

# Ist der elektrische Strom eine vektorielle Größe?

von

Axel Donges

Fachhochschule und Berufskollegs NTA Prof. Dr. Grübler gGmbH

Seidenstraße 12-35, D-88316 Isny im Allgäu, eMail: AD@fh-isny.de

erschienen in: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 7/53 (2004), S. 43-44

## Kurzfassung

Der elektrische Strom  $I$  ist als skalare physikalische Größe definiert. Wenn im Zusammenhang mit dem elektrischen Strom von einer Richtung gesprochen wird, kann es sich nur um die Richtung des elektrischen Stromdichtevektors  $\vec{j}$  handeln.

## 1. Einleitung

Viele Schüler sind der Meinung, der elektrische Strom sei eine *vektorielle* Größe ( $\vec{I}$ ). Dass dies falsch ist, lässt sich leicht einsehen: Der elektrische Strom  $I$  wird über die zeitliche Ableitung der *skalaren* Größe *elektrische Ladung*  $q$  definiert [1, S. 123],

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

weshalb der Strom ebenfalls eine *skalare* Größe ist. Außerdem kann man auch argumentieren, dass der Strom  $I$  als Integral der elektrischen Stromdichte  $\vec{j}$  über den Leiterquerschnitt berechnet werden kann [1, S. 124].

$$I = \int\int_{\text{Querschnitt des Leiters}} \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

Da es sich bei  $\vec{j} \cdot d\vec{A}$  um das Skalarprodukt zweier Vektoren handelt, ist der Strom  $I$  ein Skalar.

## 2. Mögliche Ursachen

Dass so viele Schüler dem Strom Vektorcharakter zuschreiben, dürfte mehrere Gründe haben:

- Der elektrische Strom kommt durch bewegte Ladungen zustande. Man sagt: Der Strom *fließt*. Eine Bewegung hat immer etwas mit einer Richtung zu tun (räumliche Verschiebungen und Geschwindigkeiten sind vektorielle Größen). Es ist daher naheliegend, dem Strom die (bzw. die entgegengesetzte) Richtung zuzuschreiben, in die die positiv (bzw. negativ) geladenen Ladungsträger wandern. Tatsächlich gilt dies jedoch nur für die *elektrische Stromdichte*  $\vec{j}$ , für die bekanntlich

$$\vec{j} = \rho \vec{v} \quad (3)$$

( $\rho$ : elektrische Ladungsdichte,  $\vec{v}$ : Geschwindigkeit der Ladungsträger) gilt [2, S.101]. Der Vektor  $\vec{j}$  ist, je nach Vorzeichen von  $\rho$ , parallel bzw. antiparallel zur Geschwindigkeit  $\vec{v}$ .

- Im Unterricht wird immer wieder die *Richtung des elektrischen Stroms* thematisiert (Stichworte: technische und physikalische Stromrichtung), obwohl man einer *skalaren* Größe *keine* Richtung zuordnen kann. Vektorcharakter hat nur die mit dem Strom verwandte elektrische Stromdichte  $\vec{j}$ .
- Verwirrend für Schüler sind sicherlich auch die *Strompfeile*, die in der Elektrotechnik zur Schaltungsanalyse eingeführt werden [3]. Die Strompfeile haben die gleiche Richtung wie die (über den Leiterquerschnitt parallelen) Stromdichtevektoren im Leiter. Aus den Strompfeilen auf den Vektorcharakter des Strom zu schließen ist zwar naheliegend, jedoch falsch.

- In einigen Schul- und Hochschullehrbüchern [z.B. 2, S.21, 4-7] wird die Kraft  $\vec{F}$  auf einen stromdurchflossenen Leiter der Länge  $\vec{s}$  in einem Magnetfeld mit der magnetischen Induktion  $\vec{B}$  in der (nicht korrekten) Form  $\vec{F} = s(\vec{I} \times \vec{B})$  angegeben, d.h. der Strom wird als vektorielle Größe aufgefasst.

