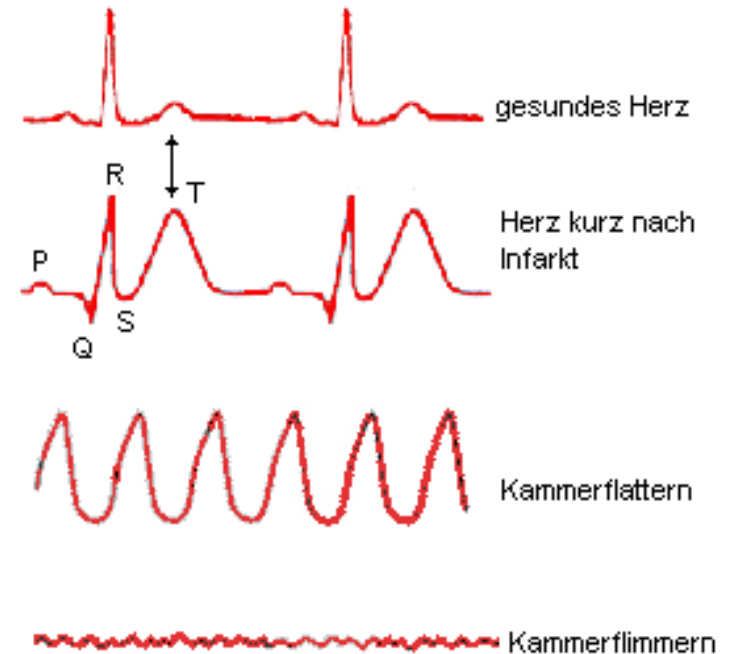
Einführung der Elektrizitätslehre

Elektrokardiogramm (EKG):

Methode zur Messung der **elektrischen Aktivität** des Herzens (Herzspannungskurve)



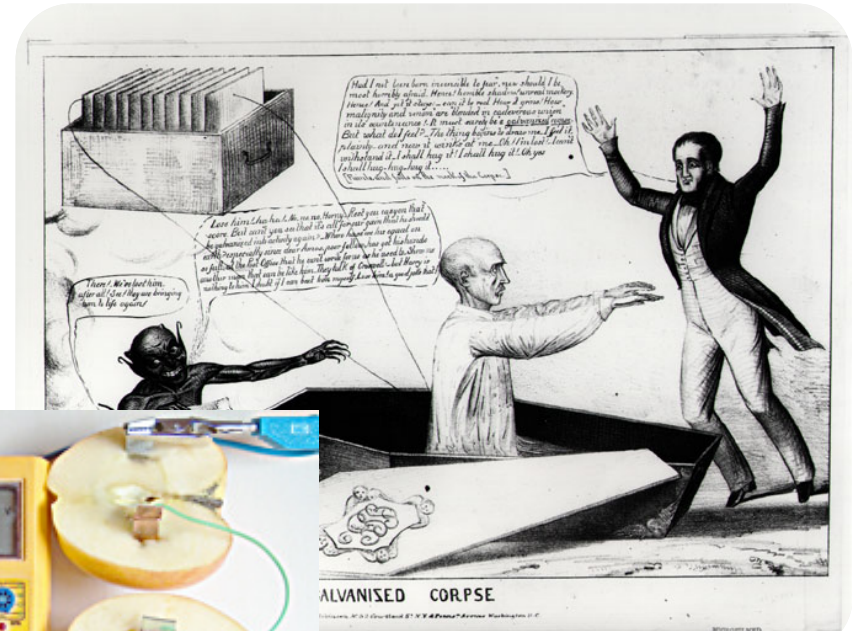
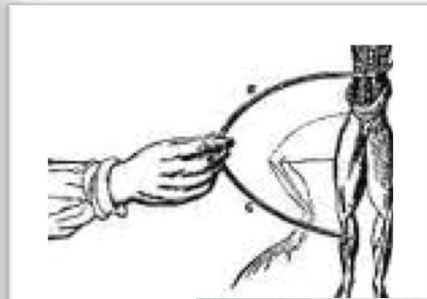
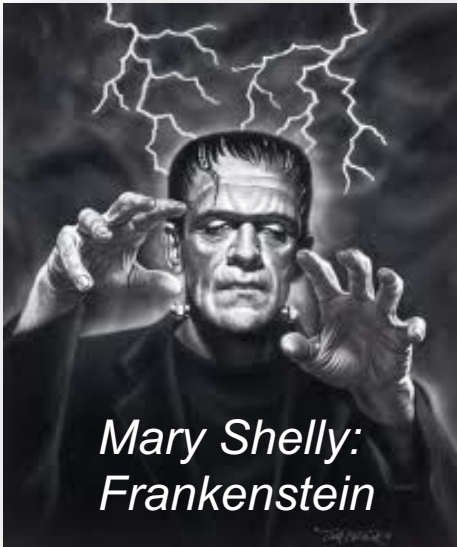
Elektrische Ströme am Herzen: EKG



Jeder Kontraktion des Herzmuskels geht eine **elektrische Erregung** voraus, die vom Sinusknoten ausgeht

