

Alles im Fluss

Nur mit einer perfekten Stromversorgung leistet die Anlage ihr Maximum. Lesen Sie alles über Strom und Spannung. Von Holger Seybold

Alle reden von Spannungsabfall, Leitungswiderstand und Strombedarf. Aber was ist eigentlich der Unterschied zwischen Strom und Spannung? Was hat der Widerstand damit zu tun? Wenn Sie die Antwort sofort parat haben und das Ohmsche Gesetz im Schlaf herunterbeten können, dann können Sie ruhig woanders im Heft weiterlesen. Alle anderen sollten hier erst einmal ihr Wissen über das Ohmsche Gesetz auf Vordermann bringen. Das beginnt mit den Grundbegriffen.

Die Spannung

Die Spannung ist sozusagen die treibende Kraft in der Elektrik. Sie wird mit dem Buchstaben U abgekürzt und in Volt (V) angegeben. Eine Spannung existiert aber nicht einfach so an einem Punkt, sondern besteht aus dem Spannungsunterschied zwischen zwei Punkten. Sowie diese Punkte über irgendeine Art Widerstand Verbindung aufnehmen, fließt Strom.

Im Auto nimmt man den Minuspol – also die Fahrzeugmasse – als Bezugspunkt und bezeichnet ihn als 0 Volt. Die Spannung am Pluspol der Batterie ist um 12 Volt höher als am Minuspol (Masse).

Der Strom

Der Strom (I) bezeichnet die Menge der transportierten Ladung (Elektronen) zwischen zwei Punkten und wird in Ampere (A) angegeben. Strom kann nur fließen, wenn auch eine Spannung anliegt. Wie viel Strom fließt, hängt direkt

von der Höhe der Spannung und von dem dazwischen liegenden Widerstand ab.

Der Widerstand

Das Verhältnis zwischen Spannung und Strom bestimmt der Widerstand R (englisch: resistor). Er beschreibt die Unfähigkeit, elektrischen Strom zu leiten. Je höher der Widerstand in Ohm (Ω), desto weniger Strom fließt. Es gilt aber auch: Je höher der Widerstand ist, desto größer muss die Spannung sein, um die gleiche Menge an Strom fließen zu lassen.

Soweit zur Beschreibung der Begriffe. Doch trotz aller Definitionen erscheint Strom immer noch als etwas Abstraktes. Man kann ihn weder sehen noch anfassen, und doch ist er irgendwie da. Sein Verhalten lässt sich mit dem von Wasser vergleichen und somit veranschaulichen.

Wenn Wasser von Behälter A zu Behälter B fließen soll, dann muss in Behälter A ein höherer Druck herrschen als in Behälter B. Der Druckunterschied entspricht der Spannung. Je höher der Druck, desto mehr Wasser fließt. Herrscht zwischen den Behältern kein Druckunterschied, dann fließt auch kein Wasser. Ergo: Ohne Spannung fließt kein Strom.

Der Widerstand der Verbindungsleitung entspricht umgekehrt dem Querschnitt des Rohrs. Je größer der Rohrquerschnitt ist, desto kleiner ist der Widerstand und desto mehr Wasser passt durch das Rohr. Das bedeutet folglich: Je

kleiner der Widerstand ist, desto mehr Strom fließt.

Nimmt man beispielsweise ein dünneres Rohr mit entsprechend größerem Widerstand, fließt weniger Wasser hindurch. Damit mehr Wasser fließt, muss man den Druck (entspricht der Spannung) erhöhen – nur so kommt man auf die Durchflussmenge einer dickeren Leitung.

Anhand dieser ganz einfachen, aber sehr hilfreichen Betrachtungsweise kann man sich die Zusammenhänge von Spannung, Strom und Widerstand jederzeit vor Augen führen. Diese drei Größen stehen zu jeder Zeit in direktem Bezug zueinander.

Die Grundformel des Ohmschen Gesetzes ist im Grunde kinderleicht zu handhaben. Das sogenannte URI-Dreieck (erinnert sich noch jemand?) deckt alle mathematischen Verhältnisse zwischen diesen drei Größen ab.



Man muss einfach nur die gesuchte Größe in Gedanken verdecken – und schon bleibt die passende Formel übrig.

Ist U gesucht, rechnet man $R \times I$,

ist R gesucht, teilt man U durch I,

ist I gesucht, bleibt U durch R.

