

Grundlagen der Elektrotechnik

Um Elektrizität verstehen zu können, muss man ein ganz klein wenig in die Atomphysik einsteigen. Atome (griechisch „atomos“ = unteilbar) bestehen aus dem Atomkern und mehr oder weniger Elektronen, die den Atomkern auf einer kugelförmigen Kreisbahn umkreisen. Die äußeren (negativen) Elektronen eines (positiven) Atomkerns in einem metallischen Leiter sind nur verhältnismäßig locker an das Atom gebunden. Für die Zwecke der Elektrotechnik kann man sich das freie Elektron etwa als eine kleine Kugel aus negativer Elektrizität (Durchmesser 3×10^{-15} m) vorstellen. Wirkt nun auf den metallischen Leiter eine elektrische Feldstärke ein, so verlassen die Elektronen den Atomverband und beginnen zu wandern. Das ist der **STROM**, gemessen in **AMPERE (A)**, benannt nach dem französischen Physiker André Marie Ampère (1775 – 1836), in Formeln abgekürzt als „I“ bezeichnet. Jedes einzelne Elektron wandert dabei von Atom zu Atom, allerdings mit sehr geringer Geschwindigkeit. In einem Kupferleiter von 1 mm^2 Querschnitt, der von 6 Ampere durchflossen wird, ergibt sich eine ungefähre Elektronengeschwindigkeit von 0,45 mm pro Sekunde.

Die Wanderung der Elektronen bewirkt, dass am einen Ende des Leiters viele Elektronen, am anderen wenig Elektronen versammelt sind. Die Differenz dazwischen nennt man **SPANNUNG**, gemessen in **VOLT (V)**, benannt nach dem italienischen Physiker Alessandro Graf Volta (1745 – 1827), in Formeln „U“ genannt.

Die Wanderung der Elektronen von einem Atom zum anderen geht natürlich nicht völlig verlustfrei vor sich, es geht ein wenig Energie verloren. Diese Eigenschaft des Leiters nennt man **WIDERSTAND**, gemessen in **OHM (Ω)**, benannt nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm (1787 – 1854), in Formeln als „R“ bezeichnet.

Zwischen diesen drei Größen der Elektrizität gibt es eine feste Beziehung, die der Herr Ohm 1826 in eine Formel kleidete:

$$U = I * R$$

Das Ohmsche Gesetz lautet: „Bei konstanter Temperatur ist die elektrische Stromstärke I in einem Leiter der zwischen den Leiterenden herrschenden Spannung U proportional“.

Spannungen lassen sich auf verschiedene Weise erzeugen: Reibung, chemische Prozesse, Magnetismus (Induktion), Wärme, Licht und Druck. Für größeren Bedarf an Energie wird die induktive Erzeugung in Frage kommen: Ein konstantes, sich drehendes Magnetfeld bewirkt in einem feststehenden Leiter eine ständig hin und her wechselnde Spannung, die Wechselspannung, wie wir sie aus unserer häuslichen Steckdose kennen. Auf die Bauformen und –größen der induktiven Stromerzeuger (Generatoren) sowie die Eigenschaften der erzeugten Elektrizität der soll hier nicht näher eingegangen werden.

Für den Kleinbedarf in unseren Modellen oder sonstigen mobilen Kleinverbrauchern greifen wir durchweg auf die chemischen Reaktionen zurück. Dies geschieht am einfachsten in **BATTERIEN**, genauer gesagt den „galvanischen Elementen“, bei denen zwei Elemente aus verschiedenen Materialien (z.B. Zink und Kohle) durch eine elektrisch leitende Flüssigkeit, den Elektrolyten (z.B. Kochsalzlösung), verbunden sind. Die Verbindung der drei Materialien bewirkt, dass die Elektronen von der Kohle zum Zink wandern und so eine Gleichspannung aufbauen, üblicherweise 1,5 V. Irgendwann ist diese Batterie durch die gleichförmige Elektronenwanderung erschöpft und muss entsorgt werden. Bitte niemals Batterien in den Haus-

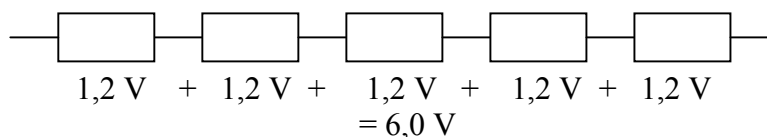
müll, sondern in den Sondermüll! Bitte niemals versuchen, Batterien wieder aufzuladen. Es besteht Explosionsgefahr!

Der zweite Weg, für Kleinverbraucher Gleichspannung zu liefern, sind **AKKUMULATOREN**, kurz Akku genannt. Sie sind ähnlich wie Batterien aufgebaut, enthalten aber andere Materialien (z.B. Blei, Bleisulfid und Schwefelsäure). Durch Anlegen einer Spannung an den Akku beginnt eine chemische Reaktion, die die Platten zum Teil umwandelt. Schaltet man nun statt einer Stromquelle einen Stromverbraucher an, kehren sich die chemischen Prozesse um und liefern Strom. Leider beträgt die Zellenspannung eines Akkus nur 1,2 Volt.