Einführung der Elektrizitätslehre

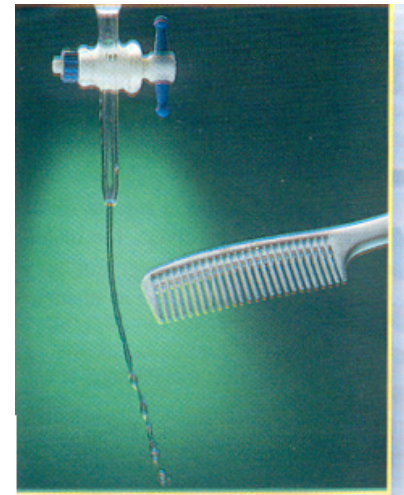
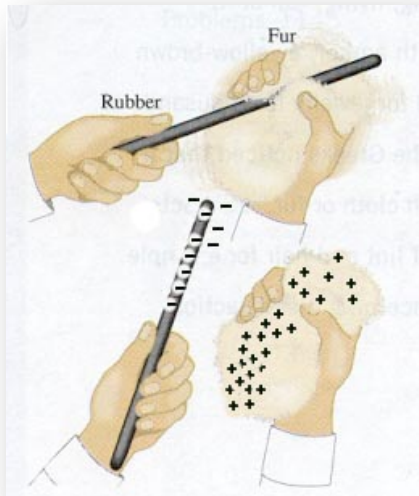
Elektrische Reizung von Muskelkontraktionen (=Galvanismus*)



*Luigi Galvani 1780: Kontraktion präparierter Froschenkel unter dem Einfluss statischer Elektrizität; „Tierelektrizität“, die Lebewesen von unbelebter Materie unterscheidet

Einführung der Elektrizitätslehre

- ① **Elektrizität** kommt vom Begriff **Elektron**; [Griech. Begriff für **Bernstein**]
- ② **Grundlage aller elektrischer Erscheinungen: Elektrische Ladung**
- ③ Außer Gravitation haben nahezu alle Kräfte, denen wir im Alltag begegnen einen einzigen Ursprung: **Elektromagnetismus, EM-Effekte**
- ④ **Elektrische Ladung** ist wie die Masse eine fundamentale Eigenschaft der Materie (Was ist die Natur der elektr. Ladung ?)

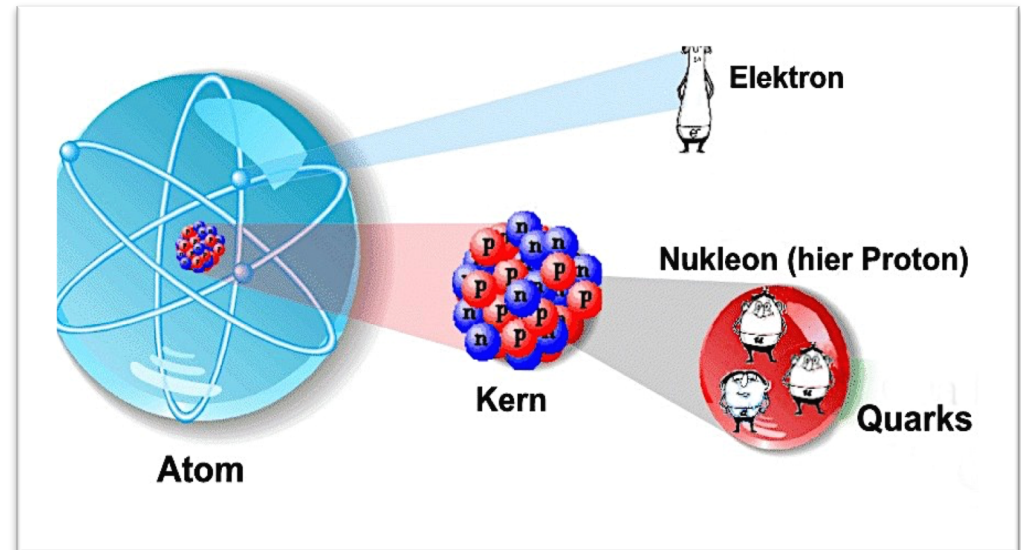


Einführung der Elektrizitätslehre

Atome bestehen aus Protonen (+), Neutronen und Elektronen (-)

- Ladung des Protons = $+e$
- Ladung des Elektrons = $-e$

**e = Elementarladung,
kleinste Ladungseinheit
($1.6022 \cdot 10^{-19}$ C)**



Ladung Q tritt in der Natur immer als ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung auf:

$$Q = \pm N e \quad \text{mit } N = \text{natürliche Zahl}$$

NB1: Elektrische Ladung tritt in nur zwei Formen auf: positiv oder negativ

NB2: Verständnis der Elektrizität hängt mit dem Verständnis der Atome zusammen

Einführung der Elektrizitätslehre

Ladungszustände von Elementarteilchen

Elektron	-e	m_0
Positron	+e	m_0
Proton	+e	$1836 m_0$
Neutron	0	$1839 m_0$
Photon	0	0
Neutrino	0	0

