GET it digital

Modul 1: Elektrische Grundgrößen

Stand: 10. März 2026

Lizenz

Lernziele: Beschreibung physikalischer Größen

Die Studierenden können

- physikalische Größen mit Maßzahl und Maßeinheit angeben
- die sieben SI-Basiseinheiten sowie die davon abgeleiteten Einheiten nutzen sowie ihren jeweiligen Größen zuordnen
- Zahlenwerte mit Hilfe von Zehnerpotenzen sowie deren Bezeichnung angeben und ineinander umrechnen

Das SI-Einheitensystem

SI-Größe	Formelzeichen	Einheit	Basis
Zeit	t	Sekunde, s	$\Delta\nu$
Länge	ℓ	Meter, m	c, s
Masse	m	Kilogramm, kg	$h, \mathrm{s}, \mathrm{m}$
Stromstärke	I	Ampere, A	e, s
Temperatur	T	Kelvin, K	$k_\mathrm{B}, \mathrm{s}, \mathrm{m}, \mathrm{kg}$
Stoffmenge	n	Mol, mol	N_A
Lichtstärke	I_v	Candela, cd	$K_\mathrm{cd}, \mathrm{s}, \mathrm{m}, \mathrm{kg}$

Tabelle: SI-Einheiten und ihre Basisgrößen

Das Ampere ist seit 2019 durch die Elementarladung definiert. Ein Ampere ist der Stromfluss von $\frac{e}{1{,}602176634} \cdot 10^{-19} \, \frac{1}{\mathrm{s}}$ Elementarladungen pro Sekunde.

$e = 1{,}602176634 \cdot 10^{-19} \mathrm{As}$ (Elementarladung)

Abgeleitete SI-Einheiten

Größe	Formel	Einheit	Basiseinheit
Kraft	F	Newton, N	1 N = 1 kg m/s^2
Energie	E	Joule, J	1 J = 1 Ws = 1 Nm = 1 kg m^2/s^2
Leistung	P	Watt, W	1 W = 1 J/s = 1 kg m^2/s^3
Spannung	U	Volt, V	1 V = 1 W/A = 1 Nm/As = 1 kg m^2/s^{3}A
Ladung	Q	Coulomb, C	1 C = 1 As
Widerstand	R	Ohm, Ω	1 Ω = 1 V/A = 1 kg m^2/s^{3}A^2
Kapazität	C	Farad, F	1 F = 1 As/V = 1 s^{4}A^2/kg m^2
Induktivität	L	Henry, H	1 H = 1 Vs/A = 1 kg m^2/s^{2}A^2
magn. Fluss	Φ	Weber, Wb	1 Wb = 1 Vs = 1 kg m^2/s^{2}A
Flussdichte	B	Tesla, T	1 T = 1 Vs/m^2 = 1 kg/s^{2}A

