

6 Das stationäre elektrische Strömungsfeld

Student Group

First Name	Surname	Matrikel Nr.

Table of Contents

6. Das stationäre elektrische Strömungsfeld	2
6.1 Stromstärke und Strömungsfeld	2
Ziele	2
Stromstärke und Stromdichte	2
Feldlinien und Äquipotentialflächen des elektrischen Strömungsfeldes	3
Aufgabe	5
Aufgabe 6.1.1 Elektronengeschwindigkeit in Kupfer	5
6.2 Gaußscher Satz des Strömungsfeldes	5
Ziele	5
Video	5
Aufgaben	6
Aufgabe 6.2.1 Simulation	6

6. Das stationäre elektrische Strömungsfeld

Im elektrostatischen Feld wurden prinzipiell keine Ladungen in Bewegung betrachtet. Nun soll die Bewegung der Ladungen explizit betrachtet werden.

Das elektrische Strömungsfeld bezeichnet hier wie gemeinsame (kollektive) Bewegung von Ladungsträgern. Das stationäre Strömungsfeld beschreibt dabei die Ladungsträgerbewegung, wenn eine **Gleichspannung** die Ursache der Bewegung ist. Im stationären elektrischen Strömungsfeld fließt dann ein konstanter Gleichstrom. Damit gibt es keine Zeitabhängigkeit des Stroms:

$$\frac{dI}{dt} = 0$$

6.1 Stromstärke und Strömungsfeld

Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. in der Lage sein, das Strömungsfeld in einem eingeschnürten und geradlinigen Leiter zu skizzieren.
2. die Strömungsgeschwindigkeit von Elektronen bestimmen können.
3. die integrale Schreibweise der elektrischen Stromstärke kennen.



Fig. 1: Teil eines Leiters

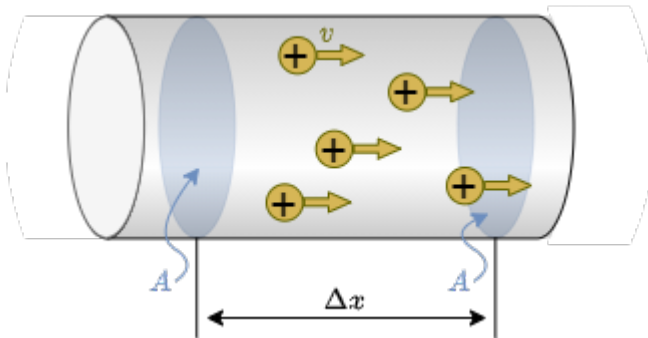
Stromstärke und Stromdichte

Die Stromstärke wurde bisher als "Ladung pro Zeit" ($I = \frac{dQ}{dt}$) begriffen. Mikroskopisch betrachtet ist der elektrische Strom die gerichtete Bewegung von elektrischen Ladungsträgern. Im Kapitel [Grundlagen und Grundbegriffe](#) sind wir auf das Bild des durch eine Querschnittsfläche A durchdringenden Ladungsträgerstromes bereits eingegangen (siehe [figure 1](#)). Weiterhin hatten wir in der Gleichstromtechnik ganz praktisch das ohmsche Gesetz mit $R = \frac{U}{I}$ angewandt. Nun wissen wir aber, dass aus dem elektrostatischen Feld die Spannung sich aus der elektrischen Feldstärke herleiten lässt. Wie ist das aber nun beim Strom?

Dazu wird das Paket dQ an Ladungen betrachtet, welches zukünftig in dem Zeitraum dt die Fläche A passieren wird. Diese Ladungen befinden sich in einem Teilvolumenelement dV ,

welches durch die zu durchtretende Fläche A und einem Teilabschnitt dx gegeben ist: $dV = A \cdot dx$. Die Menge an Ladungen pro Volumen wird durch die Ladungsträgerdichte angegeben, speziell bei Metallen durch die Elektronendichte n_e . Die Elektronendichte n_e gibt die Anzahl der freien Elektronen je Volumeneinheit an. Diese liegt z.B. bei Kupfer etwa bei $n_e(\text{Cu}) = 8,47 \cdot 10^{19} \frac{1}{\text{mm}^3}$.