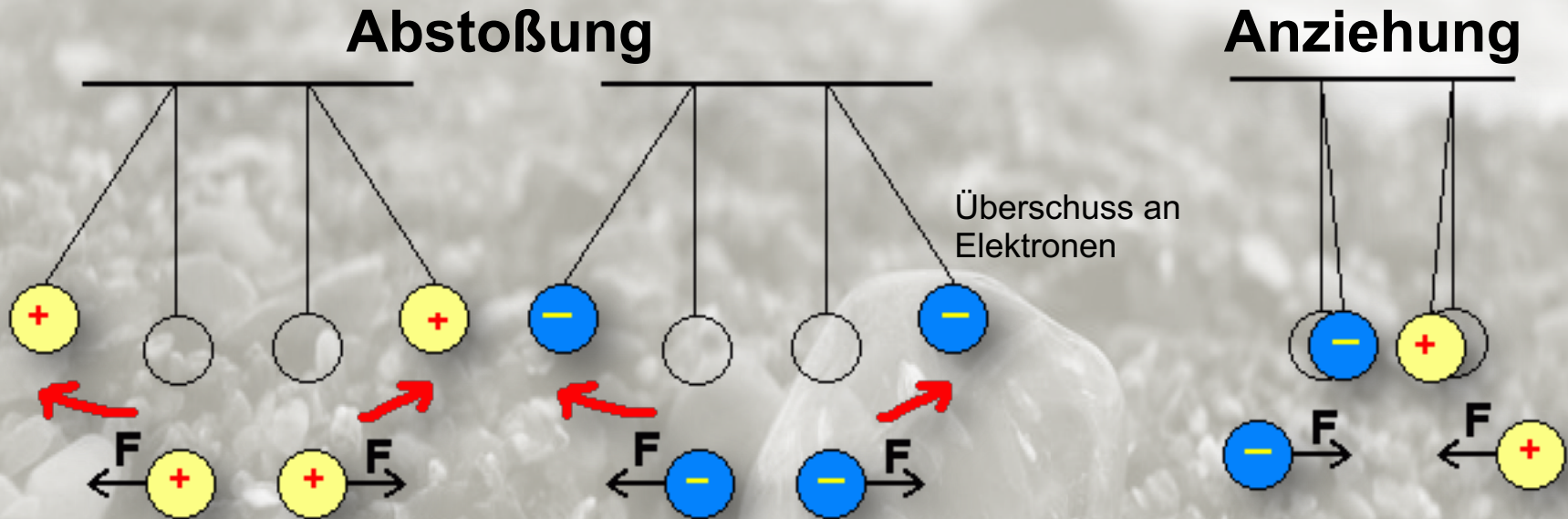
Elementarteilchen nehmen trotz Unterschiedlichkeit nur folgende Ladungszustände an: +e, -e und 0

$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$; $1 \text{ C} = 1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ As}$ (Amperesekunde)

Einführung der Elektrizitätslehre

- ① Es gibt nur positive (+) & negative (-) Ladung*
- ② Elektrische Ladung können sich gegenseitig anziehen/abstoßen
- ③ Elektrische Ladungen sind immer an massive Teilchen gebunden
- ④ In einem abgeschlossenen System: **Ladungserhaltung!**

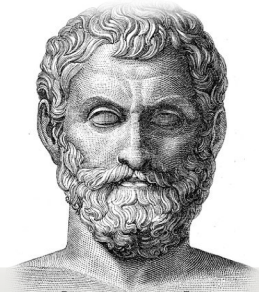
Kräfte zwischen elektrischen Ladungen:



- Zwei Körper mit gleicher Ladung stoßen sich ab
- Zwei Körper mit entgegengesetzter Ladung ziehen sich an

**Konvention nach Benjamin Franklin*

Reibungselektrizität



Erzeugung elektrischer Ladung:

Thales von Milet (626 - 547 v. Chr.) war bekannt, dass ein mit einem Wolltuch geriebener Bernstein (griechisch: Elektron) leichte Gegenstände wie Watte o.ä. anzieht.