Tabelle: Größen und ihre Basiseinheiten

Kraft ist Masse mal Beschleunigung: $F = m \cdot a$
Leistung ist Arbeit pro Zeit

Zehnerpotenzen

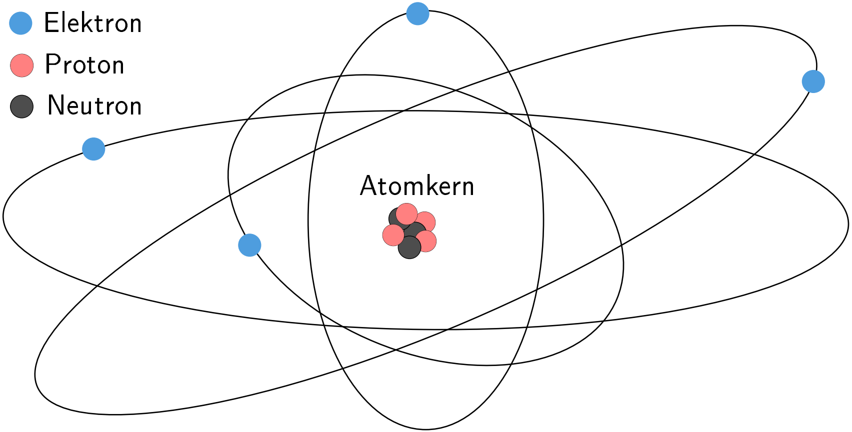
Bezeichnung	Potenz	Potenz	Bezeichnung
Dezi, d	10^{-1}	10^{1}	Deka, da
Zenti, c	10^{-2}	10^{2}	Hekto, h
Milli, m	10^{-3}	10^{3}	Kilo, k
Mikro, μ	10^{-6}	10^{6}	Mega, M
Nano, n	10^{-9}	10^{9}	Giga, G
Piko, p	10^{-12}	10^{12}	Tera, T
Femto, f	10^{-15}	10^{15}	Peta, P
Atto, a	10^{-18}	10^{18}	Exa, E

$$1\,\mathrm{m} = 100 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm}$$
$$1\,\mathrm{m}^2 = 100^2 \cdot (10^{-2}\,\mathrm{m})^2 = 10.000\,\mathrm{cm}^2$$
$$1\,\mathrm{m}^3 = 100^3 \cdot (10^{-2}\,\mathrm{m})^3 = 1.000.000\,\mathrm{cm}^3$$

Lernziele: Die Elektrische Ladung

Die Studierenden können

- die Eigenschaften elektrischer Ladungen sowie im Zusammenhang stehende physikalische Phänomene beschreiben
- elektrische Felder beschreiben und für einfache Ladungsanordnungen berechnen
- mit dem Coulomb´schen Gesetz Kräfte auf Ladungen berechnen


Elektron
Proton
Neutron
Atomkern

Kleinste Ladungseinheit ist die Elementarladung:

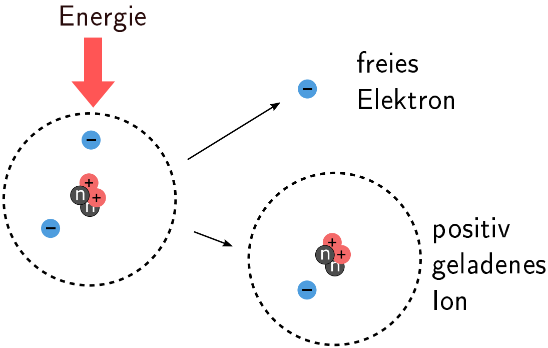
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ (Naturkonstante!)

Merke:

$$Q = \pm n \cdot e$$

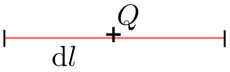
mit n = 1, 2, 3,...

$$[Q] = 1\,\mathrm{Coulomb} = 1\,\mathrm{C} = 1\,\mathrm{As}$$



Freie Elektronen als kleinste, leichteste und beweglichste Ladungsträger bedeutsam!

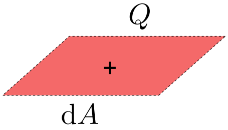
Linienladung



$$\lambda = \lim_{l \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta l} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}l}$$

$$Q = \int_l \lambda \, \mathrm{d}l$$

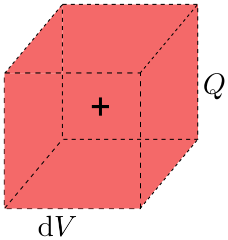
Flächenladung



$$\sigma = \lim_{A \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A}$$

$$Q = \iint_A \sigma \, \mathrm{d}A$$

Raumladung

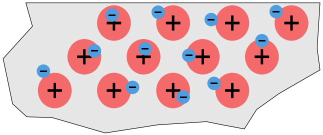


$$\rho = \lim_{V \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}V}$$

$$Q = \iiint_V \rho \, \mathrm{d}V$$

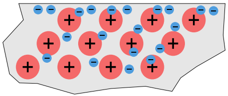
Elektrische Leiter - Metalle

Atomanordnung in **Gitterstruktur**,
äußere Elektronen nahezu frei beweglich
$\rightarrow$ verleiht elektrisch leitende Eigenschaften

