

## Grundlagen der Elektrotechnik

Die grundlegenden Größen sind:

<u>Spannung</u>	U in Volt (V)	$U = R \cdot I$	$U = \sqrt{P \cdot R}$
<u>Strom</u>	I in Ampere (A)	$I = U / R$	$I = \sqrt{P / R}$
<u>Widerstand</u>	R in Ohm ( $\Omega$ )	$R = U / I$	$R = P / I^2$ $R = U^2 / P$
<u>Leistung</u>	P in Watt (W)	$P = U \cdot I$	$P = U^2 / R$ $P = R \cdot I^2$

Die elektrische Spannung ist vergleichbar mit dem Druck in einer Wasserleitung.

Je höher der Wasserdruck, desto mehr Wasser wird durch eine Leitung fließen; je höher die Spannung, desto mehr Elektronen, also Strom werden durch einen Draht (oder einen Leiter) fließen.

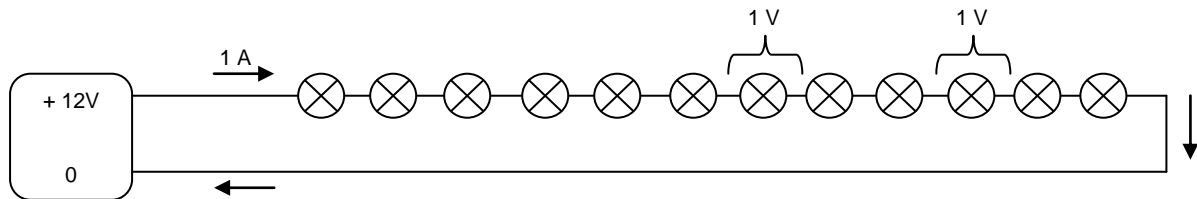
Nichtleiter haben einen extrem hohen Widerstand wie ein verstopfter Schlauch. Bei zu hoher Spannung kann es zu Durch- oder Überschlägen kommen, bei zu hohem Druck kann der verschlossene oder zu wenig durchgängige Schlauch platzen.

Es wird bei gleichem Druck umso mehr Wasser durch eine Leitung fließen, je dicker diese ist, also umso weniger Widerstand sie dem Wasser entgegensetzt. Beim Strom ist es genauso: je höher der elektrische Widerstand, desto geringer wird auch der elektrische Strom bei gleicher Spannung. Das Beispiel wird noch deutlicher bei einem Draht: ist er dünner, „passen“ auch weniger Elektronen durch und der Widerstand ist höher.

Schaltet man zwei elektrische Widerstände hintereinander (in Reihe), ist es so, als ob man zwei Gartenschläuche der Länge nach koppelt: der Strom muss sich mühsam nacheinander durch beide Widerstände wie das Wasser durch beide Schläuche quälen, der gesamte Widerstand wird ganz einfach die Summe der beiden Widerstände.

Schaltet man zwei elektrische Widerstände parallel (nebeneinander), kann die Spannung durch jeden einzeln und voneinander unabhängig einen Strom schicken. Gleiches gilt für das Wasser: schließt man an einen (leistungsfähigen \*) Hahn zwei Schläuche gleichzeitig (parallel) an, wird mehr Wasser fließen als mit nur einem Schlauch.

\* Siehe hierzu auch Beispiel 2.

**Beispiel 1:**

Man möchte an eine 12 V-Batterie eine Lichterkette aus 12 hintereinander geschalteten Lämpchen anschließen, die jede 1 A Strom (und eine Spannung von 1 V) brauchen. Der Strom von 1 A fließt ja nacheinander durch alle Lämpchen.

Der gesamte Widerstand der Lichterkette ist dann  $12 \text{ V} / 1 \text{ A} = 12 \Omega$ . Für jedes Lämpchen wird Spannung benötigt/verbraucht – in der Summe über alle Lämpchen also 12 V. Damit liegen an jedem Lämpchen  $12 \text{ V} / 12 \text{ Lämpchen} = 1 \text{ V}$ .