Ein Bleiakku, wie wir ihn auch aus unseren Autos kennen, hat es am liebsten, voll geladen zu sein, d.h. nach dem Entladen sofort wieder laden und möglichst sogar mit ganz kleiner Erhaltungsladung ständig weiter zu laden. Modernere Akkus, wie die Nickel-Cadmium-Akkus, vertragen es schon mal eher, nicht oder nur halb geladen herumzustehen. Werden sie jedoch öfter nur wenig ent- und danach wieder wenig geladen, so erinnert sich der Akku daran, dass ja nur wenig Energie gebraucht wird, und er speichert weniger und gibt weniger ab. Das ist der so genannte Memory-Effekt (englisch „to memory“ = erinnern). Dies Problem haben die noch moderneren Nickel-Metallhydrid-Akkus nicht, nur sind diese (noch) sehr teuer! Auch beim Entsorgen dieser Akkus beachten: Sie sind Sondermüll!

Da sich diese Akkutypen beim Ladevorgang unterschiedlich verhalten und teilweise recht empfindlich gegen falsche Behandlung sind, sollte für jede Akkuart das entsprechende Ladegerät verwendet werden. Das kann zwar teuer sein, aber die Akkus danken es durch lange Lebensdauer.

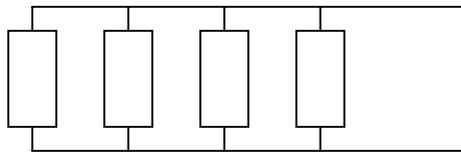
Die bereits genannten 1,2 Volt pro Zelle reichen oft nicht für den Betrieb der Verbraucher aus. Um eine höhere Spannung zu erreichen, müssen mehrere **gleichartige** Akkus hintereinandergeschaltet werden.



Hintereinander- oder Serienschaltung:

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Jeder Akku liefert aber auch nur eine bestimmte Stromstärke. Sie wird als Kapazität angegeben in **AMPERESTUNDEN (Ah)** (z.B. kann ein 2 Ah-Akku 2 Stunden lang 1 Ampere liefern oder 20 Stunden 0,1 Ampere. Das sind natürlich theoretische Werte, die stark vom Alter und dem Pflegezustand des Akkus abhängen. Je höher der Strom, umso weniger kann die Kapazität voll ausgenutzt werden.) Braucht man nun höhere Ströme als der Akku vertragen kann, muss man zwei oder mehr **gleichartige** Akkus parallelschalten.



Parallelschaltung

$$1 \text{ Ah} + 1 \text{ Ah} + 1 \text{ Ah} + 1 \text{ Ah} = 4 \text{ Ah}$$

$$\mathbf{I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots}$$

Serien- und Parallelschaltung kann man miteinander kombinieren, es wird jedoch mit steigender Zellenzahl immer schwieriger, einen ordentlich miteinander arbeitenden Verbund hinzukriegen.

Die Spannungsquelle ist geklärt, nun folgt die Verbraucherseite. Da meist mehrere Verbraucher parallel an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, muss man ermitteln, welche Ströme fließen, damit die Quelle nicht überlastet bzw. gleich richtig dimensioniert werden kann.

Der Strom zu einem Verbraucher kann mit einfachen Mitteln gemessen werden. Bei zwei oder mehr parallel an die Spannungsquelle geschalteten Verbrauchern werden die Einzelströme addiert und ergeben den Gesamtstrom.

Dieser Gesamtstrom kann beträchtliche Stärken erreichen und dazu führen, dass die Zuleitungen dem nicht gewachsen sind. Jeder metallische Leiter hat einen gewissen Widerstand, der vom Material, der Länge und dem Querschnitt abhängt. Ein Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 mm² Querschnitt hat bei einer Temperatur von 20° C einen Widerstand von 0,01785 Ω, d.h. Kupfer hat einen

spezifischen Widerstand ρ (griechisch: rho) von 0,01785 Ω * mm² / m.

Der Widerstand eines Kupferdrahtes mit anderem Querschnitt (z.B. $q = 0,2 \text{ mm}^2$, Länge $l = 1 \text{ m}$) lässt sich berechnen mit:

$$R = \frac{\rho * l}{q} = \frac{0,01785 * 1}{0,2} = 0,08925 \Omega,$$

d.h. bei einem Fünftel Draht-Querschnitt entsteht ein fünffach höherer Widerstandswert, es fällt fünfmal mehr Spannung ab, es entsteht fünfmal mehr Wärme. Vorsicht, ein Schiffchen ist schnell abgefackelt und auf dem Wasser so schwer erreichbar! Ausreichende Drahtstärken und Sicherungen vorsehen!

Rainer Graf