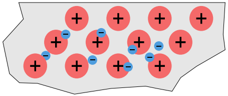


Summe Elektronen $\widehat{=}$ Summe Protonen
$\rightarrow$ elektrisch neutral

Hinzuführen von Elektronen
$\rightarrow$ negativ geladen



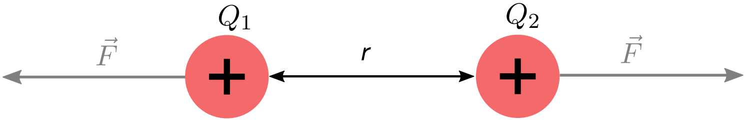
Entziehen von Elektronen
$\rightarrow$ positiv geladen



Ladungen üben Kräfte aufeinander aus.

Gleichnamige Ladung → abstoßend

Ungleichnamige Ladung → anziehend



$$F \sim \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \rightarrow F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ε_0: **elektrische Feldkonstante (Dielektrizitätskonstante)**

$$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\mathrm{As/Vm}$$

Lernziele: Das elektrische Feld

Die Studierenden

- entwickeln ein "Gefühl"für elektrische Felder
- elektrische Felder beschreiben und für einfache Ladungsanordnungen berechnen
- das Verhalten elektrischer Felder an Leitern charakterisieren

Elektrisches Feld $\vec{E}$ definiert durch:

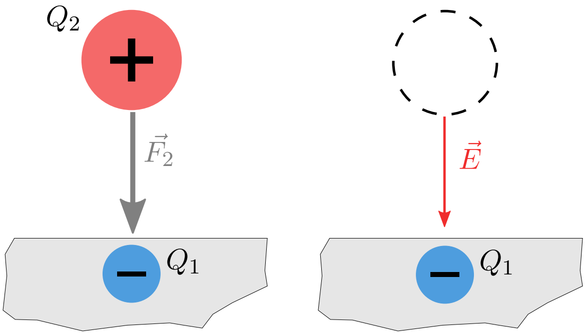
Größe (in Newton)
Richtung
einer **Kraft** $\vec{F}_\mathrm{E}$ auf pos. Probeladung

Charakterisiert durch **Feldlinien**
$\rightarrow$ Vektorfeld
Nachteil:
Feldstärke **unabhängig** von Probeladung

Merke:

$$\vec{E}_1 = \frac{\vec{F}_2}{Q_2}$$

$$[E] = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$$

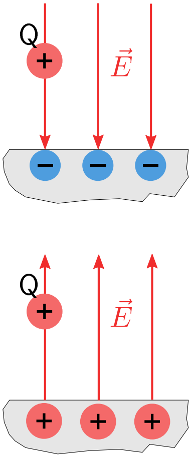


$$\vec{E}_1 = \frac{\vec{F}_2}{Q_2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \frac{1}{Q_2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r^2}$$

Feldlinien beginnen und enden immer auf Ladungen (oft Leiteroberflächen).

Elektronenüberschuss:
→ Pos. Probeladung wird angezogen
→ Feldlinien zeigen zum Leiter

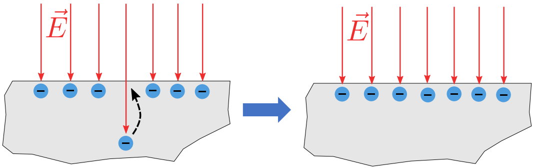
Elektronenmangel:
→ Pos. Probeladung wird abgestoßen
→ Feldlinien zeigen vom Leiter weg



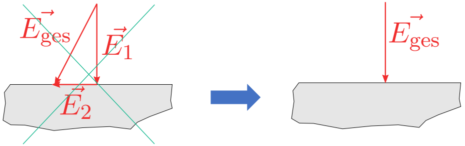
Merke:

