

# Elektrostatik

# 1

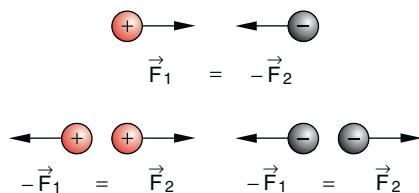
1.1	Elektrische Ladungen; Coulomb-Gesetz . . . . .	2
1.2	Das elektrische Feld . . . . .	5
1.3	Elektrostatisches Potential . . . . .	8
1.4	Multipole . . . . .	13
1.5	Leiter im elektrischen Feld . . . . .	17
1.6	Die Energie des elektrischen Feldes . . . . .	21
1.7	Dielektrika im elektrischen Feld . . . . .	22
1.8	Die atomaren Grundlagen von Ladungen und elektrischen Momenten . . . . .	28
1.9	Elektrostatik in Natur und Technik . . . . .	32
	Zusammenfassung . . . . .	37
	Aufgaben . . . . .	38
	Literatur . . . . .	40

Die Elektrostatik behandelt Phänomene, die durch ruhende **elektrische Ladungen** verursacht werden. Die ersten, allerdings noch wenig quantitativen Erfahrungen mit elektrostatischen Effekten wurden schon vor mehr als 2000 Jahren in Griechenland mit Bernstein (griechisch: „elektron“) gemacht, der sich beim Reiben elektrisch auflädt. Heute gibt es neben detailliertem Grundlagenwissen eine große Zahl technischer Anwendungen der Elektrostatik, von denen eine kleine Auswahl vorgestellt wird. Trotzdem sind noch eine Reihe fundamentaler Fragen offen, von denen einige in Band 3 und 4 dieses Lehrbuchs diskutiert werden.

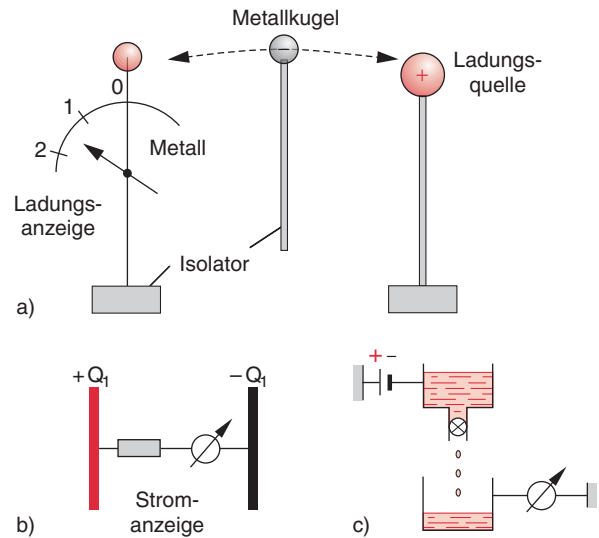
## 1.1 Elektrische Ladungen; Coulomb-Gesetz

Viele experimentelle Untersuchungen in den letzten drei Jahrhunderten (siehe z. B. [1–3]) haben folgende Erkenntnisse gebracht:

- Es gibt zwei verschiedene Arten elektrischer Ladungen: positive  $\oplus$  und negative  $\ominus$  Ladungen, die durch ihre Kraftwirkungen aufeinander und durch ihre Ablenkung in elektrischen und magnetischen Feldern (siehe Abschn. 1.8.2 und 3.3) unterschieden werden können.
- Ladungen gleichen Vorzeichens stoßen sich ab, solche mit entgegengesetztem Vorzeichen ziehen sich an (Abb. 1.1). Im Gegensatz zur Gravitationskraft, die immer anziehend ist, gibt es hier also sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte. Diese Kräfte können zur Messung von Ladungen benutzt werden!
- Ladungen sind immer an massive Teilchen gebunden. Die wichtigsten Träger der negativen elektrischen Ladung sind *Elektronen* und *negative Ionen* (dies sind Atome oder Moleküle mit einem Überschuss an Elektronen). Atomkerne sowie *positive Ionen* (Atome oder Moleküle, denen ein oder mehrere Elektronen fehlen) sind die Hauptträger positiver Ladungen. Daneben gibt es noch geladene kurzlebige Elementarteilchen wie z. B.  $\pi$ -Mesonen  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ , Myonen  $\mu^+$ ,  $\mu^-$ , Positron  $e^+$  und Antiproton  $p^-$ .
- Die Ladungen  $e$  des Protons und  $-e$  des Elektrons stellen die kleinste bisher beobachtete Ladungsmenge dar. Alle in der Natur vorkommenden Ladungen  $Q$  sind ganzzahlige Vielfache dieser **Elementarladungen**. Ausnahme sind die als Bausteine der Hadronen (*schwere* Teilchen, siehe Bd. 1, Abschn. 1.4) angenommenen Quarks mit Ladungen  $1/3 e$  bzw.



**Abbildung 1.1** Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich gegenseitig an, gleichartige Ladungen stoßen sich ab



**Abbildung 1.2** Ladungstransport: **a** Durch einen „Ladungsöffel“; **b** durch eine leitende Verbindung zwischen entgegengesetzten Ladungen; **c** durch geladene Wassertropfen

$2/3 e$ , die aber nach unserer heutigen Kenntnis nicht als freie Teilchen existieren können.

Sehr genaue Messungen haben gezeigt, dass die Beträge von Protonen- und Elektronenladung sich um höchstens  $10^{-20} e$  unterscheiden, und es gibt Argumente dafür, dass sie wahrscheinlich genau gleich sind (siehe Bd. 3).

In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtladung zeitlich konstant, d. h. Ladungen können weder erzeugt noch vernichtet werden.

- **Aber:** Man kann Ladungen eines Vorzeichens isolieren durch räumliche Trennung von positiven und negativen Ladungen (siehe Abschn. 1.5). Ein Beispiel ist die Ionisation des Wasserstoffatoms, bei der Elektron und Proton getrennt werden.
- Ladungen lassen sich z. B. mit elektrisch isolierten Metallkugeln von einer Ladungsquelle zum Ladungsmessgerät (siehe Abb. 1.2a) transportieren, aber auch durch elektrisch leitende Materialien (Abb. 1.2b) oder durch geladene Wassertropfen (Abb. 1.2c).

Ein Ladungstransport stellt einen elektrischen Strom dar. Ladungstransport ist immer mit Massentransport verbunden.

- Da die uns umgebende Materie im Allgemeinen elektrisch neutral ist, werden Ladungen eines Vorzeichens „erzeugt“ durch räumliche Trennung von Ladungen, wobei die Summe aus den getrennten positiven und negativen Ladungen null ist.