Fig. 2: Ladungen in einem Teilvolumen im Leiter



Die in dem Teilvolumenelement dV enthaltenen, strömenden Ladungen sind dann (mit der Elementarladung e_0):

$$dQ = n_e \cdot e_0 \cdot A \cdot dx$$

Die Stromstärke ist dann mit $I = \frac{dQ}{dt}$:

$$dQ = n_e \cdot e_0 \cdot A \cdot \{dx\} \cdot \{dt\} = n_e \cdot e_0 \cdot A \cdot v_e$$

Es ergibt sich so eine Elektronengeschwindigkeit v_e von:

$$v_e = \{dx\} \cdot \{dt\} = \frac{I}{n_e \cdot e_0 \cdot A}$$

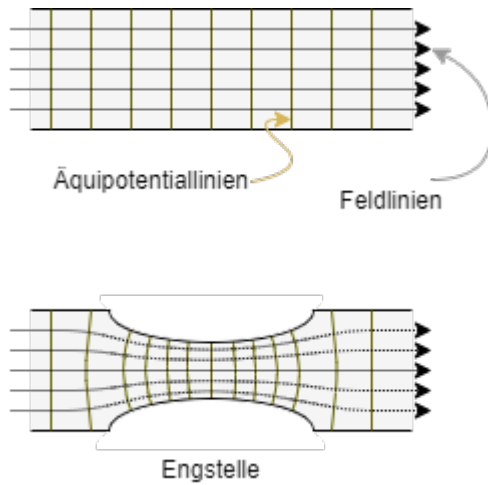
Mit Blick auf die Elektronengeschwindigkeit $v_e \sim \frac{I}{A}$ liegt es nahe eine (auf die Fläche bezogene) Stromdichte S zu bestimmen:

$$S = \frac{I}{A}$$

In einigen Büchern wird auch der Buchstabe j für die Stromdichte genutzt.

Feldlinien und Äquipotentialflächen des elektrischen Strömungsfeldes

Fig. 3: Feldlinien und Äquipotentialflächen des elektrischen Strömungsfeldes



Wie auch beim elektrostatischen Feld soll auch hier eine homogene Feldform und die inhomogene Feldform gegenübergestellt werden:

1. Homogenes Strömungsfeld

z.B. Leiter mit konstantem Querschnitt

1. Feldlinien des Stroms verlaufen parallel
2. Äquipotentialflächen stehen dazu stets senkrecht
3. Strom $I = S \cdot A$ ist konstant

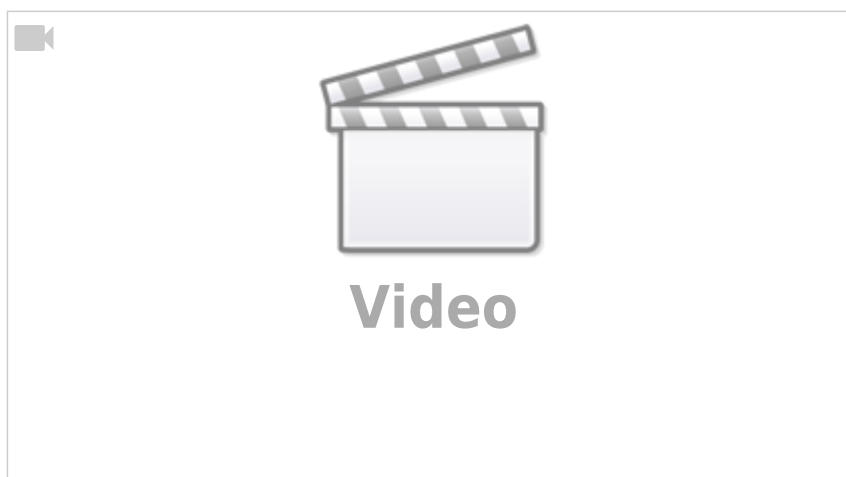
\rightarrow Ladungsträger haben die gleiche Geschwindigkeit v