Jedes Lämpchen hat also einen Widerstand von  $1 \text{ V} / 1 \text{ A} = 1 \Omega$  und eine Leistung von  $1 \text{ V} * 1 \text{ A} = 1 \text{ W}$ . Den Gesamtverbrauch der Kette kann man jetzt auf zwei Arten rechnen:  $12 \text{ Lämpchen} * 1 \text{ W} = 12 \text{ W}$  oder  $12 \text{ V (über alle)} * 1 \text{ A (durch alle)} = 12 \text{ W}$ .

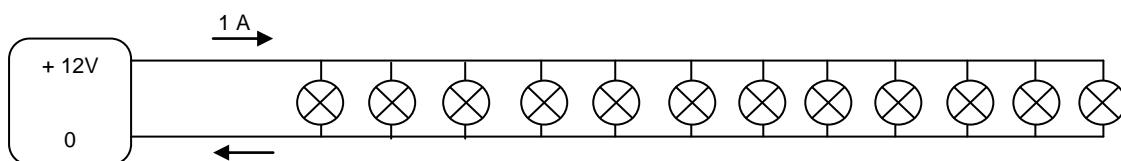
Nachteil der Reihenschaltung: brennt ein Lämpchen durch, kann kein Strom fließen und alle Lämpchen gehen aus.

Es gibt nun Lämpchen, die beim Durchbrennen kurzschließen, aber dann erhält jedes der restlichen 11 Lämpchen 1,09 V, was der Lebensdauer nicht gerade förderlich ist.

Aufgabe: wie viel Spannung liegt an jedem restlichen Lämpchen, wenn zwei durchbrennen und kurzschließen?

Wie hoch ist die Leistung pro Lämpchen und der durch alle fließende Strom?

Wollte man die Lämpchen alle parallel anschließen, lägen an jedem Lämpchen 12 V an. Jedes Lämpchen muss nun für 12 V ausgelegt sein.



Die T-Verbindungen der Lämpchen müssten noch jeweils mit einem Punkt versehen werden ... hatte keine Lust dazu.

Möchte man auch noch die gleiche Leistung haben, dürfte ein Lämpchen nur noch  $1 \text{ W} / 12 \text{ V} \approx 0,08 \text{ A}$  benötigen. Jedes Lämpchen hätte nun einen Widerstand von  $12 \text{ V} / 0,08 \text{ A} = 144 \Omega$ . Der Widerstand der gesamten Schaltung wäre aber wieder  $144 \Omega / 12 \text{ Lämpchen} = 12 \Omega$  oder  $12 \text{ V} / (0,08 \text{ A} * 12 \text{ Lämpchen}) = 12 \Omega$ .

Was würde passieren, wenn man die Lämpchen in beiden Ketten vertauschte?

(hier wird nicht berücksichtigt, dass der Widerstand der Glühwendel in einem Birnchen umso größer wird, je heißer sie wird)

Lämpchen 1V/1A/1Ω/1 W in der parallelen Kette:

Es würden sehr kurz  $12 \text{ V} / 1 \Omega = 12 \text{ A}$  durch jedes Lämpchen fließen. Die Leistung pro Lämpchen wäre somit  $12 \text{ V} * 12 \text{ A} = 144 \text{ W}$ , also 144 mal so viel, wie das Lämpchen

braucht. Die Lämpchen würden mit grandiosen Blitzen schnellstens zerstört, kleine Explosionen und Glassplitter nicht ausgeschlossen.