System
„Glasstab-Seidentuch“

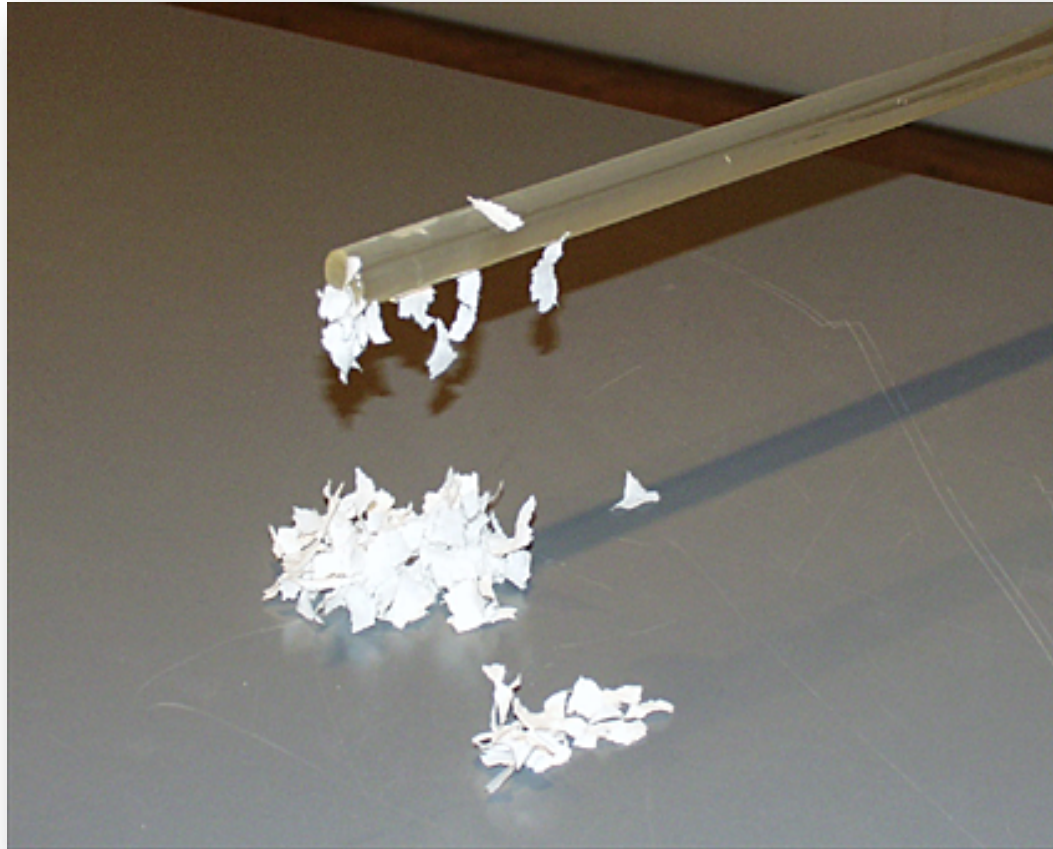


System
„Gummistab-Katzenfell“

Versuche: Reiben verschiedener Materialien; es treten Fernwirkungskräfte auf

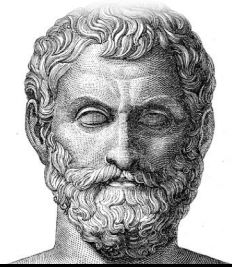
Reibungselektrizität

Erzeugung elektrischer Ladung:



Papierschnitzel werden vom geriebenen Glas- oder Trolitulstab angezogen

Reibungselektrizität

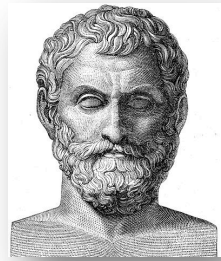


Reibungselektrizität



Reibungselektrizität

Erzeugung elektrischer Ladung:



Elektrische Aufladung beim Gehen auf Kunststoffböden:

- Kunststoffbodenbelag kann den Träger von Schuhen mit Gummisohle beim Gehen elektrisch aufladen
- Bei der Annäherung an eine größere Metallfläche springt dann ein millimeterlanger elektrischer Funke zur Fingerspitze über

Wichtige Eigenschaften der Ladung

- Ladungsmenge wird in Coulomb gemessen: $e = \pm 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- **Ladung ist an Masse gekoppelt!**
- Gesamtmenge aller Ladungen ist konstant d.h. Ladung kann nicht erzeugt oder vernichtet werden (**Wichtiger Erhaltungssatz**)
- Ladung ist portioniert, d.h. **gequantelt** ($Q = N \cdot e$)
- (Ausnahme sind Quarks : $\pm 1/3e$ und $\pm 2/3e$)
- Neue Kraft/Wechselwirkung – **Coulombkraft**
- **Expertenwissen:** Ladung ist eine relativistische Invariante, d.h. geschwindigkeits-unabhängig

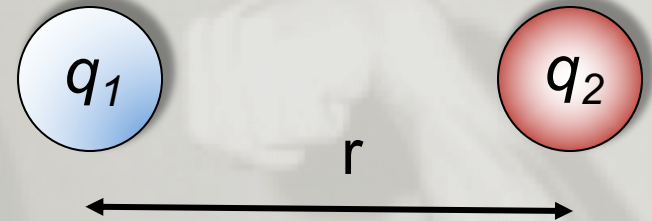
Take-home-messages:

- Es gibt Ladungen, die von einem Körper zum andern übergehen können
- Zwischen den Ladungen wirken Kräfte
- Es genügt die Annahme von zwei Ladungsarten: Positive & Negative (wer möchte „rot“ & „blau“)
- Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an
- Im unbehandelten Zustand sind die Körper elektrisch neutral: Es gibt gleich viele positive wie negative Ladungen.

Kräfte zwischen Ladungen

Kraftmessung F als Funktion von:

- ① Ladungsmenge q
- ② Abstand der Ladungen r



Beobachtungen:

- 1) Kraft ist **proportional** zu den **Ladungsmengen**, d.h.

$$F \sim q_1 \quad \text{bzw.} \quad F \sim q_2$$

- 2) Kraft kann **anziehend** bzw. **abstoßend** sein

$$F \sim q_1 \cdot q_2$$

- 3) **Abstandsabhängigkeit:** $F \sim 1/r^2$

- 4) **Wichtig:** Kraft hat die Richtung der Verbindungslinie der beiden Ladungen

Coulomb Gesetz

Coulombkraft F :

- proportional zum Produkt der Ladungen
- indirekt proportional Abstandsquadrat
- **Konvention:**

$$\text{Abstoßung} : q_1 \cdot q_2 > 0$$

$$\text{Anziehung} : q_1 \cdot q_2 < 0$$

$$F \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Coulomb-Gesetz

$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} = \text{elektrische Feldkonstante des Vakuums}$

Das elektrische Feld: Einstieg

Frage: Kann man eine Größe definieren, die die Kraftwirkung für den ganzen Raum & beliebige Ladungen beschreibt?

