Zusammenfassung 2: Elektrische Felder und Ladungen

- **Coulomb-Kraft.** Die Kraft $\vec{F}_C$ zwischen zwei Ladungen q_1 und q_2 ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes r der Ladungen:

  $$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

  mit der Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}$ $C^2/(Nm^2)$. Die Richtung der *elektrostatischen Kraft* F_C zeigt dabei entlang der Verbindungsachse der Ladungen, der zugehörige (Einheits-) Richtungsvektor lautet $\vec{e}_r = \vec{r}/|\vec{r}|$. Die Einheit der elektrischen Ladung ist das Coulomb, 1 C = 1 A/s. Ladung ist gequantelt, sie ist ein Vielfaches der Elementarladung $e = 1.6\times10^{-19}$ C; der Nachweis erfolgt mit dem *Millikan-Versuch*.

- **Elektrisches Feld.** Das *elektrische Feld* $\vec{E}$ ist definiert als der Quotient aus elektrostatischer Kraft und einer Probeladung q_1, $\vec{E} = \vec{F}_C / q_1$. Das elektrische Feld einer Ladung q im Abstand r von dieser Ladung ist dann

  $$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad .$$

  Für positive Ladungen zeigt das elektrische Feld radial von der Punktladung weg.

- **Elektrisches Potential und Spannung.** Das *elektrische Potential U* ist das Integral des elektrischen Feldes $\vec{E}$ über einen Weg $\vec{r}\,'$:

  $$U(\vec{r},\vec{r}_0) = \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{E}(\vec{r}\,')\cdot d\vec{r}\,'$$

  mit dem Bezugspunkt $\vec{r}_0$; mögliche Bezugspunkte sind z.B. $\vec{r}_0 = 0$ oder $\vec{r}_0 \to \infty$. Die *potentielle Energie* einer Ladung q am Ort $\vec{r}$ ist dann $W(\vec{r}) = qU(\vec{r})$. Die Potentialdifferenz zwischen den Orten $\vec{r}_1$ und $\vec{r}_2$ bezeichnet man als Spannung U:

  $$U(\vec{r}_1,\vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}(\vec{r}\,')\cdot d\vec{r}\,'$$

  Da die Coulomb-Kraft eine konservative Kraft ist, ist die Spannung unabhängig vom Integrationsweg $d\vec{r}\,'$.

- **Elektrischer Fluss.** Der *elektrische Fluss* Φ ist das Integral des elektrischen Feldes über eine Oberfläche $\vec{A}$, wobei die Richtung von $\vec{A}$ senkrecht auf der Oberfläche steht:

  $$\Phi = \int_A \vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{A}$$

  Für eine vollständig geschlossene Oberfläche A folgt aus dem *Gaußschen Satz*, dass der elektrische Fluss gleich der von A eingeschlossenen Ladung q_{in} geteilt durch ε_0 ist:

  $$\Phi = \oint_A \vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0} \quad .$$