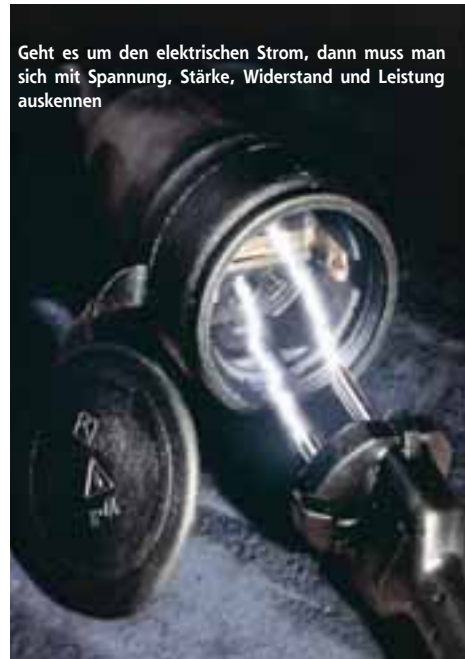


Grundbegriffe der Elektrotechnik –
Teil 2 und Schluss

Spannung, Strom und Widerstand

Geht es um den elektrischen Strom, dann muss man sich mit Spannung, Stärke, Widerstand und Leistung auskennen



Um die elektrische Spannung, die Möglichkeiten sie zu erzeugen, und um die Stromstärke geht es im ersten Teil dieses Beitrages (SBZ-Monteur 8-2004). Mit der elektrischen Spannung und der Stromstärke ist in Sachen Elektrik aber längst noch nicht alles gesagt. Schließlich spielen auch noch Widerstand und Leistung eine wichtige Rolle.

Herr Ohm macht ein Gesetz

Der elektrische Widerstand bestimmt, welcher Strom durch einen elektrischen Verbraucher, eine Leitung oder den menschlichen Körper fließt. Beim belieb-



Dipl.-Ing. **Ronald Fischer** betreibt ein Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung und ist als Fachautor tätig.

Telefon und Telefax (0 71 52) 2 88 44
E-Mail: felix_angler@web.de

ten Vergleich von Elektrizität mit Wasser entspricht der Widerstand dem Druckverlust, beispielsweise einer Wasserleitung. Der Widerstand ist von der Länge und vom Querschnitt der Leitung abhängig. Je länger die Leitung und je kleiner der Querschnitt, desto größer ist der Widerstand. Der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (1789–1854) entdeckte den mathematischen Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Widerstand. Ihm zu Ehren nennt man ihn das Ohmsche Gesetz. Auch die Einheit für den elektrischen Widerstand ist nach ihm benannt und heißt Ohm, abgekürzt mit dem griechischen Großbuchstaben Ω (Omega). Ein Widerstand von 1 Ω liegt vor, wenn Strom von 1 A bei einer Spannung von 1 V fließt. Das Ohmsche Gesetz lautet: „Der Strom ist umso größer, je höher die Spannung und je kleiner der Widerstand ist.“ In Formeln wird der Widerstand mit R abgekürzt. Für die Spannung steht U und für den Strom I . Als Formel sieht das Ohmsche Gesetz dann so aus:

$$I = \frac{U}{R}$$

Diese Formel lässt sich nach Belieben umstellen, je nachdem, was man ausrechnen will:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$U = R \cdot I$$



Aus gutem Grund wird vor Anlagen, die mit Hochspannung betrieben werden, gewarnt

Im Physikunterricht heißt die Formel auch *URI*-Formel. Das Ohmsche Gesetz macht auch verständlich, was bei einem Kurzschluss passiert. Ein Kurzschluss ist eine Verbindung mit fast keinem bis sehr geringem Widerstand, durch die ein gewaltiger Strom fließt, wenn nicht eine Sicherung Einhalt gebietet. Ein gewollter Kurzschluss entsteht z. B. beim Elektroschweißen, wenn zum Zünden die Elektrode auf dem Werkstück kurz aufgesetzt wird.

