

Zusatztext zum Lehrbrief 2 – Strom und Spannung

Klaus Kuhnt

1 Analogien zu Strom und Spannung

Mit Strom und Spannung ist der elektrische Strom bzw. die elektrische Spannung gemeint. Um sich diesen weder sichtbaren noch fühlbaren Größen zu nähern, ist es aber nicht verkehrt, sich „mechanische“ Analogien vorzustellen. Eine gute Analogie für den elektrischen Strom ist, sich einen Fluss vorzustellen und den Durchfluss an Wasser mit der Wanderung der Elektronen gleichzusetzen.



Hier sieht man schon: durch einen breiten Fluss kann viel Wasser fließen, durch einen schmalen Fluss weniger. Umgesetzt in den Bereich der Elektrotechnik erklärt allein dieser Umstand, warum das Zuleitungskabel eines leistungsfähigen Elektroherdes dicker sein muss als das eines kleinen Kofferradios (man verzeihe mir diese starke Vereinfachung).

Bleiben wir weiter in dieser Analogie: Warum fließt das Wasser in einem Fluss?

Ganz klar ! Das Wasser fließt immer nach unten und je steiler das Gefälle ist (=je mehr Höhenunterschied besteht), desto schneller fließt das Wasser. Diese Erklärung kann man auf den Begriff der Spannung anwenden. Eine Spannung ist immer zwischen zwei Punkten zu messen, wenn diese unterschiedlich geladen sind. Diese Ladungsdifferenz gleicht sich aus, wenn man die beiden Punkte leitend

miteinander verbindet. Es fließt ein Ausgleichsstrom, der umso größer ist, je höher die Potentialdifferenz ist.

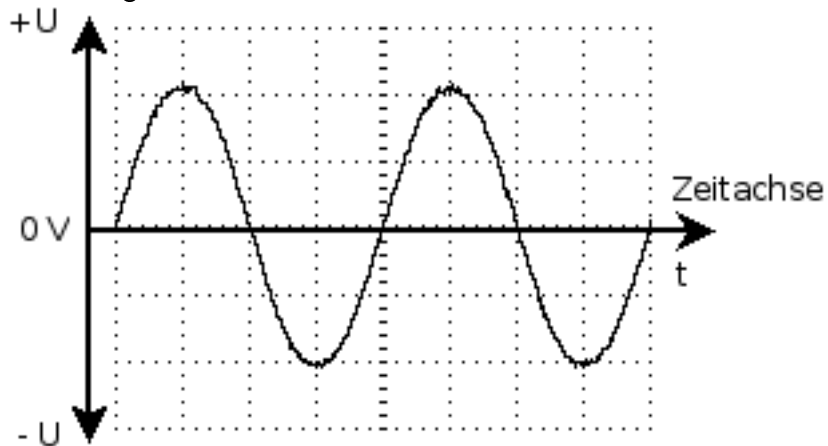
Jeder kennt den Effekt, den der Gummihandlauf einer Rolltreppe auf langes Haar hat, die Haare werden angezogen, da der Handlauf durch die Reibung am Führungsmetall „geladen“ wird und somit im Vergleich zum Mitfahrer ein anderes Potential hat. Vergleichbares geschieht mit den Elektronen.