In Leitern verschwindet das elektrostatische Feld

Bewegliche Ladungsträger:
$\rightarrow$ Leiteroberfläche
$\rightarrow$ Elektrostatisches Feld wird kompensiert

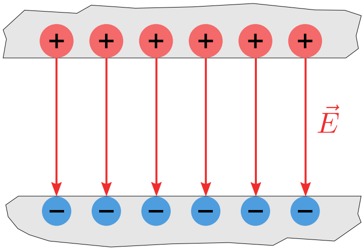


Vektorielle Zerlegung von $\vec{E}$
$\rightarrow$ Horizontale Komponente elimieniert

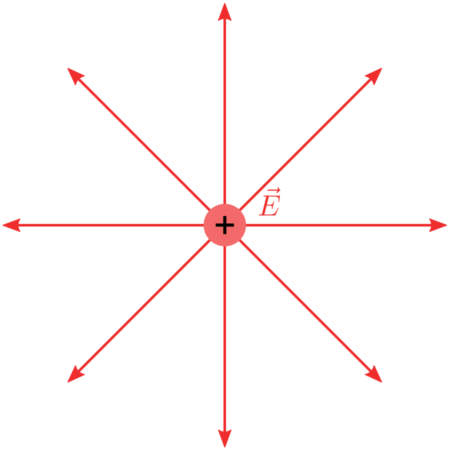


Merke:

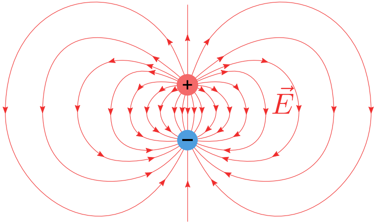
Elektrische Feldlinien stehen senkrecht auf Leitern

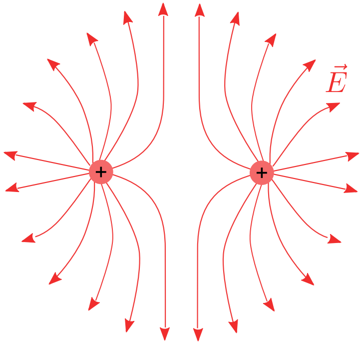


Elektrisches Homogenfeld zwischen zwei Leiterplatten



Radialfeld einer positiven Punktladung





Elektrisches Feld sich anziehender Punktladungen

Elektrisches Feld sich abstoßender Punktladungen

Lernziele: Das elektrische Potential

Die Studierenden können

- Verschiebearbeit von Ladungen im elektrischen Feld berechnen
- Äquipotentialflächen bestimmen und einzeichnen
- elektrische Spannungen aus gegebenen Feldgrößen bestimmen

Arbeit zur Bewegung von Ladungen im E-Feld erforderlich

Arbeit $W \mathrel{\widehat{=}}$ Kraft $\cdot$ Weg
$[W]$ = J (Joule)

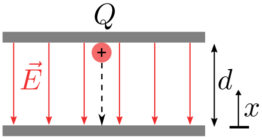
Vorzeichen betrachterabhängig, hier aus Erzeugersicht:
Negative Arbeit $\rightarrow$ Erhöhung potentieller Energie im System

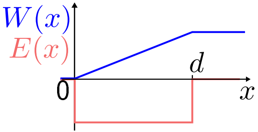
$$W = \int_d^0 \vec{F}\, d\vec{x} = Q \int_d^0 \vec{E} \cdot d\vec{x}$$

$$\text{mit } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

$$W = -Q \cdot E \int_d^0 dx = -Q \cdot E\, [x]_d^0$$

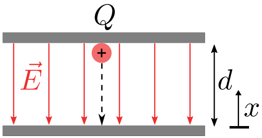
$$W = -Q \cdot E(0-d) = Q \cdot E \cdot d$$

