

Aus FUNKSCHAU 19/1955 für <http://www.radiomuseum.org> (Im Original 3-spaltig, bearbeitet 11/2019 von E.Grund) mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de>

Dr.-Ing. F. Bergtold: *Für den jungen Funktechniker*

18. Vom Effektivwert und anderen Werten der Wechselgrößen

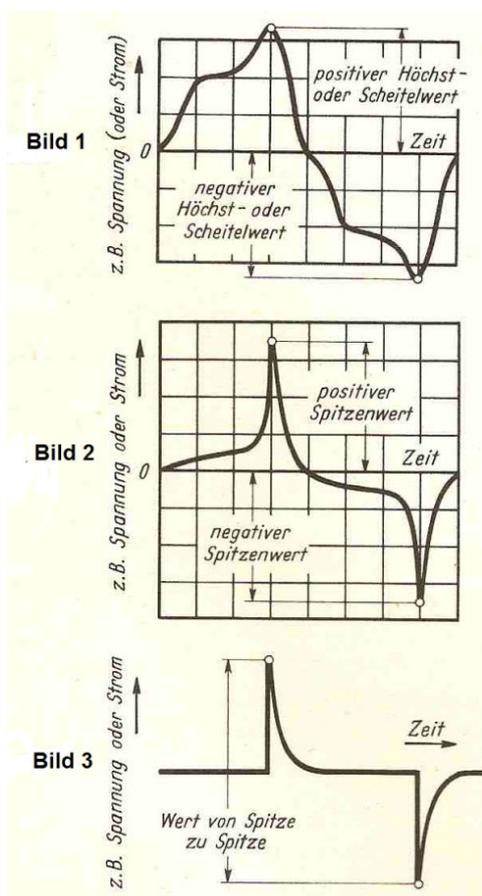
Höchstwert, Scheitelwert, Spitzenwert und Wert von Spitze zu Spitze

Bevor wir uns mit dem Effektivwert beschäftigen, der sich insbesondere auf Wechselgrößen bezieht, wollen wir eine Reihe einfacherer Begriffe kennenlernen, die ebenfalls im Zusammenhang mit Wechselgrößen benutzt werden.

Zunächst ist da der Höchstwert. **Bild 1** läßt im zeitlichen Verlauf einer Wechselspannung deren positiven und negativen Höchstwert erkennen. Der Höchstwert ist also der jeweils größte Augenblickswert. Unter dem Höchstwert kann man außer dem größten Augenblickswert gemäß Bild 1 aber auch den höchsten Wert einer irgendwie schwankenden Wechselspannung verstehen. Ändert sich z. B. die Netzspannung zwischen 180 und 240 V, so bezeichnet man diese 240 V unter Umständen ebenfalls als Höchstwert.

Dieser Verwechslungsgefahr geht man aus dem Wege, indem man die Höchstwerte gemäß Bild 1 „Scheitelwerte“ nennt. Die Bezeichnung Scheitelwert wird lediglich für den größten Augenblickswert einer Wechselgröße benutzt.

Wenn der höchste Augenblickswert weit aus den übrigen Augenblickswerten herausragt — etwa so, wie **Bild 2** das veranschaulicht, — spricht man statt von Höchst- oder Scheitelwert auch von Spitzenwert. In solchem Sinne gibt es Spitzenspannungsmesser, die diese Werte anzeigen.



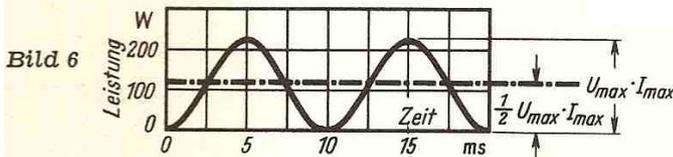
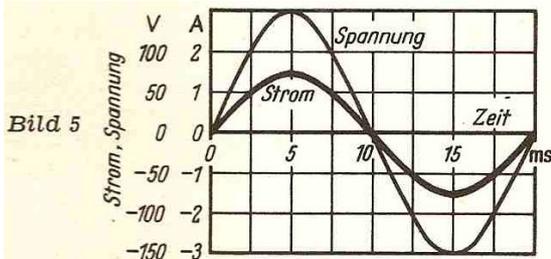
In den Ablenkteilen der Fernsehempfänger handelt es sich oft um einen Spannungsverlauf nach **Bild 3**. Hierbei schwankt die Spannung zwischen zwei Spitzenwerten. Dafür gibt man dann Spannung von Spitze zu Spitze an.