Der elektrische Schlag

Die andere für den Alltag wichtige Folgerung aus dem Ohmschen Gesetz lautet: Je höher die Spannung, desto stärker ist der Strom, der bei gleich bleibendem Widerstand fließen kann. Das macht Hochspannung für Menschen und Tiere gefährlich. Aus gutem Grund wird vor Anlagen, die mit Hochspannung betrieben werden, gewarnt. Aber nicht nur die Hochspannung kann ein Risiko bedeuten. Mit dem Ohmschen Gesetz kann man einmal die Probe auf Exempel machen und ausrechnen, welcher „Saft“ bei 230 V durch einen Menschen bei einem Widerstand von 1000 Ω von Hand zu Fuß fließt. Allerdings ist beim Menschen die Sache komplizierter. Widerstand ist hier nicht gleich Widerstand. Der Körperwiderstand ist sehr unterschiedlich und schwankt zwischen 0,6 Ω und 4 k Ω. Eine Rolle spielt der Übergangswiderstand an den Händen und Füßen. Dieser hängt stark von der Berührungsfläche und der Hautfeuchte ab. Bei einem Stromweg von einer Hand zu einem Fuß

kann man mit einem Mittelwert von 1000 Ω rechnen.

$$\frac{230 \text{ V}}{1000 \text{ } \Omega} = 0,23 \text{ A} = 230 \text{ mA}$$

Es reicht also aus, um einen gewaltigen Schlag zu bekommen. Die biologisch-dynamische Wirkung hat wahrscheinlich jeder schon einmal gespürt. Sie besteht aus einer physikalischen und einer physiologischen. Die physikalische Wirkung führt je nach Stromstärke zu mehr oder weniger starken Verbrennungen. Die

bringt und zu Herzkammerflimmern und Herzstillstand führen kann. Das Kribbeln ist noch harmlos, aber es kann der Vorbote für den großen Paukenschlag sein. Schon die bescheidene Stromstärke von 50 mA bedeutet Lebensgefahr.

Leistung ist gefragt

In den meisten praktischen Anwendungen der Elektrizität spielt der Widerstand der elektrischen Verbraucher eine Rolle, der den Strom in eine nützliche Wirkung umsetzt. Zu den Stromwirkungen

Stromstärke / mA	Wirkung	Folgen
0 ... < 25	Ab 2 mA Kribbeln Ab 10 mA Muskelkrämpfe	Unfälle durch den Schreck, z.B. Leitersturz, ein „Hängenbleiben“ ist möglich
25 ... < 80	Stromfluss über das Herz	Herzkammerflimmern, Herzstillstand, Versagen des Blutkreislaufes
80 ... 500		Bereits nach kurzer Einwirkdauer Herzkammerflimmern, Herzstillstand, Versagen des Blutkreislaufes

Schon bei Stromstärken unter 25 mA kann es zu gefährlichen Unfällen kommen

physiologische Wirkung zerrt an Nerven und Muskeln. Dazu zählen Kribbeln, Muskelkrämpfe, Blutdrucksteigerung, Atemlähmung und Herzstillstand. In erster Linie hängen auch diese Wirkungen von der Stromstärke ab. Entscheidend sind auch der Stromweg durch den Körper, die Einwirkungsdauer und die Stromart. Gleichstrom ist weniger gefährlich als Wechselstrom. Der Wechselstrom des Netzes von 50 Hz ist besonders gefährlich, weil er den Herzrhythmus durcheinander

gehören Wärme, Licht, Magnetismus, mechanische Arbeit und verschiedene chemische Wirkungen, wie z. B. das Laden von Akkus. Damit stellt sich die Frage nach der Leistung des Elektrogerätes. Die Leistung elektrischer Geräte lässt sich einfach mit der Spannung und der Stromstärke berechnen:

$$P = U \cdot I$$

In Formeln steht für die Leistung der Buchstabe *P* vom englischen Wort „power“ für Kraft oder Leis-