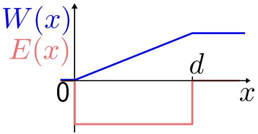


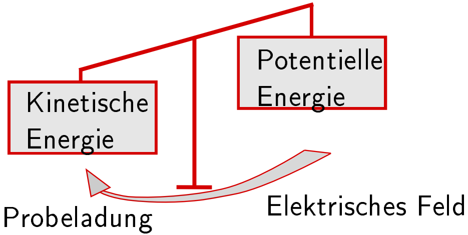


Merke:

$$\Delta W = Q \cdot E \cdot \Delta x$$







$$W(x) = Q \cdot E \cdot x + W_0$$

Problem: Abhängigkeit von Probeladung Q
$\rightarrow$ **Normierung** von $W(x)$ auf Q als Arbeitspotential

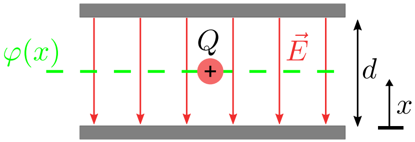
$$\frac{W(x)}{Q} = E \cdot x + \frac{W_0}{Q}$$

Normierung der potentiellen Energie:

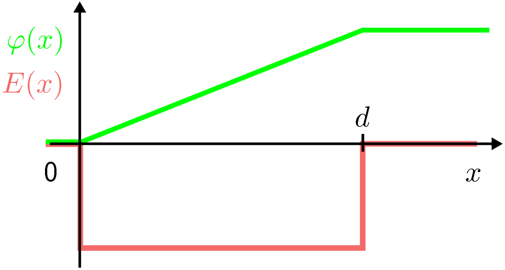
$$\text{Potential}\,\varphi = \frac{W}{Q}$$

$$[\varphi] = \text{Volt} = \text{V}$$

Im elektrischen Homogenfeld:



$$\varphi(x) = E \cdot x + \varphi_0$$



$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$$

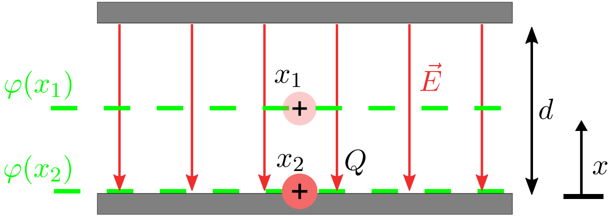
Bezugspunkt notwendig:

$$\varphi_0 = \varphi(x = 0) = 0$$

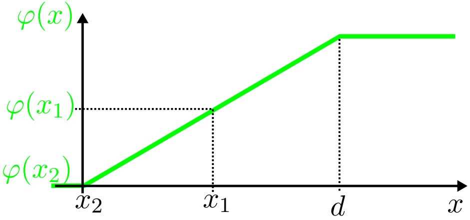
Zusammenhang zwischen Arbeit und Potential

Potential nur abhängig von Ortskoordinate x in Feldrichtung.

Flächen gleichen Potentials: $\rightarrow$ **Äquipotentialflächen**



$$W_{12} = Q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)$$



Mit Bezugspotential $\varphi_2 = 0$:

$$W_{12} = Q \cdot (\varphi_1 - 0) = Q \cdot \varphi_1$$

Wirbelfreies Feld

Zunächst Betrachtung der Teilenergien bei einem geschlossenen Umlauf im Homogenfeld.

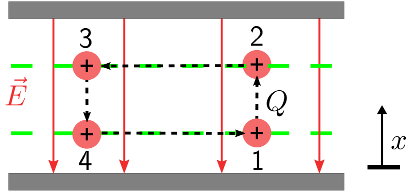
Die gesamte Energie ergibt sich durch die Aufsummierung der Teilenergien:

$$W_{\text{ges}} = Q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + Q \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + Q \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) + Q \cdot (\varphi_4 - \varphi_1)$$

$$W_{\text{ges}} = Q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_2 - \varphi_3 + \varphi_3 - \varphi_4 + \varphi_4 - \varphi_1)$$

$$W_{\text{ges}} = Q \cdot 0 = 0$$

Energie im elektrischen Feld ist nur von Anfangs- und Endpunkt und nicht vom Weg abhängig. Es ist ein „wirbelfreies“ Feld.



