

## Das elektrische Feld der Erde

- elektrisches Feld der Erde nur bei Gewittern vorhanden?
- Wie groß ist die Feldstärke?  
 $E \approx 200 \frac{N}{C}$  an der Erdoberfläche zum Erdmittelpunkt gerichtet  
 $\Rightarrow$  Erde ist negativ geladen
- Wie groß ist die Ladung an der Erdoberfläche?

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \qquad E = \frac{F}{Q}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \Rightarrow Q = 4\pi\epsilon_0 \cdot r^2 \cdot E$$

r...Erdradius:  $r = 6371 \text{ km}$      $\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm}$

$$Q = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm} \cdot (6,371)^2 \cdot 10^{12} m^2 \cdot 200 \frac{N}{C}$$

$$Q = 903241 \frac{Nm}{V} \Rightarrow Q = 903241 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m \cdot \frac{s^3 \cdot A}{kg \cdot m^2}$$

$$\underline{\underline{Q \approx 9000000C}}$$

$\Rightarrow$  **Die Gesamtladung der Erde beträgt etwa  $-10^6C$**

$\Rightarrow$  **Die Ladung ist annähernd gleichmäßig über die gesamte Oberfläche verteilt.**

**Dieser negativen Ladung steht eine gleich große, positive Ladung in den höheren Luftschichten der Atmosphäre (Ionosphäre) gegenüber.**

- elektrisches Feld unter einer 220kV-Hochspannungsleitung:  $E = 100 \frac{kN}{C}$

### Nutzen des elektrischen Feldes der Erde

- Direkte biologische Einflüsse des Feldes gering  
(menschliche Körper baut durch Influenzladungen ein Gegenfeld auf)
- Indirekte Beeinflussung: Anzahl der Kleinionen in der Luft befinden
  - Anfälligkeit für Infektions- und Erkältungskrankheiten erhöht
  - körperliche und geistige Leistungsfähigkeit und Reaktionszeit werden beeinflusst
- größere Abweichung von der normalen Kleinionenkonzentration, wirkt sich negativ auf den menschlichen Organismus aus

**Elektrisches Feld kann nur bestehen, wenn die negative Ladung von der positiven Ladung isoliert ist.**

- Luft bildet den Isolator
- In der Luft kommen Ionen vor
  - Ursache: kosmische Strahlung
  - Strahlung der Sonne besteht aus Protonen und Elektronen (Sonnenwind)
  - $v_A = 500 \frac{km}{s}$  Höhe zwischen 100km und 300km über der Erde:  $v = 300 \frac{km}{s}$
  - ⇒ Ionisation von Luftmolekülen (Ionosphäre)
    - Ladung: +e bzw. -e
  - Beschleunigung der positiven Ionen zur Erde hin
  - Beschleunigung der negativen Ionen von Erdoberfläche weg

**Beispiel: einfach positiv geladenes Sauerstoffion**

Wie groß ist die Beschleunigung durch das elektrische Feld im Vergleich zur Erdbeschleunigung?

geg.:  $E = 200 \frac{N}{C}$ ;  $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} kg$ ;  $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} C$ ;  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

$m = 15,999u$ ; u...atomare Masseneinheit;  $u = 1,6605655 \cdot 10^{-27} kg$

$m = 15,999 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} kg$      $m \approx 16 \cdot 16 \cdot 10^{-28} kg$      $m \approx 256 \cdot 10^{-28} kg \Rightarrow m \approx 2,6 \cdot 10^{-26} kg$

$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m}$      $E = \frac{F}{Q}$

$\Rightarrow a = \frac{E \cdot Q}{m} \Rightarrow a = \frac{200 \frac{N}{C} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C}{2,6 \cdot 10^{-26} kg}$

$\Rightarrow a \approx \frac{200 \cdot \frac{3}{2}}{\frac{5}{2}} \cdot 10^7 \frac{N}{kg} \Rightarrow a \approx 200 \cdot \frac{3}{5} \cdot 10^7 \frac{N}{kg} \Rightarrow a \approx 40 \cdot 3 \cdot 10^7 \frac{N}{kg}$

$\Rightarrow a \approx 120 \cdot 10^7 \frac{N}{kg} \Rightarrow a \approx 120 \cdot 10^7 \frac{kg \cdot m}{kg \cdot s^2} \Rightarrow a \approx 1,2 \cdot 10^9 \frac{m}{s^2}$

$\frac{a}{g} \approx \frac{1,2 \cdot 10^9}{10} \Rightarrow \frac{a}{g} \approx 1,2 \cdot 10^8 \Rightarrow \frac{a}{g} \approx 120 \cdot 10^6 \Rightarrow \frac{a}{g} \approx 120 \cdot Mio$

- Die Beschleunigung durchs elektrische Feld ist hier  $\approx 100Mio.$  mal größer als die Erdbeschleunigung
- Stöße mit anderen Teilchen bremsen das Ion ab  $\Rightarrow$  mittlere Geschwindigkeit von  $\approx 100 \frac{m}{s} = 360 \frac{km}{h}$

**Was bedeutet die Bewegung positiven Ionen in Richtung Erde für das elektrische Feld der Erde?**

$\Rightarrow$  Es fließt ein stetiger Entladestrom

(pro Quadratmeter:  $I = 4pA$ ; über der gesamten Erde:  $I_{ges} = 4\pi r^2 \cdot 4 \cdot 10^{-12} A = 2000A$ )

$\Rightarrow$  Das elektrische Feld würde zusammenbrechen. ()

$(I = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{I} = \frac{900000 As}{2000 A} = 450s = 7,5 min$  **Innerhalb 450s wäre die Erde neutral**)

Da dies nicht geschieht, muss die Erde wieder aufgeladen werden.

$\Rightarrow$  Gewittertätigkeit (rund 1000 Gewitter täglich)

$\Rightarrow$  Blitze laden die Erde negativ auf.

### durchschnittliche Werte von Blitzen:

- stündlich: 1800 Gewitter mit 300.000 Blitzen (170 Blitze pro Gewitter)
- täglich: 44000 Gewitter mit 7Mio Blitzen
- jährlich: 16Mio Gewitter mit 2,5Mrd. Blitzen
  
- Dauer eines Blitzes:  $t = 0,2s$
- übertragene Ladung:  $Q = 25C$   
 $\Rightarrow I = \frac{Q}{t} = \frac{25C}{0,2s} = 25 \cdot 5A = 125A$  schwankt stark: 10A ... 200kA
- Blitzlänge:  $s = 5km$
- Temperatur in einem Blitz: bis  $T = 30.000^\circ C$

### **Reicht die Ladungsmenge aller Blitze für die Aufladung der Erde aus?**

- ein Blitz trägt eine Ladung von  $Q = 25C$  zur Erde
- 300000 Blitze treffen die Erde in einer Stunde  
 $\Rightarrow 5000$  Blitze in 1 min  
 $\Rightarrow 37500$  Blitze in 7,5min
- $37500 \cdot 25C = 937500C$   $\Rightarrow$  Erde wieder aufgeladen.

### **Warum kommt es zum Donner?**

- hohe Temperatur  $\Rightarrow$  Kompression der Luft  $\Rightarrow$  Schall
- $v_s \approx 340 \frac{m}{s}$   $v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = v \cdot t \Rightarrow s = 340 \frac{m}{s} \cdot t \Rightarrow s = 0,34 \frac{km}{s} \cdot t \approx \frac{1}{3} \frac{km}{s} \cdot t$   
 $\Rightarrow \underline{\underline{s[km] \approx \frac{1}{3} \cdot t[s]}}$