Ja: es gibt einen Begriff des **Feldes**!

Das Feld ist durch die Stärke der Kraft an jedem Ort im Raum definiert.

z.B. das **Gravitationsfeld**:

$$G(r) = \frac{F_G}{m}$$



Das **elektrische Feld** einer Ladung ist der Raum, in dem die von dieser elektrischen Ladung ausgehenden **coulombschen Kräfte** wirksam sind!

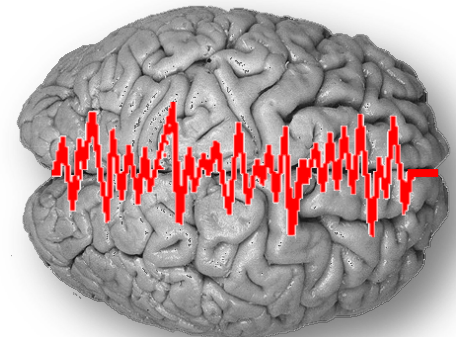
Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

Elektrizitätslehre noch Teil 1 Am 29.04.2021

Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



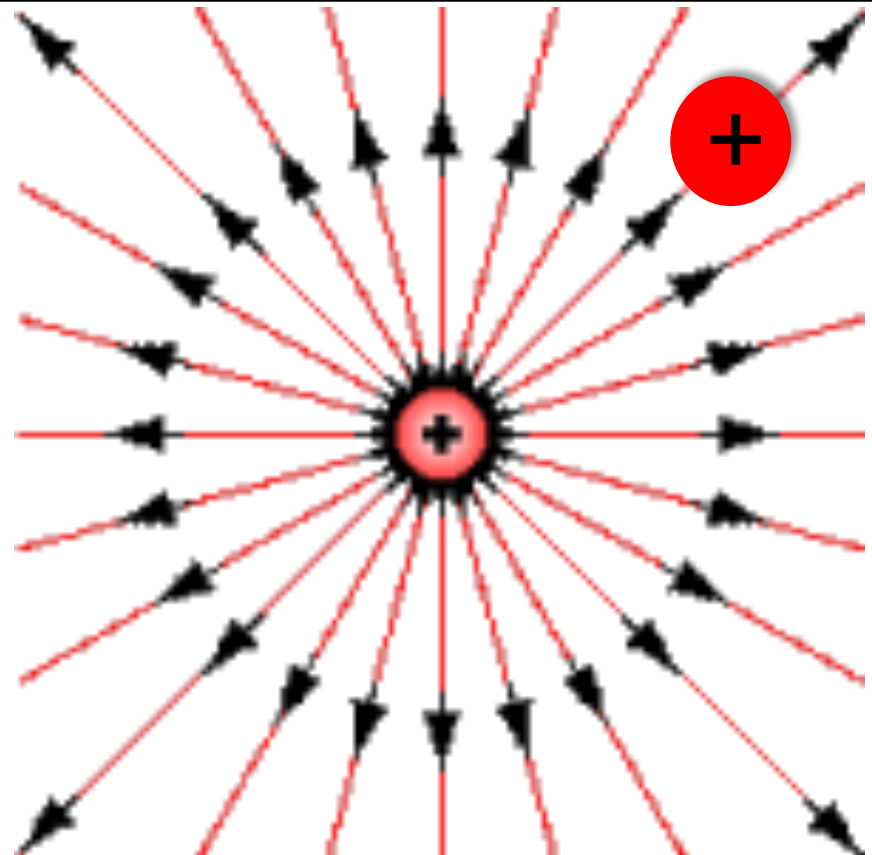
Elektrisches Feld

- ① Wirkt auf eine statische elektrische Ladung Q eine Kraft F , so befindet sie sich in einem elektrischen Feld E
- ② Die Kraft F ist proportional zur Größe der Ladung Q und zur elektrischen Feldstärke E :

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$$

Einheit der Feldstärke:

$$[E] = 1 \frac{N}{As} = 1 \frac{V}{m}$$



Das elektrische Feld

An jedem Raumpunkt um eine Ladung Q wird eine Kraft F auf eine elektrische Ladung q ausgeübt:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Die Stärke der elektrischen **Coulombkraft pro Ladung q** nennt man