Es ist also einfacher, als man denkt. Eine zweite Formel beschreibt die Leistung P (englisch: Power), die in Watt angegeben wird. Sie ist das Produkt aus Spannung und Strom. In der Physik wird die Leistung auch als Arbeit bezeichnet. Sie beschreibt also den geleisteten Energieaufwand.

$$P \text{ (Watt)} = U \text{ (Volt)} \times I \text{ (Ampere)}$$

Die Verkabelung

Bei der Verkabelung von Verstärkern kann man viele Fehler begehen, die den Stromfluss bremsen beziehungsweise einen Spannungsabfall produzieren. In der Praxis quittieren die Endstufen eine solche Unterversorgung mit deutlich schlechterem Klang, geringerer Ausgangsleistung sowie höherer Wärmeentwicklung, weil bei niedrigerer Spannung in Folge höhere Ströme fließen. Bei deutlich zu geringer Spannung schalten Verstärker dann sogar ganz ab.

Diese Effekte lassen sich durch eine saubere Verkabelung vermeiden. Im Kasten „Spannungsverluste“ auf der rechten Seite haben wir die neuralgischen Punkte gekennzeichnet und beschrieben. Mithilfe des URI-Dreiecks, also des Ohmschen Gesetzes kann man an jedem Punkt die Verluste ziemlich genau bestimmen.

Zu den Punkten 1 bis 5 haben wir die Widerstände mit dem daraus resultierenden Spannungsabfall in der Tabelle rechts angegeben, die bei einer vorbildlichen Verkabelung (Typ I) sowie bei ei-



ner ungünstigen Verkabelung (Typ II) anliegen. Die Unterschiede sind alarmierend: Während bei Typ I mit akzeptablen 4 Prozent Verlust zu rechnen ist, bleiben bei Typ II satte 18 Prozent der Spannung auf der Strecke. Viel zu viel!

Die beiden größten beeinflussenden Faktoren sind der Innenwiderstand der Batterie und der Leitungswiderstand des Hauptstromkabels inklusive Massekabel. Hier geht unter Last am meisten Spannung verloren.

Bei Sicherungshaltern sind die Unterschiede noch extremer. Während eine fette ANL-Streifensicherung dem Strom kaum Steine in den Weg legt, produziert ein Sicherungsautomat den größten Spannungsabfall von allen: Allein hier sind noch einmal mehr als 0,5 Volt beim Teufel.

Sieben goldene Regeln

Wer die folgenden Regeln beachtet, ist mit seiner Stromversorgung auf der sicheren Seite.

1.) Eine große AGM-Batterie mit geringem Innenwiderstand liefert eine äußerst stabile Spannung (siehe dazu unsere Batterietests in *autohifi* 1/2004 und 4/2005). Man kann auch zwei Batterien parallel schalten, was den Innenwiderstand halbiert und den Spannungseinbruch auf die Hälfte reduziert.

2.) Streifensicherungen verwenden. Sie haben den geringsten Innenwiderstand und somit die geringsten Verluste. Finger weg von Sicherungsautomaten (außer Magnetschaltern).

3.) Je dicker das Stromkabel, desto besser. Zwei Kabel mit 25 mm² sind mindestens so gut wie ein 50-mm²-Kabel. Es sollte so kurz wie möglich sein, also keine Umwege durchs Auto nehmen. Den richtigen Querschnitt entnehmen Sie der Tabelle rechts.

4.) Sicherungsverteiler mit Streifensicherungen oder Maxi-Fuse nehmen. Glasrohrsicherungen bringen viel höhere Verluste.

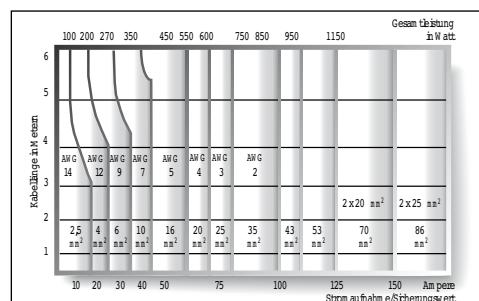
5.) Massekabel so kurz wie möglich direkt zum Massepunkt führen und so dick wie das Pluskabel dimensionieren. Die Karosseriemasse ist besser als ein Massekabel.