Die Batterie müsste auch ganz schön schuffen, weil sie ja  $12 \text{ A} \cdot 12 \text{ Lämpchen} = 144 \text{ A}$  und  $12 \text{ V} \cdot 144 \text{ A} = 1728 \text{ W}$ , wie etwa beim Anlassen eines Autos liefern müsste. Eine Autobatterie mit 36 Ah (Amperestunden =  $\text{A} \cdot \text{h}$ ) wäre nach  $36 \text{ Ah} / 144 \text{ A} = 0,25 \text{ h} = 15$  Minuten leer – aber da sind die Lämpchen ja schon lange hinüber.

Bei so viel Strom würde die Batterie auch merklich weniger als 36 Ah liefern.

#### Lämpchen $12 \text{ V}/0,08 \text{ A}/144 \Omega/1 \text{ W}$ in Reihe an $12 \text{ V}$ :

Da die Lämpchen nacheinander geschaltet sind, muss der Strom ja wieder durch alle durch. Der gesamte Widerstand der Kette wäre somit  $144 \Omega \cdot 12 \text{ Lämpchen} = 1728 \Omega$ . Der gesamte Strom wäre nur noch  $12 \text{ V} / 1728 \Omega = 0,00694 \text{ A}$ . Nichtsdestotrotz läge an einem Lämpchen  $12 \text{ V} / 12 \text{ Lämpchen}$  wieder  $1 \text{ V}$ . Die Leistung eines Lämpchens wäre aber nur noch  $1 \text{ V} \cdot 0,00694 \text{ A} = 0,00694 \text{ W}$ . Das wäre nur noch  $1/144$  der Normleistung der  $12 \text{ V}$ -Lämpchen – die Lämpchen blieben dunkel. Die Autobatterie würde sich freuen: sie würde das  $36 \text{ Ah} / 0,00694 \text{ A} / 24 \text{ h} = 216$  Tage, also über ein halbes Jahr aushalten, wenn man ihre Selbstentladung nicht berücksichtigt.

#### **Tipps für die Übung und Lösung von Aufgaben:**

Auch wenn die Aufgabe einfach scheint, immer ein schön großes übersichtliches Schaltbild mit sauber bezeichneten Größen und Pfeilen in der richtigen Richtung zeichnen. Das gibt vielleicht auch schon ein paar Punkte!?

Frage: was ist vorhanden, was brauche ich?  
Welche Zusammenhänge sind klar?

Parallele Widerstände ggf. auf einen Gesamtwiderstand umrechnen, dann die gemeinsame Spannung ermitteln und dann erst die Einzelströme ausrechnen. Beispiel „belasteter Spannungsteiler“.

Die wirklich einfachen Formeln zur Übung mehrmals selber umrechnen.

#### **Beispiel 2, Innenwiderstand einer Spannungsquelle:**

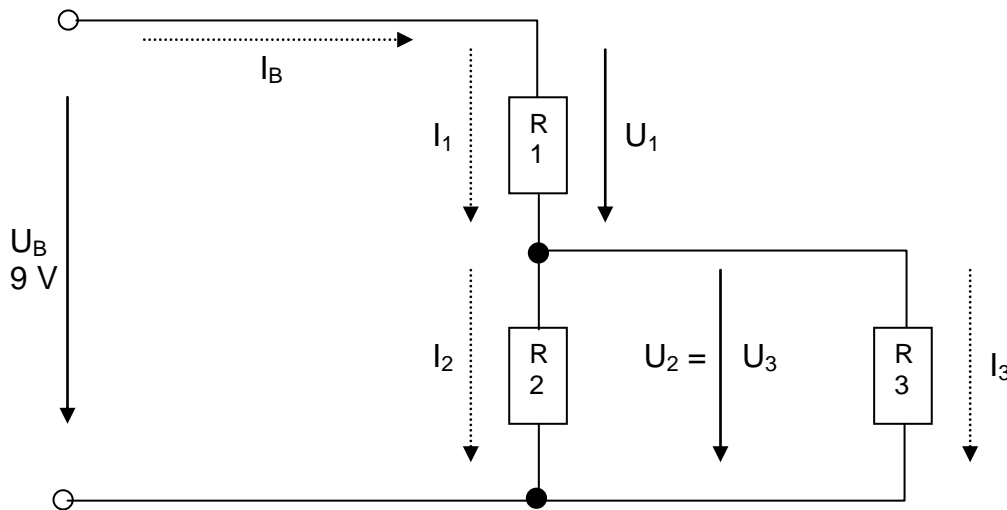
Wie bei einem normalen Wasserhahn, der auch keinen dicken Feuerwehrlöschschauch versorgen kann, können auch Spannungsquellen nicht beliebig hohe Ströme liefern. Werden sie durch einen Widerstand nennenswert belastet, liefern sie nur noch einen Teil ihrer Normspannung; der Hahn nur noch einen geringeren Druck. Dies ist am besten mit einem „Innenwiderstand“ darstellbar, der auch vom Ladezustand abhängt.