Elektrische Feldstärke E :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

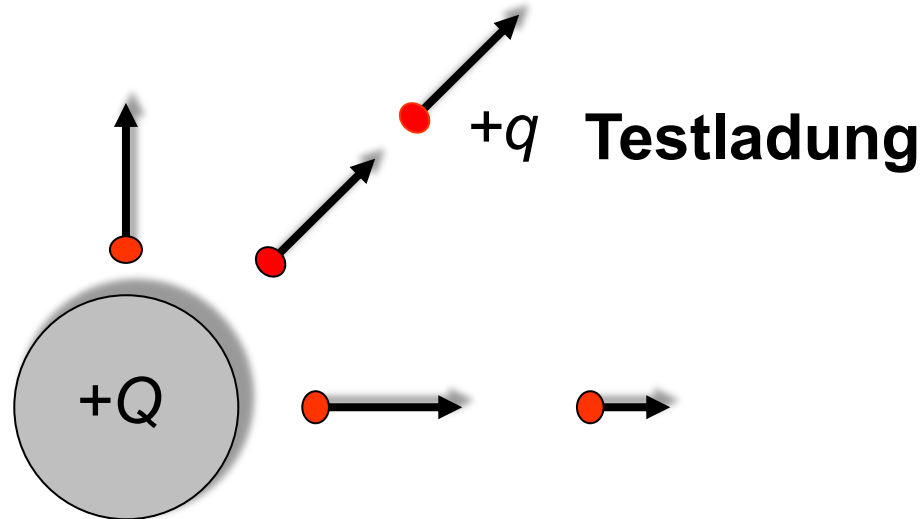
Elektrisches Feld E beschreibt Zustand (lokale Kraftwirkung auf Probeladung) des Raumes der durch Ladungen Q erzeugt wird

- E ist ein ortsabhängiger Vektor (Vektorfeld)
- **Dimension** (Einheit) von E ist Volt/Meter: **$[E]=V/m$**
(auch: N/C)

Darstellung der E -Feldstärke ?

Konvention:

E -Feld-Richtung fällt immer mit der Richtung der Kraft auf eine positive Testladung $+q$ zusammen!

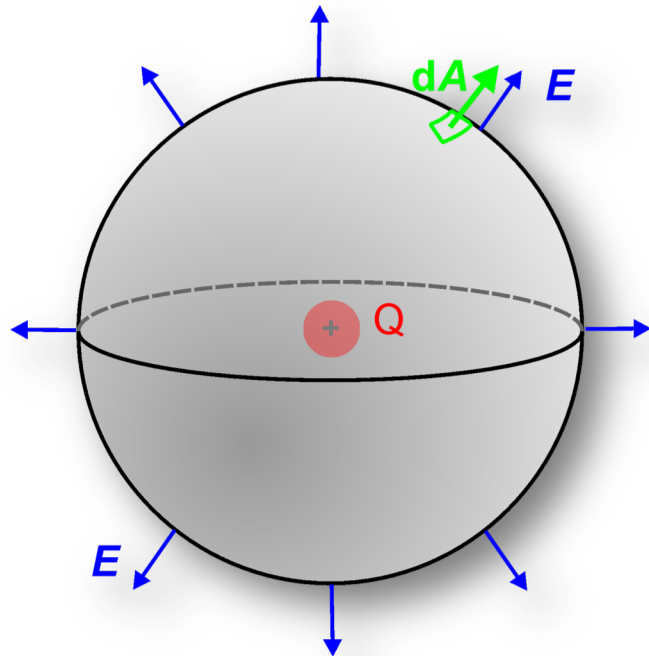


„Felderzeugende Ladung“

Für ausgewählte Raumpunkte wird die Richtung & der Betrag (Länge) der Kraft angegeben

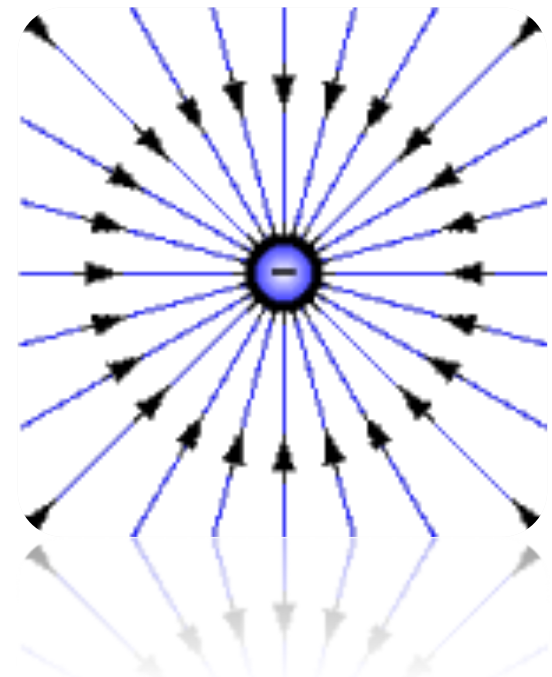
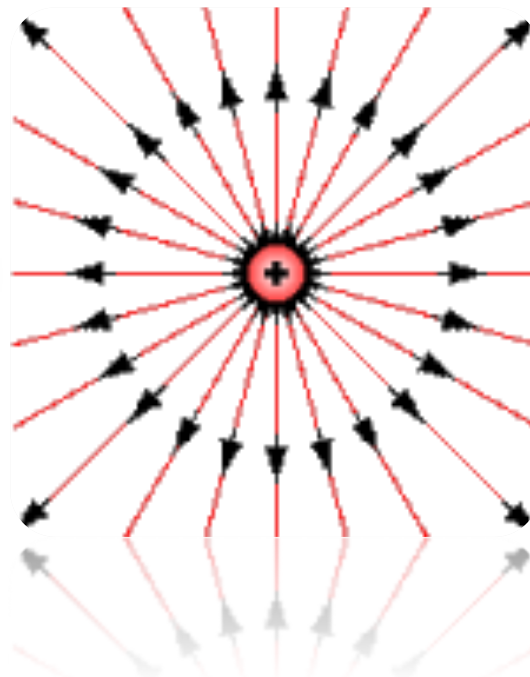
Feldlinien einer Punktladung