6.) Kabel mit Ader-Endhülse vercrimpfen oder mindestens ver-

zinnen, wenn das Kabel in eine Schraubverbindung hinein soll. Bei Terminals crimpt oder lötet man Ringösen auf das Kabel.

7.) Verteiler, Masseblöcke, Ringösen und Sicherungshalter mit vergoldeter oder platinierter Oberfläche verwenden – die sind gegen Oxidation geschützt.

Wer alle Regeln beachtet, der bekommt eine stabile Stromversorgung, an der die Verstärker das leisten, wofür man sie schließlich gekauft hat.



Gewusst wie: Nur wer einen ausreichend großen Querschnitt für seine Stromkabel wählt, schützt seine Verstärker vor Leistungerverlusten. Die Werte gelten für maximal 0,5 Volt Abfall.

Spannungsverluste

Auf dem Weg von der Batterie zum Verstärker muss der Strom viele Hürden nehmen. An jedem Widerstand geht Spannung verloren. In der folgenden Tabelle vergleichen wir zwei praxisnahe Beispieldenkabelungen. Die Basis ist eine Stromaufnahme von 80 Ampere und eine Batterie-Ruhespannung von 12,6 Volt (ca. 1000 Watt). Typ I besteht aus einer AGM-Batterie, ANL-Streifensicherung, 5 Meter 35-mm²-Kabel, Sicherungsverteiler mit Streifensicherungen, 1 Meter 35-mm²-Massekabel zur Karosserie. Typ II besteht aus einer gebrauchten Säurebatterie, einem Sicherungsautomaten, 5 Meter 16-mm²-Kabel, Sicherungsverteiler mit Glasrohrsicherungen und 5 Meter 16-mm²-Massekabel zur Batterie. Die Punkte entsprechen der Grafik auf Seite 76.

Typ I		Typ II		Typ II			
Punkt	Widerst.	Abfall	Punkt	Widerst.	Abfall	Rest	
① AGM-Batterie	2,50 mΩ	0,20 V	12,40 V	① Säurebatterie	5,60 mΩ	0,45 V	12,15 V
② ANL-Sicherung	0,16 mΩ	0,01 V	12,39 V	② Sich.-Automat	7,30 mΩ	0,58 V	11,57 V
③ 5 m 35-mm ² -Kabel	2,85 mΩ	0,23 V	12,16 V	③ 5 m 16-mm ² -Kabel	6,75 mΩ	0,54 V	11,03 V
④ Streifensich.	0,28 mΩ	0,02 V	12,14 V	④ Glasrohr-Sicherung	2,40 mΩ	0,19 V	10,84 V
⑤ 1 m Massekabel	0,57 mΩ	0,05 V	12,09 V	⑦ 5 m Massekabel	6,75 mΩ	0,54 V	10,30 V

Resultierende Spannung 96 %

Resultierende Spannung 81,7 %

Verlust = 4 % (41 Watt)

Verlust = 18,3 % (184 Watt)

① Batterie

Der Innenwiderstand der Batterie bestimmt den Spannungsabfall bei der Stromentnahme. Auch hier kann mithilfe des Ohmschen Gesetzes der Spannungsabfall bestimmt werden. Eine gute AGM-Batterie (AGM = Absorbent Glass Matt) hat im vollgeladenen Zustand einen Innenwiderstand R_i von gut 2,5 bis 3,0 Milliohm (0,0025 bis 0,003 Ω), während eine handelsübliche Säurebatterie bei gleicher Kapazität einen rund doppelt so hohen Widerstand mitbringt (0,005 bis 0,006 Ω). Bei hoher Stromentnahme steigt der Innenwiderstand durch Erwärmung noch weiter an. Entnimmt man aus einer vollgeladenen AGM-Batterie rund 80 Ampere, lässt die Batteriespannung um rund 0,20 Volt nach.



Pflicht: Eine niederohmige AGM-Batterie ist ebenso wichtig wie ein dickes Stromkabel.

$$U = R \times I \quad U = 0,0025 \times 80 = 0,20 \text{ Volt}$$

Hat diese Batterie unbelastet eine Spannung von 12,6 Volt, so liefert sie bei 80 Ampere immer noch rund 12,4 Volt. Eine Säurebatterie würde um 0,45 Volt auf nur noch 12,15 Volt abfallen.