<u>Kennzeichen</u>:

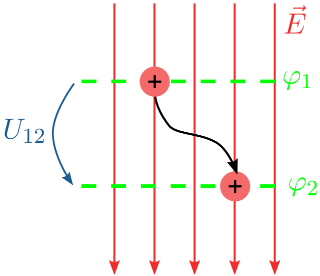
- keine geschlossenen Feldlinien
- Feldlinien beginnen und enden auf Ladungen

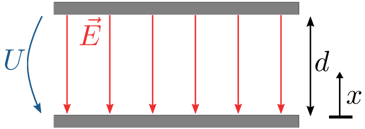
Potentialdifferenz bestimmt nutzbare Energie
$\rightarrow$ **Spannung** U:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$[U] = \mathrm{Volt} = \mathrm{V}$$

Indexreihenfolge: Start- und Zielpunkt





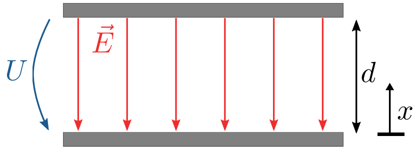
Zusammenhang zwischen Spannung und Feldstärke I

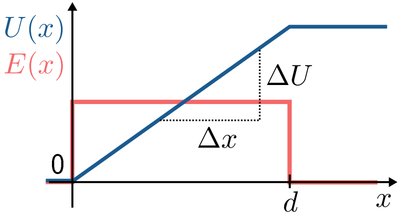
Im **Homogenfeld:**

$$\varphi(x) = E \cdot x$$

$$U = \varphi(x = d) - \varphi(x = 0)$$

$$U = E \cdot d - E \cdot 0$$





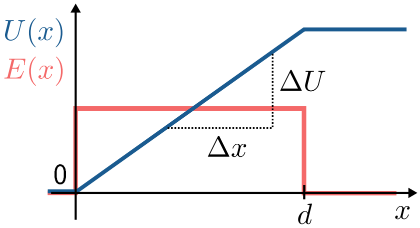
Merke:

$$U = E \cdot d$$

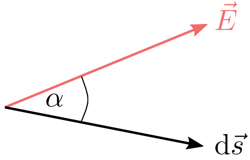
$$E = \frac{U}{d}$$

Zusammenhang zwischen Spannung und Feldstärke II

Spannung $\hat{=}$ aufintegrierter Feldstärke:



Wiederholung Skalarprodukt:



Allgemeines Feld:

$$\vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = E\,\mathrm{d}s \cdot \cos(\alpha)$$

Merke:

$$U_{12} = \int_1^2 \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{s}$$

Lernziele: Die Elektrische Stromstärke

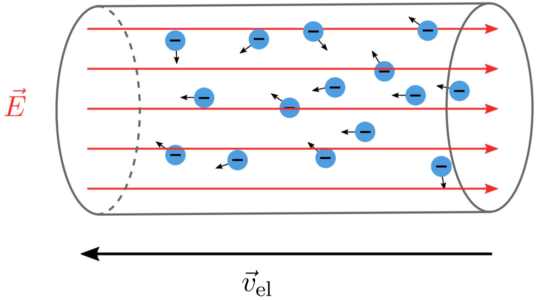
Die Studierenden können

- die Begriffe der elektrischen Stromstärke und der elektrischen Stromdichte erläutern und anwenden
- die elektrische Stromstärke sowie die elektrische Stromdichte in einfachen Anordnungen berechnen
- die Driftgeschwindigkeit von Elektronen in einfachen Anordnungen bestimmen