2 Gleichstrom/Gleichspannung

Diese Analogien erklären uns jetzt erst einmal den Gleichstrom. Wir haben es mit einer gerichteten Bewegung von Elektronen zu tun, die vom Elektronenüberschuss (dem „Minus“-Pol) zum Elektronenmangel (dem „Plus“-Pol) eine Ausgleichsbewegung vollführen. Nun mag sich mancher wundern: „Der Strom fließt doch von Plus nach Minus!“ Das ist interessanterweise eine der hartnäckigsten Halbfalschheiten schlechthin. Als die Elektrotechnik noch in den Kinderschuhen steckte, war man noch nicht in der Lage klar zu sagen, was der Strom ist, geschweige denn, die Polarität richtig zu bestimmen. Man hat das damals ganz pragmatisch festgelegt: „Der Strom fließt von Plus nach Minus.“ Nachdem erst später die wahre Natur mit der Entdeckung der Elektronen als negativ geladene Ladungsträger erkannt wurde, fing man an zu differenzieren. Man sprach nun von der physikalischen Stromrichtung („von Minus nach Plus“) und betrachtete dabei die Bewegung der Elektronen sowie von der technischen Stromrichtung („von Plus nach Minus“), bei der die alte Prämisse weitergeführt wurde. Diese Sichtweise hat sich bis heute gehalten. Außer in Spezialbereichen, in denen auf molekularer oder atomarer Ebene Entwicklungsarbeit/Forschung betrieben wird, arbeitet der „normale“ Elektrotechniker immer mit der technischen Stromrichtung. Auch wir meinen in diesem Buch, wenn nicht explizit anders gekennzeichnet, immer die technische Stromrichtung.

3 Wechselstrom/Wechselspannung

Beim Wechselstrom wird durch die Stromgewinnung in einem Wechselstromgenerator (z.B. Dynamo) eine sinusförmige Kurvenform erzeugt. Wenn im Folgenden von der Kurvenform einer Spannung die Rede ist, so gilt vergleichbares auch für den Strom und umgekehrt.



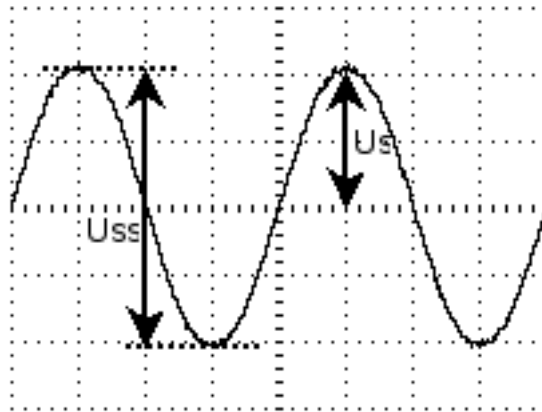
Hier bewegen sich die Elektronen nicht wie beim Gleichstrom stetig in eine Richtung, sondern befinden in einem stetigen Hin und Her im Leiter. Wenn man den Spannungsverlauf gegenüber der Zeit in einem Diagramm aufträgt, so findet man zu jedem Punkt der Zeitachse eine Momentanspannung, die zwischen einem negativen Maximalwert zu einem positiven Maximalwert schwankt. Um eine Wechselspannung genauer zu beschreiben, müssen mehrere „Kenndaten“ benannt werden: Spitzenspannung, Spitzen-Spitzen-Spannung, Effektivwert, Kurvenform und die Periodendauer.

3.1 Spitzenspannung

Die Spitzenspannung U_s wird ermittelt, indem man mit einem Oszilloskop von der Mitte (zwischen den beiden Maxima) bis zum Maximum der positiven Halbwelle misst. Dasselbe gilt sinngemäß auch für die negative Halbwelle, man erhält dann $-U_s$.

3.2 Spitzen-Spitzenspannung

Meist ist es nicht einfach, die genaue Mittellage zu ermitteln. Zur Messung der Spitzenspannung bedient man sich dann eines kleinen Tricks. Man misst einfach die Differenz zwischen positivem und negativem Maximum und erhält dann U_{ss} (Spitzen-Spitzen-Spannung). U_s beträgt bei sinusförmigen Wechselspannungen genau die Hälfte.



Nehmen wir an, die vertikale Einteilung im Bild beträgt 1 V pro Skaleneinheit (pro Kästchenhöhe). U_{ss} beträgt demnach 4 V, $U_s = \frac{U_{ss}}{2} = \frac{4V}{2} = 2V$