Bedeutung des Effektivwertes

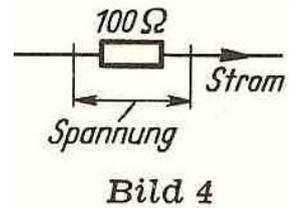
Effektivwerte verwendet man im wesentlichen für Ströme und Spannungen. So lesen wir z. B. von A_{eff} oder von V_{eff} .

Der Effektivwert eines Wechselstromes beruht auf dem Vergleich seiner Wirkung mit der eines Gleichstroms. Das haben wir uns so vorzustellen: Wir schicken durch einen Widerstand einen Gleichstrom von einem Ampere und stellen fest, wie heiß dieser Widerstand dabei wird. Dann lassen wir durch den Widerstand einen Wechselstrom fließen und regeln diesen Strom so ein, bis sich wieder die gleiche über Temperatur ergibt wie vorher beim Gleichstrom. Der eingeregelter Wechselstrom hat nun einen Effektivwert von einem Ampere und zwar unabhängig davon, ob seine Frequenz z. B. 50 oder 55 Hertz beträgt und ob sein Verlauf etwa dem Bild 8 genau entspricht oder nicht.

Eine Wechselspannung weist einen Effektivwert von 220 V auf, wenn eine daran angeschlossene Glühlampe ebenso hell leuchtet wie an einer Gleichspannung von 220 V. Zum Effektivwert kommen wir also über die Wirkung und



demgemäß über die mittlere Leistung. Das wollen wir uns in den nächsten Abschnitten für Strom, Spannung und Leistung etwas näher ansehen.



Wechselstrom, Wechselspannung und Leistung

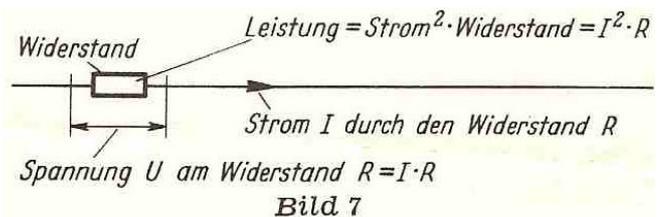
Bild 4 zeigt einen Widerstand, an dem eine Spannung herrscht und der von einem Strom

durchflossen ist. **Bild 5** läßt den zeitlichen Verlauf des Stromes und der Spannung erkennen.

Indem wir die jeweils zusammengehörenden Augenblickswerte von Spannung und Strom miteinander vervielfachen, erhalten wir die Augenblickswerte der Leistung. So ergibt sich aus Bild 5 das **Bild 6**. Die Leistung schwankt zwischen Null und einem Höchstwert. Der Höchstwert ist durch das Produkt aus den Scheitelwerten von Strom und Spannung gegeben.

So, wie Strom und Spannung in ihrem Verlauf hier durch Sinuslinien dargestellt sind, gehört auch zum Leistungsverlauf eine Sinuslinie. Der Unterschied liegt einerseits in der Frequenz, die für die Leistung doppelt so hoch ist wie für Strom und Spannung. und andererseits in der Höhe der Nulllinie zur Sinuskurve: Für die Leistung ist die Nulllinie im Vergleich zu Strom und Spannung nach unten gerutscht. Alle Augenblickswerte der Leistung haben auf solche Weise positives Vorzeichen. Die mittlere Leistung (Leistungs-Mittelwert über eine Periode) ist halb so groß wie der Höchstwert der Leistung.

Wir merken uns zunächst, daß die mittlere Leistung, zu der die Arbeit gehört, bei zeitlich sinusförmigem Verlauf des Stromes und der Spannung sowie bei deren Phasengleichheit durch das halbe Produkt aus den Scheitelwerten von Spannung und Strom dargestellt wird.