### 3. Ein weiteres Argument für den skalaren Charakter des Stroms

Mit einer einfachen Überlegung lässt sich der skalare Charakter des Stroms überzeugend demonstrieren: Abbildung 1 zeigt eine Kugel mit Radius  $R$  im Schnitt. Durch die Oberfläche der Kugel fließt gleichmäßig verteilt ein Strom. Dargestellt sind in der Abbildung einige Stromdichtevektoren, die senkrecht auf der Kugeloberfläche stehen und die alle den gleichen Betrag  $j$  haben sollen. Für den Strom gilt dann:

$$I = j4\pi R^2. \quad (4)$$

Einen Richtungssinn lässt sich diesem Strom  $I$  beim besten Willen nicht zuordnen.

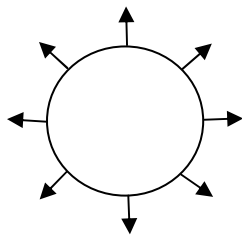


Abb. 1: Schnitt durch eine Kugel mit Radius  $R$ , durch deren Oberfläche ein Strom fließt. Dargestellt sind einige Stromdichtevektoren auf der Kugeloberfläche.

### 4. Resümee und Konsequenzen

Im Unterricht sollte man, will man die Schüler nicht unnötig verwirren, nicht mehr von *Stromrichtungen* und *Strompfeilen* sprechen. Nicht zu empfehlen, da falsch, ist auch die Schreibweise  $\vec{F} = s(\vec{I} \times \vec{B})$  für die Lorentzkraft auf einen stromdurchflossenen Leiter.

Wird fälschlicherweise von der *Stromrichtung* an einer bestimmten Stelle eines Stromkreises gesprochen, ist damit immer die Richtung der (über den Leiterquerschnitt parallelen) Stromdichtevektoren gemeint. Es ist daher konsequent, die Worte *Stromrichtung* und *Strompfeil* aus dem Sprachgebrauch zu streichen und durch *Stromdichterichtung* (oder *Richtung des Stromdichtevektors*) bzw. *Stromdichte* zu ersetzen.

Die Richtung des Stromdichtevektors ist in einem linearen Leiter (Querschnittsabmessungen klein gegen die Länge des Leiters) stets tangential zum Leiter orientiert. Der Stromdichtevektor  $\vec{j}$  weist außerhalb der Spannungsquelle in die Richtung, in der das elektrische Potential abnimmt. In dem in Abbildung 2 dargestellten Beispiel geben die Pfeile nicht die Richtung des Stroms, sondern die Richtung der Stromdichte  $\vec{j}$  an.

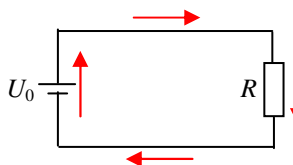


Abb. 2: Ein einfacher Stromkreis. Die Pfeile geben nicht die Stromrichtung, sondern die Richtung der Stromdichte  $\vec{j}$  an.

#### Literatur:

- [1] Bergmann-Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 2 Elektrizität und Magnetismus. Berlin: De Gruyter (1971)
- [2] K. Dransfeld, P. Kienle: Physik II (Elektrodynamik). München: Oldenbourg (1975)
- [3] K.-H. Rohe: Elektronik für Physiker. Stuttgart: Teubner (1983), S. 13
- [4] L. Engelmann et al.: Formeln und Tabellen für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Paetec (2001), S. 86
- [5] J. Schreiner: Physik für die Sekundarstufe II Teil 2. Frankfurt a.M.: Diesterweg Salle Sauerländer (1978), S. 126
- [6] W. Kuhn: Physik Bd. II 2. Teil: Klasse 12/13. Braunschweig: Westermann (1998), S. 244
- [7] J. Grehn (Hg.): Metzler Physik. Stuttgart: Metzler(1988), S. 227