② Sicherung

Den geringsten Innenwiderstand hat eine ANL-Streifensicherung mit etwa 0,16 Milliohm (0,00016 Ω). Übliche Glassicherungen bringen mit rund 4,8 m Ω (0,0048 Ω) den 30fachen Widerstand mit; zudem sind sie oft sehr locker eingespannt, was den Widerstand zusätzlich erhöht. Außerdem gilt: Je höher der Sicherungswert, desto kleiner der Widerstand. Allerdings darf der Wert die maximale Belastbarkeit des Kabels niemals überschreiten.



③ Stromkabel

Die Hauptstromleitung ist neben der Batterie der größte Verlustfaktor in der Stromversorgung. Es gilt: Je dicker das Kabel, desto geringer der Widerstand und desto geringer die Verluste. Die Länge des Kabels ist ebenfalls entscheidend – je kürzer desto besser. Ein Kupferkabel hat bei einem Meter Länge und 1 mm 2 Querschnitt einen Widerstand von rund 20 Milliohm (0,02 Ω). Der Leitungswiderstand R_i lässt sich nach der folgenden Formel errechnen:

$$R_i (\text{m}\Omega) = \frac{20 \times \text{Länge (m)}}{\text{Querschnitt (mm}^2)}$$



Ein 5 Meter langes Kabel mit 16 mm 2 hat demnach einen Widerstand von 6,75 m Ω . Mit dem URI-Dreieck (Ohmsches Gesetz) lässt sich der Spannungsabfall bei beispielsweise 80 Ampere berechnen:

$$U = R \times I \quad U = 0,00675 \Omega \times 80 = 0,54 \text{ Volt}$$

Der Spannungsverlust wird in dem Kabel in Wärme umgesetzt. Mit der Formel für die Leistung $P=U \times I$ lässt sich berechnen, wieviel Verlustleistung im Kabel in Wärme umgesetzt, also sinnlos verbraucht wird.

$$P = U \times I \quad P = 0,54 \text{ V} \times 80 \text{ A} = 43,2 \text{ Watt}$$

④ Massepunkt/-kabel

Der Strom, der durch das Pluskabel fließt, muss durch das Massekabel zurück zur Batterie (Stromkreislauf). Ein zusätzliches Massekabel mit dem gleichen Querschnitt wie die Hauptstromleitung muss zwischen Batteriepol und Massepunkt, sonst wird die werkseitige Masseleitung überlastet, was sie mit Spannungsverlust durch einen höheren Widerstand quittiert.



⑤ Anschlussklemme

In Schraubanschlüssen mit Madenschraube (Sicherung, Verteiler, Endstufe) sollten die Kabel mit einer aufgecrimpften Ader-Endhülse oder mit verlöstem Ende eingeschraubt werden. Das verhindert das Beschädigen der Litzen beim Festziehen der Kabelflasche. Auch könnten sich Litzen lockern, wodurch der Anpressdruck sinken und der Übergangswiderstand steigen würde.



Eventuell flutscht das Kabel sogar ganz heraus. Bei flachen Terminals sollte man eine Ringöse aufs Kabel crimpfen.

⑥ Sicherungsverteiler

Für den Sicherungsverteiler gilt an sich das Gleiche wie für die Hauptsicherung. Streifensicherungen haben einen vielfach geringeren Innenwiderstand als Glasrohrsicherungen. Meistens wird ab hier ein dünneres Kabel weitergeführt. Dagegen ist an sich nichts einzuwenden, es sollte aber der größtmögliche Querschnitt gewählt werden, der in Verteiler und



Endstufe passt, um weitere Verluste zu minimieren. Wer alle Tipps beherzigt, wird mit dem bestmöglichsten Klang belohnt.



⑦ Massekabel

Die Fahrzeugkarosserie ist das beste Massekabel, weil sie sehr gut leitet. Das Massekabel zwischen Verstärker und Massepunkt soll den gleichen Querschnitt wie das Pluskabel haben und möglichst kurz sein. Der Innenwiderstand errechnet sich wie beim Hauptstromkabel mit dem URI-Dreieck. Leider gibt es immer noch Fachhändler, die das Massekabel vom Verstärker bis zur Batterie legen. Dies ist unnötig und erhöht das Störungsrisiko (Masseschleife).