Elektrische Feldlinien für positive (+) und negative (-) Ladung



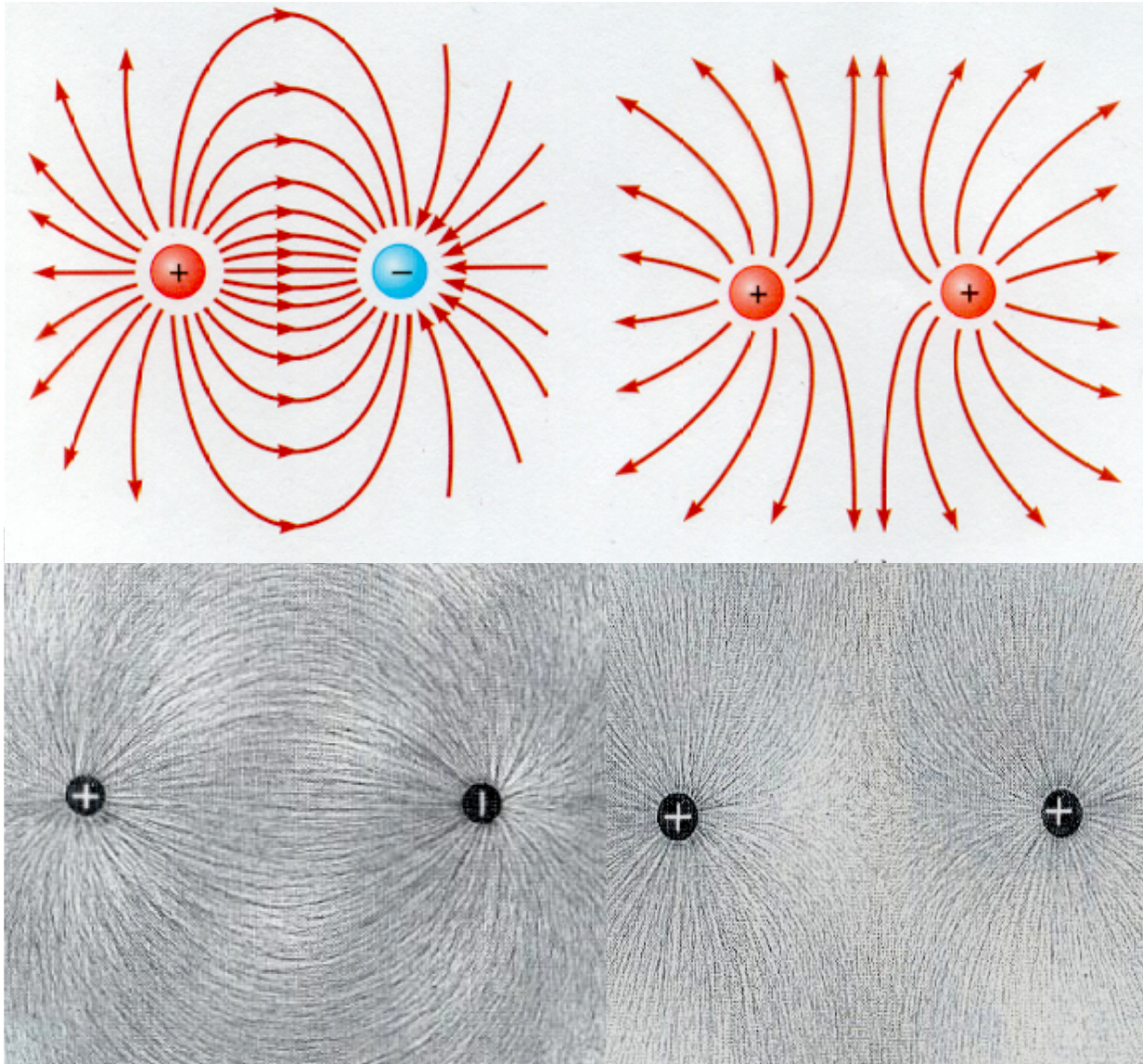
E-Feld

zeigt für positive
Ladungen
nach außen !