Der Effektivwert des Stromes

Bild 7 veranschaulicht wiederum einen stromdurchflossenen Widerstand. Die Spannung am Widerstand ist gegeben durch das Produkt aus Strom und Widerstand. Da wir die Leistung erhalten, indem wir Strom und Spannung miteinander vervielfachen, und die Spannung durch das Produkt aus Widerstand und Strom ersetzen dürfen, gilt: Leistung = Strom² = Widerstand.

Diese Gleichung bezieht sich zunächst auf jeden einzelnen Augenblick. Bei Gleichstrom bleibt der Wert des Stromes konstant. Deshalb stimmen für ihn Augenblickswert und Dauerwert überein. Somit bleibt obige Gleichung für den Gleichstrom nicht auf den einzelnen Augenblick beschränkt.

Diese Gleichung gilt auch für Wechselstrom, wenn in ihr mit dem Strom entweder der Augenblickswert oder der Effektivwert gemeint ist. Die Gültigkeit der Gleichung für den Effektivwert sei an Hand der Bilder 8 und 9 dargetan. **Bild 8** stellt den zeitlichen Verlauf eines Wechselstromes dar. In **Bild 9** sind die Augenblickswerte des Wechselstromes von Bild 8 ins Quadrat erhoben. Wir erhalten so einen Kurvenverlauf, der dem des Bildes 6 entspricht. Die Höchstwerte sind durch das Quadrat des Stromhöchstwertes gegeben. Der zeitliche Mittelwert für zeitlich sinusförmigen Stromverlauf liegt halb so hoch. Für die Leistung ist demgemäß die Hälfte des Quadrates vom Stromhöchstwert maßgebend.

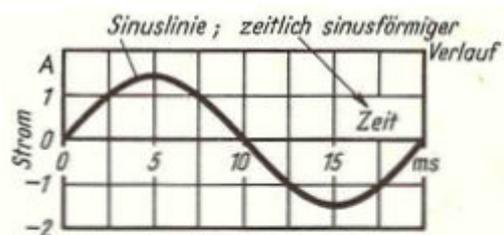


Bild 8

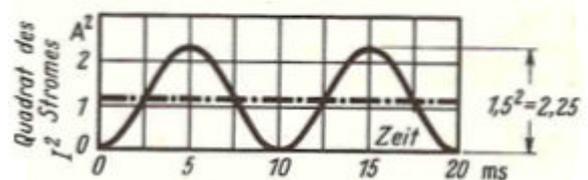


Bild 9

Hieraus folgt für zeitlich sinusförmigen Stromverlauf, daß das Quadrat des Strom- Effektivwertes gleich der Hälfte des Quadrates vom Strom-Höchstwert sein muß. Dazu ergibt sich, wenn man die Wurzel zieht:

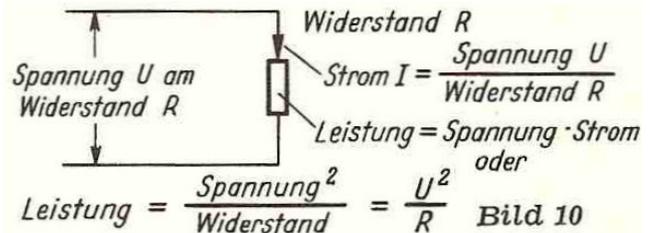
Effektivwert des Stromes = $\frac{1}{\sqrt{2}}$ Höchstwert des Stromes. Wurzel aus zwei ($\sqrt{2}$) ist ungefähr gleich 1,41 also $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$. Das heißt für zeitlich sinusförmigen Stromverlauf, daß zu einem Strom mit einem Höchstwert von 1,5 A ein Effektivwert von rund 1,06 A gehört.