3.3 Effektivwert der Spannung

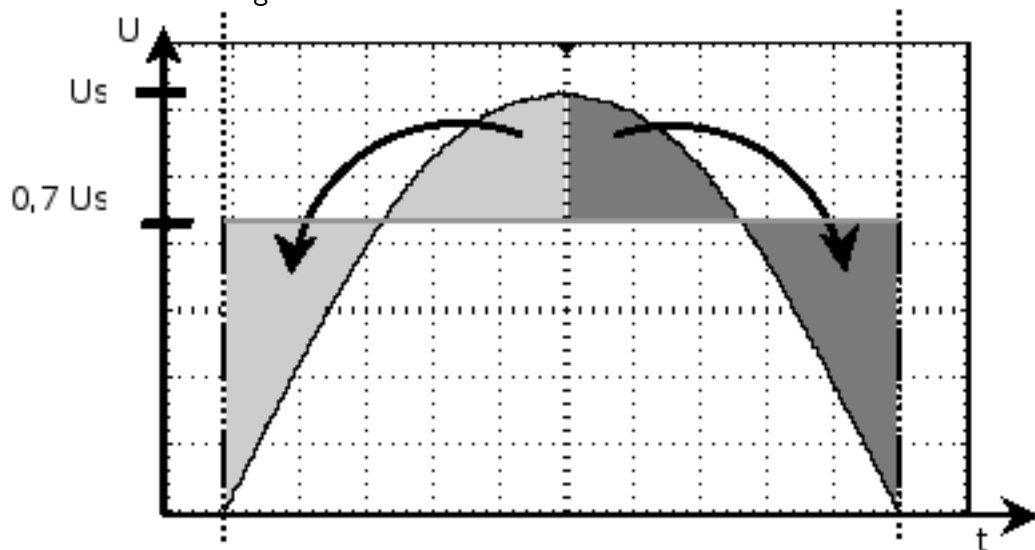
Da zu jedem Zeitpunkt ein Spannungs-Momentanwert vorliegt, ist nun die Frage, welche Spannung man nun als „wirksame“ Spannung angibt. U_s als kurzzeitiger Maximalwert ist für die Aussage der wahren Größe ungeeignet. Mehr Aussagekraft hat ein Vergleich mit einer Gleichspannung. Zur Ermittlung des Effektivwertes der Spannung (und nur der wird von den Multimetern angezeigt) wird diejenige Gleichspannung gesucht, die in einem Widerstand die gleiche Wärmewirkung auslösen würde wie die gemessene Wechselspannung. Für den mathematisch versierten Leser ist das ein einfaches Spiel, man bildet einfach das Integral über den gesamten quadrierten Periodenverlauf und bekommt dann einen Mittelwert, der dem Effektivwert entspricht:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{\int U^2(t) dt}{t}} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$$

OK, hat das jeder verstanden ?!?!?

Versuchen wir eine weniger abstrakte Darstellung:

Wenn man sich den Kurvenverlauf einer sinusförmigen Wechselspannung ansieht, so sieht man, dass positive und negative Halbwelle die gleiche Form und den gleichen Spitzenwert (nur mit anderem Vorzeichen versehenen) aufweisen. Bei einem Widerstand ist es egal, ob der Strom von „links nach rechts“ oder andersherum (negative Halbwelle) durchfließt, die Umsetzung in Wärme bleibt dabei gleich. Wir können also für unsere Anschauung nur die positive Halbwelle betrachten. Wie schon vorstehend beschrieben, geht es letztendlich um eine Mittelwertsbestimmung über den Kurvenverlauf.



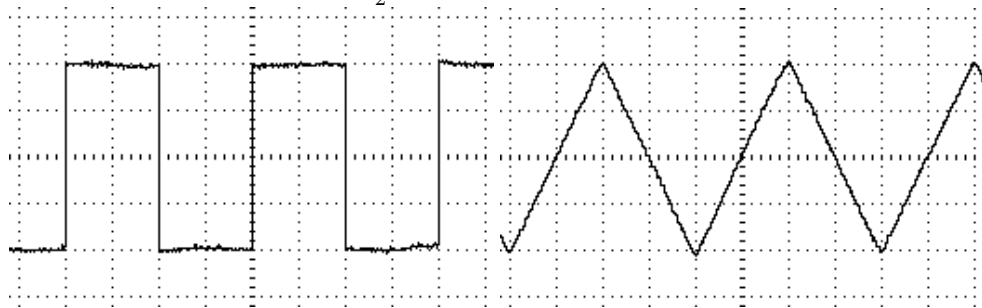
Wir betrachten nun die Fläche unter der positiven Halbwelle und versuchen diese Fläche in eine andere, nämlich rechteckige Anordnung zu bringen. Ist dies geschafft, ergibt sich eine obere Linie, die ungefähr bei 70% des Spitzenwertes

der Halbwelle liegt. Dies wäre die Gleichspannung, die die selbe Leistung in einem Widerstand umsetzen würde, wie die vorherige Wechselspannung.

