

# Elektrizitätslehre

## Elektrostatik

### Elektrische Ladung

Elektrostatische Kraft: kann abstoßend und anziehend sein.

„pos. und neg.“ Substanzen: Gleiche stoßen sich ab, ungleiche ziehen sich an – deutlich mehr als Gravitation!<sup>1</sup>

Chem. Elemente aus Elementarteilchen<sup>2</sup>:

- Protonen mit je 1 pos. „Elementarladung“ im Kern (+ Neutronen)
- Elektronen mit je 1 neg. „Elementarladung“ in der Hülle.

Beide sind meist ausbalanciert → nach außen elektr. neutral.

Z.B. durch Berührung<sup>3</sup> können Elektronen der äußeren Hülle auf einen anderen Stoff übergehen, der die Elektronen stärker bindet.

Z.B. Haare → Kamm, Luftballon  
Glas- oder Kunststoffstab → Seide  
Fell → Kunststoffstab

Am Ende linke positiv geladen und rechte negativ.

Elektroskop<sup>4</sup>:



<sup>1</sup> Wir haben in der Mechanik gelernt, dass sich jede Masse durch Gravitation anzieht, also auch zwei Tischtennisbälle. Allerdings ist diese Kraft unmessbar klein. Wenn ich die Bälle hingegen auflade, dann kann ich damit deutlich mess- und sichtbare Kräfte erzeugen.

<sup>2</sup> Auch wenn du das in der Chemie noch nicht gelernt haben solltest, hast du wohl davon gehört. Ein einfaches Modell zeigt die Abb. [halbleiter.org/images/grundlagen/atombau/neonatom.gif](http://halbleiter.org/images/grundlagen/atombau/neonatom.gif)

<sup>3</sup> Im Allgemeinen wird man die Häufigkeit und Stärke der Berührung durch Reiben vergrößern, es reicht aber auch reine Berührung. Man nennt das deswegen auch Reibungselektrizität. Reiben heißt auch griechisch „tribein“, deswegen nennt man den Effekt auch „Triboelektrischen Effekt“. In der sogenannten „Triboelektrischen Reihe“ werden die Materialien nach der Reihe aufgelistet, je nachdem, ob sie die Tendenz haben, Elektronen eher aufzunehmen oder abzugeben. Die folgenden, farbig hinterlegten Bsp. geben einen Auszug daraus.

<sup>4</sup> Eine gute Erklärung dieses einfachen „Ladungsmessgeräts“ findest du in den zusammengehörenden Videos [youtube.com/watch?v=hQHJ70c1BDw](https://youtube.com/watch?v=hQHJ70c1BDw) und [youtube.com/watch?v=owOmkFR-XX4](https://youtube.com/watch?v=owOmkFR-XX4) oder im Video [youtube.com/watch?v=c8PwDSfT\\_wQ](https://youtube.com/watch?v=c8PwDSfT_wQ) von 0:00 - 1:50.

Ladungen weitergeben mit „Schöpfern“. <sup>5</sup> → Ladungen können nicht verloren gehen: Gesetz der Ladungserhaltung. <sup>6</sup>

Einheit für die elektrische Ladung Q:

1 Coulomb<sup>7</sup> (1 C)

1 C =  $6,2 \cdot 10^{18}$  (pos.) Elementarladungen<sup>8</sup>

oder: 1 (pos.) Elementarladung =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C ← merken!<sup>9</sup>

Ladung eines Elektrons<sup>10</sup> also:  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  C

Versuche mit Bandgenerator<sup>11</sup>

### Coulombsches Gesetz

Kraftwirkung zwischen zwei (Punkt-)Ladungen  $Q_1$  und  $Q_2$ :

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Mit  $k \approx 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$  (merke: 9 Milliarden)<sup>12</sup>, r ... Abstand <sup>13</sup>

Bem.:

- Angenommen:  $Q_1 = Q_2 = 1 \text{ C}$  und  $r = 1 \text{ m} \Rightarrow F = 9 \text{ Milliarden N}$  <sup>14</sup>  
1 C ist also sehr groß, was statische Ladungen betrifft (bei fließenden Ladungen eher gering – s.u.)
- Q mit richtigem Vorzeichen einsetzen!
- F pos. → Abstoßung, F neg. → Anziehung<sup>15</sup>
- Doppelte Abstand →  $\frac{1}{4}$  der Kraft;  $\frac{1}{2}$  Abstand → 4fache Kraft<sup>16</sup>

<sup>5</sup> Wenn ich zwei Elektroskope habe, kann ich die Ladung von einem auf das andere zum Teil übertragen. Man verwendet dazu einen Kunststoffstab mit einer Metallplatte am Ende: [leybold-shop.at/media/phk/images/150dpi/54252.jpg](http://leybold-shop.at/media/phk/images/150dpi/54252.jpg)

<sup>6</sup> Dieses Gesetz war interessant, bevor man wusste, woher die elektrostatische Kraft herrührt. Heute weiß man, dass es die Elektronen und Protonen sind, und die gehen logischerweise nicht einfach verloren.

<sup>7</sup> Nach einem französischen Physiker benannt. Sprich: Kulom

<sup>8</sup> Man könnte heute, wo man weiß, woher die elektrostatische Ladung stammt, freilich auch einfach die Ladung eines Protons als die Einheit für die Ladung verwenden. Doch das wäre sehr wenig. Man bleibt bei der alten Einheit 1 C, die sich gut ins SI-System einfügt. Im Hinterkopf weiß man, dass 1 C „ein Paket“ von  $6,2 \cdot 10^{18}$  Protonen ist.