2. Inhomogenes Strömungsfeld

Schmelzsicherung oder Verjüngung im Draht

1. Feldlinien des Stroms verlaufen nicht parallel
2. Äquipotentialflächen stehen dazu stets senkrecht
3. Strom $I = S \cdot A$ muss auch konstant sein, da die Ladung nicht verschwindet / erzeugt wird, aber die Fläche A wird geringer
 \rightarrow damit muss die Stromdichte S und die Geschwindigkeit v an der Engstelle größer werden

Die elektrischen Stromdichte



Beispiele zur elektrischen Stromdichte



Aufgabe

Aufgabe 6.1.1 Elektronengeschwindigkeit in Kupfer

In einem Leiter aus Kupfer mit der Querschnittsfläche A fließt der Strom $I = 20\text{ A}$. Gegeben sei weiterhin die Elektronendichte $n_e(\text{Cu}) = 8,47 \cdot 10^{19} \frac{1}{\text{mm}^3}$ und den Betrag der Elementarladung $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

1. Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit $v_{e,1}$ der Elektronen, wenn die Querschnittsfläche des Leiters $A = 1,5\text{ mm}^2$ beträgt?
2. Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit $v_{e,1}$ der Elektronen, wenn die Querschnittsfläche des Leiters $A = 1,0\text{ mm}^2$ beträgt?

6.2 Gaußscher Satz des Strömungsfeldes

Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. wissen, welche Größen beim elektrostatischen Feld und beim Strömungsfeld vergleichbar sind.
2. anhand von Hüllflächen den Verschiebungsstrom erklären können.
3. verstanden haben wie der Strom "durch" einen Kondensator fließen kann.

Video

Warum fließt ein Elektronen durch einen Kondensator



Aufgaben

Aufgabe 6.2.1 Simulation

Im Simulationsprogramm von [Falstad](#) können von Äquipotentialflächen, elektrischer Feldstärke und Stromdichte in verschiedenen Objekten dargestellt werden.

1. Öffnen Sie das Simulationsprogramm über den Link
2. Wählen Sie: "Setup: Wire w/ Current" und "Show Current (j)"
3. Sie sehen nun einen endlichen Leiter, bei dem am oberen Ende Ladungsträger starten und am unteren Ende ankommen.
4. Wir wollen nun beobachten, was bei Verjüngungen im Leiter passiert.
 1. Wählen Sie dazu "Mouse = Clear Square". Sie können nun mit Hilfe der linken Maustaste vom leitenden Material Teile entfernen. Ziel soll sein, dass etwas in der Mitte des Leiters nur noch eine ein Kästchen breite Leitung liegt, auf einer Länge von wenigstens 10 Kästchen. Falls Sie wieder leitendes Material hinzufügen wollen, ist dies mit "Mouse = Add - Conductor" möglich.
 2. Überlegen Sie sich, warum sich bei der Verjüngung des Leiters nun mehr Äquipotentiallinien

ansammeln.

3. Wenn Sie auf zusätzlich mit "Show E/j" das E-Feld einzeichnen, sehen Sie, dass dieses entlang der Verjüngung stärker ist. Dies lässt sich über den Schieberegler "Brightness" überprüfen. Warum ist das so?
5. Wählen Sie "Setup: Current in 2D 1", "Show E/rho/j". Warum verhält sich der Hohlraum hier nicht wie ein Faradayscher Käfig?

</WRAP></WRAP>

From:
<https://wiki.mexle.org/> - MEXLE Wiki
Permanent link:
https://wiki.mexle.org/elektrotechnik_1/das_stationaere_elektrische_stroemungsfeld?rev=1607651283
Last update: 2021/05/09 09:59