Strömungsfeld: **gerichtete** Bewegung von Teilchen

Stationäres Stromungsfeld: **zeitlich konstanter** Teilchenstrom

Stationäres elektrisches Strömungsfeld: strömende Teilchen **elektrische Ladungsträger**

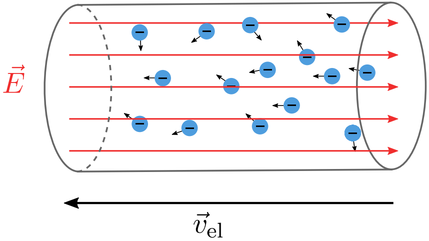


Elektrischer Strom: gerichtete Driftbewegung von Ladungsträgern

Feldstärkeabhängige Driftgeschwindigkeit $\vec{v}_{\mathrm{el}}$:

$$\vec{v}_{\mathrm{el}} = -b_{\mathrm{el}} \cdot \vec{E}$$

mit:
$\vec{v}_{\mathrm{el}}$ = Driftgeschwindigkeit der Elektronen in $\mathrm{m/s}$
b_{el} = Elektronenbeweglichkeit in $\mathrm{cm^2/Vs}$



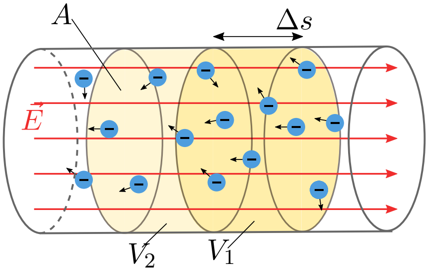
Ladungsträgertransport innerhalb eines Leiters:

$$\Delta Q = e \cdot N_{\mathrm{el}}$$

$$\Delta Q = e \cdot n_{\mathrm{el}} \cdot V_1$$

$$\Delta Q = e \cdot n_{\mathrm{el}} \cdot b_{\mathrm{el}} \cdot E \cdot \Delta t \cdot A$$

mit:
N_{el} = Anzahl Ladungsträger in betrachtetem Volumen
n_{el} = Ladungsträgerdichte in $1/\mathrm{m}^3$

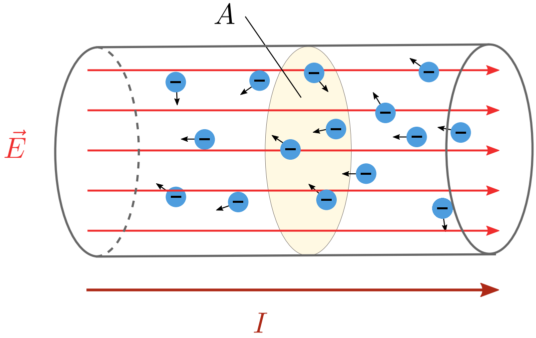


Definition der elektrischen Stromstärke

Stromstärke I : Ladungsmenge ΔQ in Δt durch Leiter

Merke:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



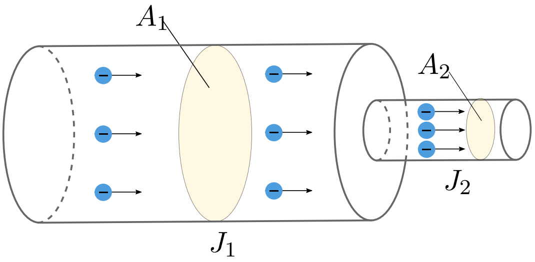
$$[I] = \text{Ampere} = \text{A}$$

$$I = e \cdot n_{\text{el}} \cdot b_{\text{el}} \cdot E \cdot A$$

Stromstärke J : Stromstärke ΔI pro Leiterquerschnitt ΔA

Merke:

$J = \frac{\Delta I}{\Delta A}$



$$[J] = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}^2}$$

$$J_1 \cdot A_1 = J_2 \cdot A_2 = I$$