

# Fachmathematik

## Elektrik / Elektronik

### Inhalt

- Stromdichte  $J$  [A/mm<sup>2</sup>]

## Die Stromdichte

Formelbuchstabe der Stromdichte: J  
 Einheit der Stromdichte: [Ampere/Fläche] [A/mm<sup>2</sup>]

### Begriffsdefinition der Stromdichte:

Die Stromdichte ist die Anzahl der Ladungsträger Elektronen pro Flächeninhalt mm<sup>2</sup>.

$$J = \frac{I}{A} \Rightarrow \left[ \frac{A}{\text{mm}^2} \right] = \frac{A}{\text{mm}^2}$$

umgestellt nach

den einzelnen Größen

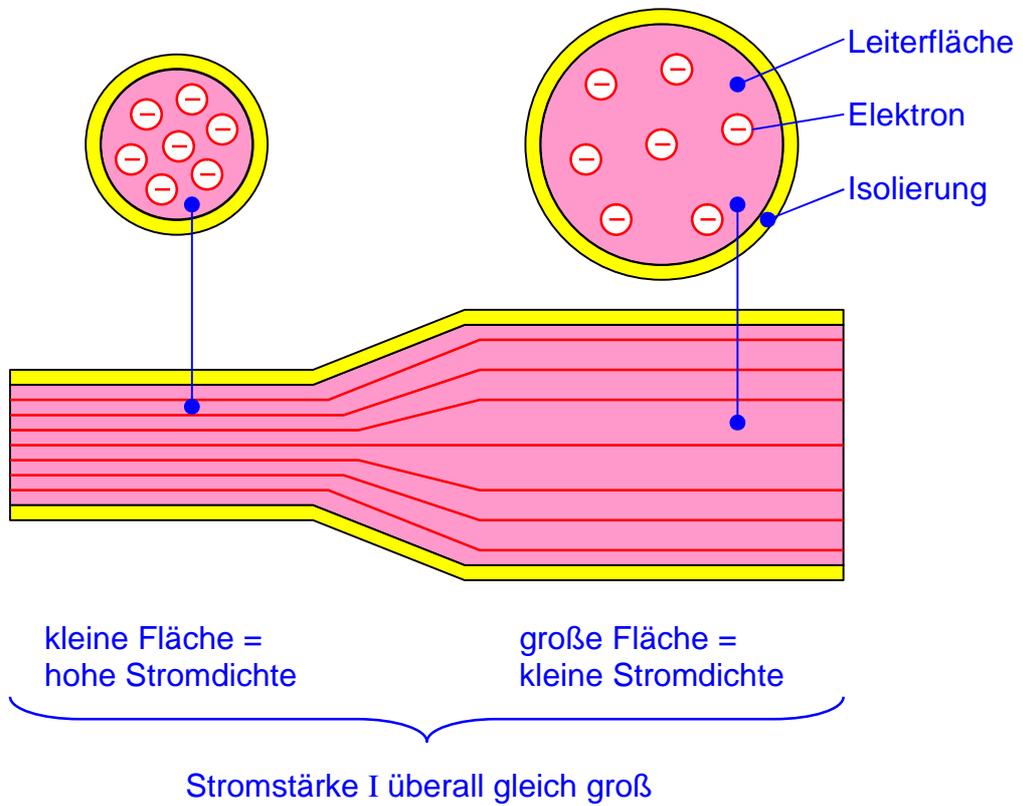
$$A = \frac{I}{J} \Rightarrow \left[ \frac{\cancel{A} \cdot \text{mm}^2}{\cancel{A}} \right] = \text{mm}^2$$

$$I = J \cdot A \Rightarrow \left[ \frac{A \cdot \cancel{\text{mm}^2}}{\cancel{\text{mm}^2}} \right] = A$$

Die einzelnen Größen sind mit folgenden Einheiten behaftet:

Größe	=	Benennung	Einheit
J	=	Stromdichte	[A/mm <sup>2</sup> ]
I	=	Stromstärke	[A]
A	=	Fläche der elektrischen Leitung	[mm <sup>2</sup> ]

Abb.: 1 verschiedene Leiterflächen, gleiche Anzahl von Elektronen



In der -Abb.: 1 verschiedene Leiterflächen, gleiche Anzahl von Elektronen- sind zwei verschiedenen Leiterflächen dargestellt, links eine kleine Fläche, rechts eine große Fläche. Schaltungstechnisch liegen die beiden Leiterflächen in Reihe zueinander, das heißt, die Stromstärke ist in beiden Leiterflächen gleich groß. Allerdings ist die Zahl der Ladungsträger „Elektronen“ pro Flächeninhalt  $\text{mm}^2$  in der linken Seite der Leitung höher als in der rechten Seite der Leitung. Die Elektronen in der rechten Leiterfläche haben einfach „mehr Platz“, um durch diese Fläche ihre negative Ladung zu transportieren. In der linken Fläche müssen sie sich durch diese kleinere Fläche „durchzwängen“ um ans „Ziel“ zu kommen. Das Zusammenprallen mit den Leiteratomen findet hierbei viel öfter statt, deshalb auch die Erwärmung.

Diese höhere Anzahl kann zum Beispiel dadurch zustande kommen, dass der linke Teil der Leitung durch eine Quetschung kleiner geworden ist, oder auch gewollt, zum Beispiel die Fläche einer Sicherung ist sehr klein. Sie ist ja bekanntlich die gewollt schwächste Stelle im Stromkreis. Wird der Stromfluss durch diese Sicherung zu groß, zum Beispiel durch einen Masseschluss, wird die Stromdichte in der Leiterfläche der Sicherung zu groß, sie schmilzt durch. Deshalb spricht man auch von Schmelzsicherungen.

Eine Quetschung und damit eine Verkleinerung der Fläche der Leitung können durch eine falsche Grimpszange oder Presszange erfolgen. Auch wenn Leitungen durch eine unsachgemäße Verbindung, wie zum Beispiel durch eine Lüsterklemme verbunden werden, kann es zur Verkleinerung der Fläche dadurch kommen, wenn man die Quetschrauben zu fest anzieht. Die Konsequenz aus diesen unsachgemäßen Verbindungen, sei es falsche Grimpszange oder Lüsterklemme, ist immer eine Erwärmung an dieser Stelle. Als Folge der starken Erwärmung kann an dieser Stelle ein Leitungsbrand entstehen, mit all seinen Konsequenzen. Eine nicht zu verachtende Folge ist der sich jetzt einstellende Übergangswiderstand, an dem natürlich jetzt auch eine Spannung abfällt und damit die Klemmenspannung an zu schaltenden Verbraucher mindert.

Eine gewollte hohe Stromdichte findet man in Wärmestrahlerglühlampen.

Die Leiterfläche des verwendeten Wolframdrahtes ist extrem klein, dadurch tritt eine sehr hohe Stromdichte auf, die den Wolframdraht so sehr zum Glühen bringt, dass dadurch Licht erzeugt wird.

Wobei man sagen muss, energietechnisch erzeugt dieser Leuchtkörper 95% Wärme und nur 5% Licht, aber es reicht um genügend zu sehen.

Für zu verlegende elektrische Versorgungsleitungen wählt man einen üblichen Stromdichtewert von  $10 \text{ A/mm}^2$ . Darüber hinaus kann zum Beispiel die Starterhauptleitung im so genannten Kurzzeitbetrieb mit  $30 \text{ A/mm}^2$  belastet werden.