SPEZIAL

tung. Als Einheit für die Leistung weit verbreitet ist Kilowatt, kW, für 1000 Watt. Die Einheit „Watt“ wurde zu Ehren des schottischen Weiterentwicklers der Dampfmaschine, James Watt (1736–1819), nach diesem benannt. Watt beschäftigte sich als erster mit der Leistungsmessung. Um die Leistung der Dampfmaschinen angeben zu können, ermittelte Watt die Leistung von Pferden und erhielt so die Pferdestärke, PS, als anschauliches Maß. Obwohl die Pferdestärken als amtliche Einheiten längst nicht mehr zugelassen sind, rechnen Autofahrer nach wie vor in PS. Daher ist es immer noch interessant zu wissen, wie PS in Kilowatt umgerechnet werden:

$$1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}$$

Kleine Spannung – dicke Kabel

Die elektrische Leistung wächst mit Strom und Spannung. Da in den Versorgungsnetzen die Spannung begrenzt ist, z. B. auf 230 V, ist die Leistung allein von der Stromaufnahme abhängig. Ein

Dictionary

Arbeit	work
Gleichstrom	direct current (DC)
Leistung	power
Spannung	voltage
Strom	current
Wechselstrom	alternating current (AC)
Widerstand	resistance

Um Verluste durch Erwärmung gering zu halten, arbeitet man bei Freileitungen mit Hochspannung

Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen: Durch eine Haushaltsglühlampe von 40 W fließt ein Strom von:

$$\frac{40 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,174 \text{ A}$$

Die Lampe eines Autoscheinwerfers benötigt für die gleiche Leistung einen Strom von:

$$\frac{40 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 3,33 \text{ A}$$

Das bedeutet, dass die Leitungen des Autoscheinwerfers dem stärkeren Strom angepasst sein müssen, indem sie einen größeren Querschnitt haben, um sich nicht nennenswert zu erwärmen. Die Starkstromtechnik bevorzugt hohe Spannungen, um Leiterquerschnitte und Verluste durch Erwärmung gering zu halten. Da sich mit der Leistung die Stromstärke ausrechnen lässt,

$$I = \frac{P}{U}$$

kann man nach dem Ohmschen Gesetz auch den Widerstand eines Verbrauchers berechnen.



$$R = \frac{U}{I}$$

Bezogen auf die bereits erwähnte 40-W-Lampe sieht die Berechnung des Widerstandes so aus:

$$\frac{230 \text{ V}}{0,174 \text{ A}} = 1322 \Omega$$

Leistung ist nicht gleich Leistung

Das Geräteschild ist der Personalausweis eines Elektrogerätes. Es enthält alle für den Benutzer wichtigen Angaben wie Strom, Spannung, Netzfrequenz und natürlich die Leistung. Daneben sind noch Kennzahlen über Schutzart, Isolierklasse, Hinweise auf VDE-Vorschriften und bei Elektromotoren Drehzahl und Leistungsfaktor aufgeführt. Leistung und Leistung sind zwei Paar Stiefel, worüber sich das Leistungsschild aber ausschweigt. Bei Geräten, die Elektrizität in Wärme verwandeln, z. B. Kochplatten und alle Arten von Warmwasserbereitern, bezieht sich die Angabe auf dem Leis-

tungsschild auf die aus dem Netz entnommene Leistung. Bei Elektromotoren beschreibt das Leistungsschild die an der Welle des Motors abgegebene Leistung.