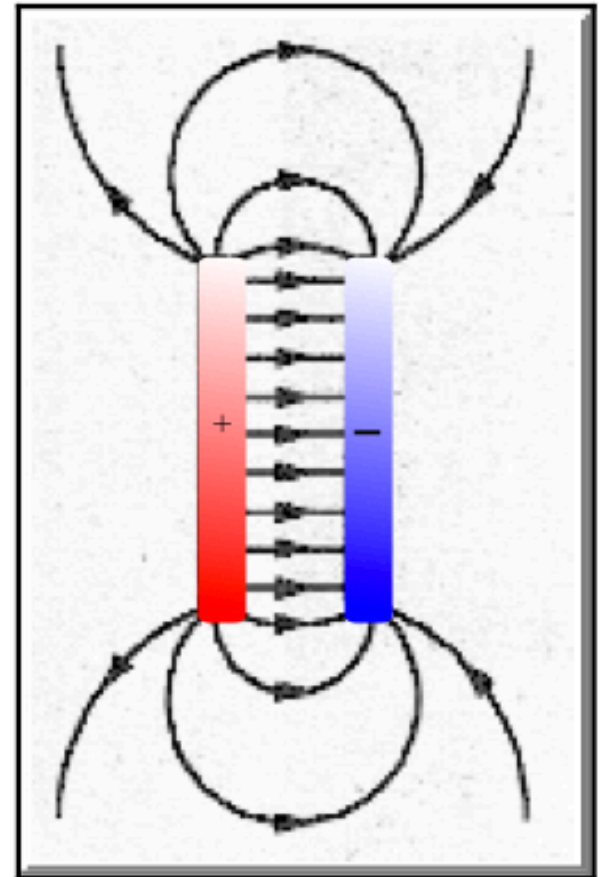
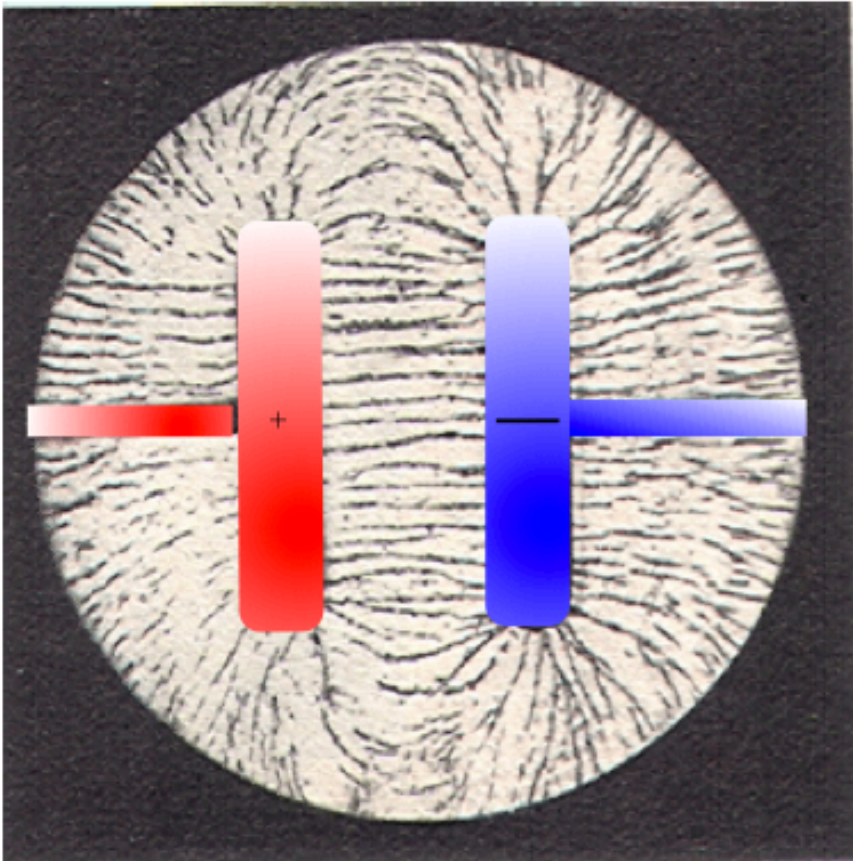


Ladung erzeugt ein elektrisches Feld E ,
das **radialsymmetrisch** verteilt ist

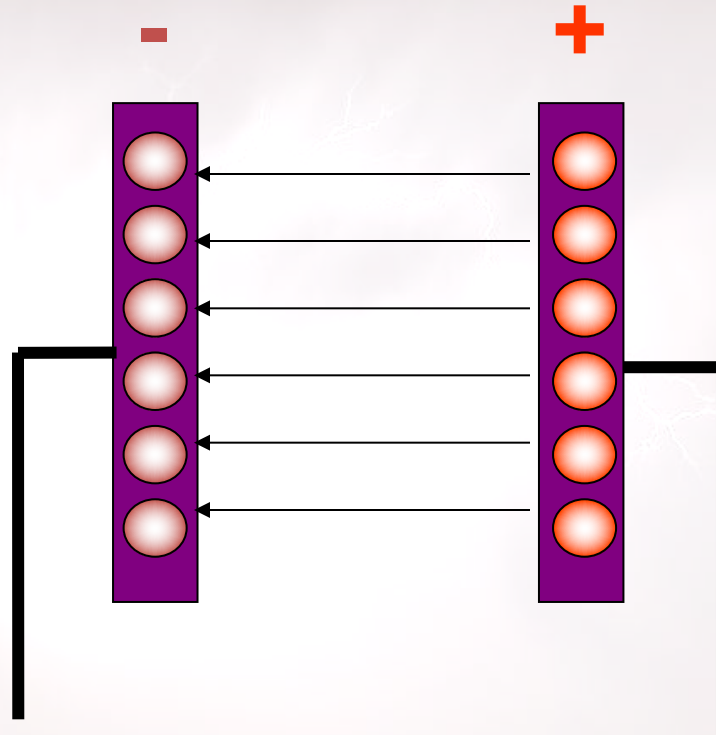
Feldlinien um 2 Punktladungen



Feldlinienbild Plattenkondensator



E -Feld eines Plattenkondensators



E-Feld-Charakteristika:

- ① Innen homogenes elektrisches Feld E
- ② E ist überall gleich groß, d.h. ortsunabhängig
- ③ Feldlinien sind parallel & haben konstante Dichte