#### **Anmerkung zum Durchschmelzen von Sicherungen:**

Die häufig gesagte Äußerung: „Die Sicherung ist durch den zu hohen Strom durchgebrannt“ ist nur bedingt richtig. Die Ursache der durchgeschmolzenen Sicherung ist die hohe Stromdichte in der Leiterfläche der Sicherung. Die an der Sicherung adaptierten Leitungen haben eine größere Fläche, werden zwar auch von der gleichen Stromstärke durchflossen, nur, sie schmelzen nicht durch, da die Anzahl von Ladungsträgern „Elektronen“ pro Flächeninhalt  $\text{mm}^2$  nicht so groß ist.

Mathematische Beispielaufgaben für die Stromdichte:

1.) Eine Glühlampe erbringt ihre Leistung von 21 W durch einen Stromfluss von 1,75 A. Die Leiterfläche der Zuleitung beträgt 1,5 mm<sup>2</sup>, der Drahtdurchmesser des Wolframfadens beträgt 0,15 mm.

1.1 Wie groß ist die Stromdichte in der Zuleitung und

1.2 wie groß im Wolframfaden?

$$\begin{aligned} \text{geg} &= I = 1,75 \text{ A} \\ &A_{\text{Zul}} = 1,5 \text{ mm}^2 \\ &d_{\text{DWolf}} = 0,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{ges} = J_{\text{Zul}}, J_{\text{Wolf}}$$

$$J_{\text{Zul}} = \frac{I}{A_{\text{Zul}}}$$

$$J_{\text{Zul}} = \frac{1,75}{1,5} \Rightarrow \left[ \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right] = \text{A/mm}^2$$

$$J_{\text{Zul}} = \underline{\underline{1,166666667 \text{ A/mm}^2}}$$

$$J_{\text{Wolf}} = \frac{I}{A_{\text{Wolf}}}$$

$$J_{\text{Wolf}} = \frac{I \cdot 4}{d_{\text{DWolf}}^2 \cdot \pi}$$

$$J_{\text{Wolf}} = \frac{1,75 \cdot 4}{0,15^2 \cdot \pi} \Rightarrow \left[ \frac{\text{A} \cdot \cancel{4}}{\text{mm}^2 \cdot \cancel{\pi}} \right] = \text{A/mm}^2$$

$$J_{\text{Wolf}} = \underline{\underline{99,02974237 \text{ A/mm}^2}}$$

Erläuterungen:

I = Stromfluss bei 21 W Lampenleistung

A<sub>Zul</sub> = Fläche der Zuleitung

A<sub>Wolf</sub> = Fläche des Wolframfadens in der Glühlampe

d<sub>DWolf</sub> = Durchmesser Draht des Wolframfadens in der Glühlampe

J<sub>Zul</sub> = Stromdichte in der Zuleitung

J<sub>Wolf</sub> = Stromdichte im Wolframfaden

2.) Ein Anlasser nimmt im Losbrechmoment (Anlasserritzel ist eingespart, Zähne des Anlassers und des Schwungrades sind im Eingriff), einen Strom von 625 A auf. Die positive Spannungsversorgungsleitung hat eine Leiterfläche von 35 mm<sup>2</sup> aus Kupfer.

2.1 Wie groß ist die Stromdichte in der positiven Spannungsversorgungsleitung?

$$\begin{aligned} \text{geg} &= I = 625 \text{ A} \\ &A_{\text{Zul}} = 35 \text{ mm}^2 \\ \text{ges} &= J_{\text{Zul}} \end{aligned}$$

$$J_{\text{Zul}} = \frac{I}{A}$$

$$J_{\text{Zul}} = \frac{625}{35} \Rightarrow \left[ \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right] = \text{A/mm}^2$$

$$J_{\text{Zul}} = \underline{\underline{17,85714286 \text{ A/mm}^2}}$$

Erläuterungen:

I = Stromfluss

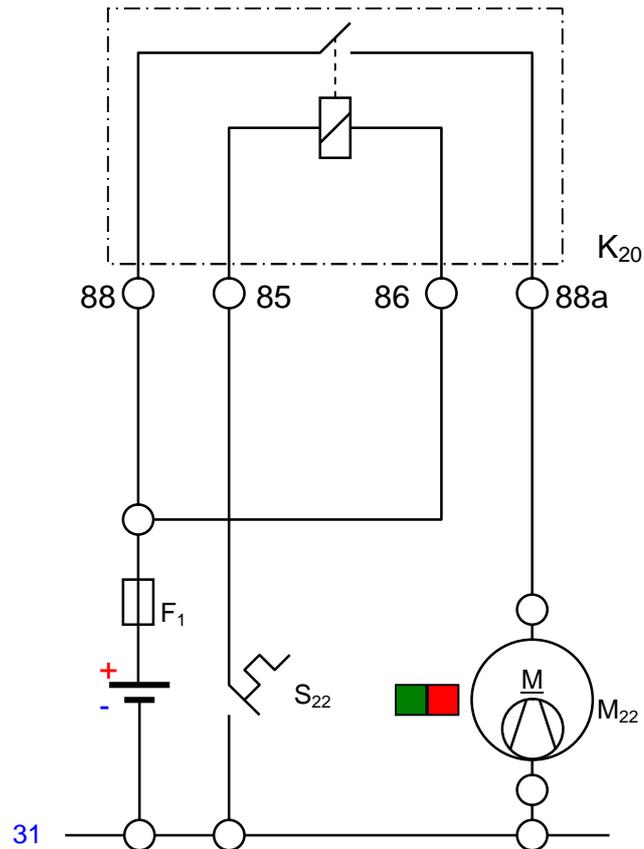
A<sub>Zul</sub> = Fläche der Spannungsversorgungsleitung

J<sub>Zul</sub> = Stromdichte der Spannungsversorgungsleitung

Übungsaufgaben zur Stromdichte

1.) Relaisschaltung

Abb.: 2 Relaisschaltung für einen Lüftermotor



- Der Steuerstrom für das Relais  $K_{20}$  für den Lüftermotor  $M_{22}$  ist mit 204,5 mA gemessen worden. Die positive Steuerstromversorgungsleitung des Relais hat eine Fläche von  $0,5 \text{ mm}^2$ . Der Lüftermotor nimmt bei einer Klemmenspannung von 14,2 V eine Stromstärke von 6,25 A auf. Die erlaubte Stromdichte der Sicherung  $F_1$  beträgt  $10 \text{ A/mm}^2$ .
- 1.1 Wie groß ist die Stromdichte in der positiven Steuerstromversorgungsleitung und
  - 1.2 wie groß ist die Fläche der Sicherung  $F_1$ , wenn Sie die gegebenen und mathematisch ermittelten Daten zugrunde legen?

- 2.) Durch eine falsch gegrimpte Verbindung zwischen Anschlussleitung und Stecker ändert sich der Durchmesser im gegrimpten Bereich von 1,381976598 mm auf 1,128379167 mm.
- 2.1 Um welchen Wert ändert sich die Stromdichte an dieser Stelle, wenn durch die Anschlussleitung ein Verbraucher versorgt wird, der eine Stromaufnahme von 1,75 A hat?

Lösungen Stromdichte:

- 1.1 =  $J_{Lei} = 0,409 \text{ A/mm}^2$  Stromdichte positive Steuerstromversorgungsleitung  
1.2 =  $A_{F1} = 0,64545 \text{ mm}^2$  Fläche Sicherung  $F_1$   
2.1 =  $\Delta J_{Grimp} = 0,583333334 \text{ A/mm}^2$  Differenz Stromdichte gegrimpter Bereich

Lösen Sie die Aufgabenstellungen und nehmen Sie, wenn Bedarf vorhanden ist, Kontakt über die Netzadresse/Kontakt mit mir auf.  
<http://www.Horst-Weinkauf.de>

Guten Erfolg bei der Lösung der Aufgabenstellungen, wünscht der Autor

Horst Weinkauf