Arbeit und Leistung

Die Leistung von Verbrennungsmotoren, Öl- und Gasbrennern wird auch in Kilowatt angegeben. Das lässt darauf schließen, dass zwischen elektrischer, mechanischer Leistung und Wärmeleistung (chemischer Energie) ein Zusammenhang besteht. Im Alltag gehen die Ansichten darüber, was Arbeit und Leistung sind, oft auseinander. Zum Verständnis ist deshalb ein kleiner Ausflug in die Physik nötig. Im physikalischen Sinn ist (mechanische) Arbeit Kraft mal Weg (in Kraftrichtung). Wenn Azubi Mike eine 12 kg schwere Propanflasche drei Stockwerke à 3 m Höhe hinaufträgt, welche Arbeit verrichtet er dann? Zunächst muss man berücksichtigen, dass es hierbei nicht auf die in Kilogramm angegebene Masse der Gasflasche ankommt, sondern auf ihre Gewichtskraft. Dazu multipliziert man die Masse mit der Fallbeschleunigung (g) $9,81 \text{ m/s}^2$ (die dafür sorgt, dass ein Gegenstand herunterfällt, wenn man ihn loslässt):

$$12 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 117,72 \text{ N}$$

Die Arbeit, die Mike verrichtet, beträgt:

$$117,72 \text{ N} \cdot 9 \text{ m} = 1059,5 \text{ Nm}$$

Statt Newtonmeter (Nm) gibt es noch eine andere Einheit für die Arbeit, die Einheit Joule (J). Sie ist nach dem englischen Physiker und Brauereibesitzer James Prescott Joule (1818–1889) benannt. Beide Einheiten sind gleich groß:



Das Geräteschild ist der Personalausweis eines Elektrogerätes

Mister Joule hat diesen Zusammenhang zwischen mechanischer Arbeit und Wärme entdeckt und ist damit berühmt geworden.

Wenn die Zeit ins Spiel kommt

Leistung ist in der Physik Arbeit geteilt durch Zeit. Es kommt also darauf an, in welcher Zeit die Arbeit erledigt wird. Als Formel sieht das so aus:

$$P = \frac{W}{t}$$

Wie schon gesagt, steht der Buchstabe „P“ für „power“. „W“ stammt von „work“ für Arbeit und „t“ steht für die Zeit (lat. tempus, engl. time). Aus Strom und Spannung ergibt sich die elektrische Leistung. Im Strom steckt bereits der Faktor Zeit. Es reicht, wenn man

sich merkt, dass Strom elektrische Ladung pro Zeit bedeutet. Um die elektrische Arbeit zu ermitteln, multipliziert man die Leistung mit der Zeit:

$$W = P \cdot t$$

Da man hier bei der Leistung mit der Einheit Watt (W) rechnet und die Zeit in Sekunden (s) einsetzt, ergibt sich als Einheit für die elektrische Arbeit die Einheit Wattsekunde (Ws). Dabei ist eine Wattsekunde elektrische Arbeit mit der Energie von einem Joule (J) gleichzusetzen. Bei der „Arbeitsformel“ muss man nur aufpassen mit welchem „W“ man es zutun hat. Denn „W“ ist ja das Formelzeichen für die Arbeit und die Einheit, in der die Leistung angegeben wird. Um bei solchen Übereinstimmungen dennoch den Überblick zu behalten, hat man festgelegt, dass man Formelzeichen kursiv schreibt und Buchstaben, die Einheiten bedeuten, gerade. W ist also die Arbeit und \dot{W} die Einheit Watt. Die gebräuchlichste Einheit der elektrischen Arbeit ist die bekannte Kilowattstunde, abgekürzt kWh. Wenn eine 2 kW starke Kochplatte eine halbe Stunde lang in Betrieb ist, beträgt die elektrische Arbeit, die das Elektrizitätswerk aufbringen muss:

$$2 \text{ kW} \cdot 0,5 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$$

Man sieht: Mit Widerstand, Arbeit und Leistung muss sich derjenige, der an elektrischen Anlagen arbeitet, gut auskennen. Und natürlich auch mit Stromstärke und Spannung. Denn ohne Spannung liefe heute nichts mehr. □