<sup>9</sup> Das braucht man öfters. Es ist der Kehrwert von  $6,2 \cdot 10^{18}$ . Wie kommt es dazu? Wenn ein Coulomb  $6,2 \cdot 10^{18}$  Protonenladungen ist, so ist eine Protonenladung freilich  $1/6,2 \cdot 10^{18} \text{ C} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Mit großen Zahlen kann man es sich schlecht vorstellen, doch ist das einfach Schlussrechnung: Wäre es nur 100 Protonenladungen, dann wären es  $\frac{1}{100} \text{ C}$ .

<sup>10</sup> Leider hat Benjamin Franklin (1706-1790) das falsche/ungünstigere Vorzeichen verwendet: Da sich die Elektronen leichter bewegen können, wäre es sinnvoll gewesen, diesen das positive Vorzeichen zu geben. Doch kannte man Elektronen damals noch nicht.

<sup>11</sup> Auch „Van-de-Graaff-Generator“ genannt. Z.B.: [youtube.com/watch?v=72flaYzPIV0](https://youtube.com/watch?v=72flaYzPIV0) und [youtube.com/watch?v=3PtU07enIsY](https://youtube.com/watch?v=3PtU07enIsY) (Beim zweiten Video einfach kurz reinschauen.)

<sup>12</sup> Genauer steht statt k in den Physikbüchern:  $\frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$  mit  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$ . Damit ist  $k = \frac{1}{4 \pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} = 8,988 \text{ Vm/As}$ . (oder  $\text{Nm}^2/\text{C}^2$ . Im SI-System muss du dir um die z.T. kryptischen Einheiten keine Gedanken machen.)

<sup>13</sup> Wenn man also z.B. zwei kleine Kügelchen mit Ladung  $Q_1$  bzw.  $Q_2$  auflädt, so kann man mit dieser Formel die Kraft zwischen den beiden Körpern berechnen.

<sup>14</sup> Wenn ich in den obigen Formel überall 1er einsetze, bleibt k übrig, und das sind eben 9 Milliarden. So eine Kraft ist unrealistisch. Das Problem war: Man schafft es nicht, zwei Körper auf je 1 C aufzuladen.

<sup>15</sup> Mathematisch klar: Plus mal Plus ergibt Plus, Minus mal Minus ergibt Plus (= Abstoßung). Andererseits: Minus mal Plus (oder umgekehrt) ergibt Minus (=Anziehung).

<sup>16</sup> Das kommt vom Quadrieren des Abstands r.

Bsp.: Zwischen 2 gegengleichen Ladungen (d.h.  $Q_1 = -Q_2$ )<sup>17</sup> im Abstand von 5 cm herrscht eine Kraft von 0,01 N.

$Q_{1/2} = ?$

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$-0,01 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-Q_2 \cdot Q_2}{0,05^2} \quad | : (9 \cdot 10^9) \cdot 0,05^2, \cdot (-1)$$

$$Q_2^2 = \frac{0,01 \cdot 0,05^2}{9 \cdot 10^9}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{0,01 \cdot 0,05^2}{9 \cdot 10^9}} = \underline{5,3 \cdot 10^{-8} \text{ C}}$$

$$Q_1 = \underline{-5,3 \cdot 10^{-8} \text{ C}}$$

Versuch: Elektrostatische Staubabscheidung.<sup>18</sup>

Malerei: Elektrostatische Spritzverfahren bei Lackieren.<sup>19</sup>

### El. Leiter und Isolatoren

El. Leiter (v.a. Metalle): Elektronen der äußersten Schale sind sehr schwach gebunden. Sie können leicht „fließen“.

Isolatoren (z.B. Kunststoffe, Glas): Die Elektronen sind stark an das Atom gebunden.

Die Fähigkeit, el. Ladungen fließen zu lassen, unterscheidet sich bei Leitern und Isolatoren enorm ( $10^{20}$ fach und mehr; z.B. lange el. Leitungen mit ganz dünner Isolation).<sup>20</sup>

<sup>17</sup> D.h. die eine ist gleich stark negativ geladen wie die andere positiv.

<sup>18</sup> in einem Kraftwerk: [youtube.com/watch?v=1x3fZvDGDuc](https://youtube.com/watch?v=1x3fZvDGDuc)

<sup>19</sup> Zeichnerischen Erklärung: [youtube.com/watch?v=bPLEhFODXTA](https://youtube.com/watch?v=bPLEhFODXTA),

englische Erklärung: [youtube.com/watch?v=LAEGkaqKZhQ](https://youtube.com/watch?v=LAEGkaqKZhQ)

Praktische Ausführung: [youtube.com/watch?v=IX0bFJc50g0](https://youtube.com/watch?v=IX0bFJc50g0) (Im ersten Teil dieses Videos sind Rohr und Farbe ungleich aufgeladen, sodass sich die Farbe rund um das Rohr aufgetragen wird. Im zweiten Teil wurde keine Ladung benutzt, und viel Farbe geht verloren.)

<sup>20</sup> Du weißt: Es ist völlig unproblematisch, die isolierte Zuleitung eines Elektrogeräts zu berühren. Wenn die Isolation aber fehlerhaft ist, wird es schnell sehr gefährlich. Der Unterschied in der „Qualität, Elektronen fließen zu lassen“ ist nicht 1000fach ( $10^3$ ) oder millionenfach ( $10^6$ ), sondern in der Größenordnung von  $10^{20}$ !