Eine  $9 \text{ V}$ -Batterie, die einen Innenwiderstand von  $9 \Omega$  hat und mit einem Widerstand von  $81 \Omega$  belastet wird, liefert einen Strom von  $9 \text{ V} / (9 \Omega + 81 \Omega) = 0,1 \text{ A}$ . Somit steht dem Lastwiderstand nur eine Spannung von  $81 \Omega \cdot 0,1 \text{ A} = 8,1 \text{ V}$  zur Verfügung. Anders herum gerechnet, verbraucht der Innenwiderstand der Batterie  $9 \Omega \cdot 0,1 \text{ A} = 0,9 \text{ V}$ , weswegen dem Lastwiderstand nur  $9 \text{ V} - 0,9 \text{ V} = 8,1 \text{ V}$  bleiben.

Würde man die unbelastete Batterie mit einem hochohmigen Meßgerät ( $10 \text{ M}\Omega$ ) messen, wäre der Strom nur  $9 \text{ V} / (9 \Omega + 10.000.000 \Omega) = 0,0000009 \text{ A}$ .

Die gemessene Spannung wäre dann  $8,9999919 \text{ V}$ , also real  $9 \text{ V}$ .

Beispiel 3, belasteter Spannungsteiler:



Gegeben sind  $U_{\text{Batterie}} = 9 \text{ V}$ ,  $R_1 = 4,5 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 9 \Omega$ .

Gesucht ist  $U_3$ .

Klar ist, dass  $U_2 = U_3$ , weil parallel,  $U_1 + U_2 = U_B$ ,  $I_B = I_1 = I_2 + I_3$ .

Hier wird angenommen, dass die Batterie keinen Innenwiderstand hat – nötigenfalls addiert man ihn zu  $R_1$  hinzu.

Einfachste Lösung:

Parallelwiderstand  $R_P$  aus  $R_2$  und  $R_3$  ausrechnen, dann liegen  $R_1$  und  $R_P$  nur noch in Reihe hintereinander:  $R_P$  ist hier einfach die Hälfte von  $R_2$  oder  $R_3$ , aber allgemein gilt die Formel  $R_P = R_2 * R_3 / (R_2 + R_3) = 9 \Omega * 9 \Omega / (9 \Omega + 9 \Omega) = 4,5 \Omega$ .

Damit ist  $I_B = I_1 = U_B / (R_1 + R_P) = 9 \text{ V} / (4,5 \Omega + 4,5 \Omega) = 1 \text{ A}$

und  $U_1 = R_1 * I_1 = 4,5 \Omega * 1 \text{ A} = 4,5 \text{ V}$

und  $U_2 = U_3 = R_P * I_B = 4,5 \Omega * 1 \text{ A} = 4,5 \text{ V}$  oder  $U_3 = U_B - U_1 = 9 \text{ V} - 4,5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$ .

$I_3 = U_3 / R_3 = 4,5 \text{ V} / 9 \Omega = 0,5 \text{ A}$ , ebenso  $I_2$ .

Wer das begriffen und geübt hat, ist schon recht gut.