$$U_{eff} \approx 0,7 \cdot U_s \text{ (genau wären es } \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_s = 0.70710678... \cdot U_s \text{)}$$

3.4 Kurvenform

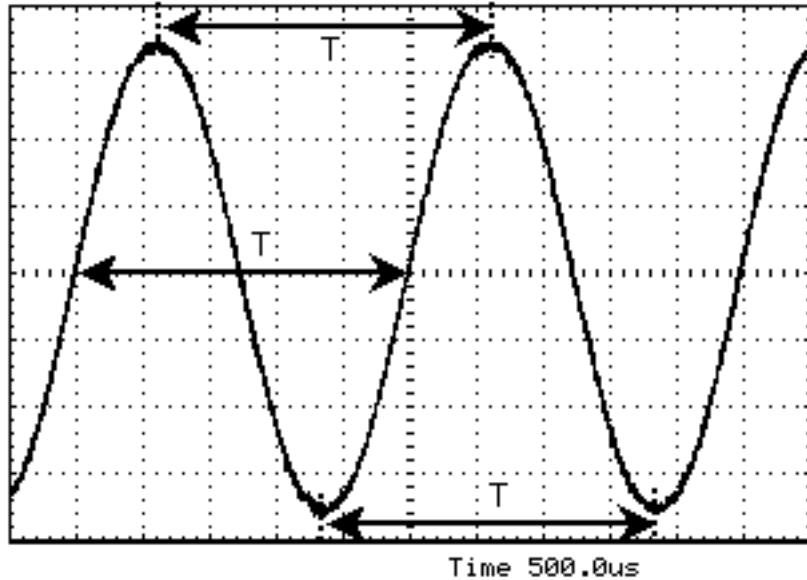
Die sinusförmige Wechselspannung ist natürlich nur ein Spezialfall einer Wechselspannung, wenn auch der häufigste. Andere Kurvenformen sind z.B. das Rechteck, Sägezahn, oder auch das Dreieck. Die Effektivspannung ist je nach Kurvenform unterschiedlich, bei der Rechteck-Wechselspannung beträgt sie U_s und bei der Dreiecks-Wechselspannung $\frac{U_s}{2}$.



3.5 Periodendauer / Frequenz

Die Periodendauer ist die Zeit, die der Kurvenverlauf für eine komplette Schwingung benötigt. Eine Schwingung beinhaltet je eine komplette positive und negative Halbwelle. Man kann die Periodendauer mit dem Oszilloskop sehr einfach messen, indem man die Skaleneinheiten abzählt und diese mit der Zeitbasis multipliziert.

Beispiel: Zeitbasis = 1ms bedeutet, dass jede Skaleneinheit (=die Breite eines Kästchens) eine Millisekunde dauert.



Anstelle von den Mittellagen auszugehen kann man auch den Abstand der Maxima messen. Oftmals ist das besser abzulesen. Die Zeitbasis im Bild ist auf $500\mu\text{s}$ eingestellt, jede Skaleneinheit (Kästchenbreite) dauert also $500\mu\text{s}$. Die Periodendauer beträgt demnach: $500\mu\text{s} \cdot 5(\text{Skaleneinheiten}) = 2500\mu\text{s} = 2.5\text{ms}$

Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen, die innerhalb einer Sekunde stattfinden. Sie ist der Kehrwert der Periodendauer:

$$f = \frac{1}{T}$$

In unserem Beispiel beträgt die Frequenz: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.5\text{ms}} = \frac{1}{2.5 \cdot 10^{-3}\text{s}} = 400\text{Hz}$