Der Effektivwert der Spannung

In **Bild 10** ist ein Widerstand dargestellt, der an einer Spannung liegt. Der Strom, der durch den Widerstand fließt, ergibt sich in jedem Augenblick als Spannung:Widerstand. Somit

kann man schreiben: $Leistung = \frac{Spannung^2}{Widerstand}$

Die Leistung ist somit in jedem Augenblick dem Quadrat der Spannung verhältnisgleich.



Zu einem zeitlich sinusförmigen Spannungsverlauf nach **Bild 11** gehört demgemäß der für die Leistung maßgebende Verlauf nach **Bild 12**. Der Mittelwert der ins Quadrat erhobenen Augenblickswerte der Spannung ist für sinusförmigen Verlauf halb so groß wie das Quadrat des Höchstwertes. Das bedeutet: Das Quadrat des Spannungs-Effektivwertes muß für sinusförmigen Spannungsverlauf gleich der Hälfte des Quadrates vom Spannungshöchstwert sein. Dem entspricht:

Effektivwert der Spannung = $\frac{1}{\sqrt{2}}$ Höchstwert der Spannung.

Zu einer Spannung mit zeitlich sinusförmigem Verlauf und einem Höchstwert von 310 V gehört somit ein Effektivwert von etwa $0,707 \cdot 310 \text{ V} \approx 220 \text{ V}$.

Nochmal die Effektivwerte des Stromes und der Spannung

An Hand der Bilder 4, 5 und 6 hatten wir festgestellt, daß sich für zeitlich sinusförmigen Verlauf des Stromes und der Spannung die mittlere Leistung als halbes Produkt aus den Höchstwerten von Strom und Spannung ergibt. Nun sind aber hier die wirksamen Werte etwa 0,707mal so groß wie die Höchstwerte. Damit gilt:

Leistung = $0,707 \cdot \text{Stromhöchstwert} \cdot 0,707 \cdot \text{Spannungshöchstwert}$, worin $0,707 \cdot 0,707 = 0,5$. Wir können folglich die Effektivwerte von Strom und Spannung so verwenden wie die Werte von Gleichströmen und Gleichspannungen.

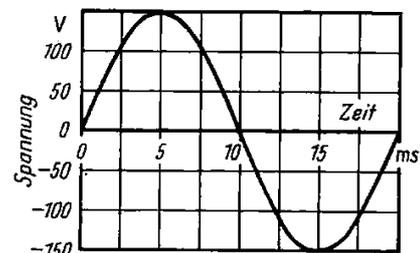


Bild 11

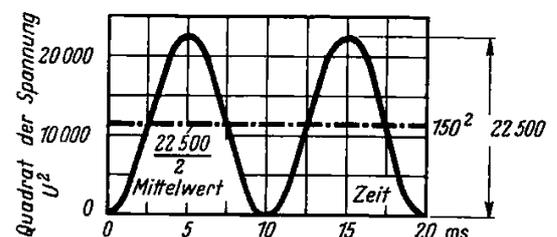


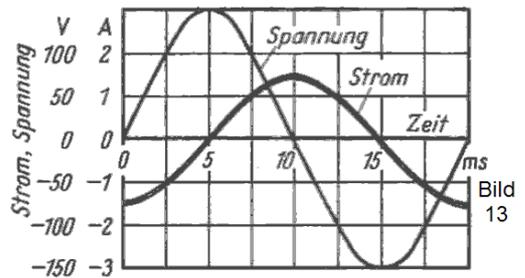
Bild 12

Hinweis auf eine Einschränkung

Voraussetzung dafür, daß sich die Leistung als Produkt aus den Effektivwerten von Strom und Spannung mit zeitlich sinusförmigem Verlauf ergibt, ist Phasengleichheit zwischen Strom und Spannung. Die Phasengleichheit besteht darin, daß die Werte von Strom und Spannung gleichzeitig durch Null gehen und daß die Höchstwerte zu denselben Zeitpunkten auftreten, so, wie es dem Bild 5 entspricht.

Nicht immer besteht zwischen Strom und Spannung Phasengleichheit. Bei einer von Null abweichenden Phasenverschiebung ist die Leistung kleiner als das Produkt der Effektivwerte von Strom und Spannung. Die Leistung kann sogar zu Null werden. **Bild 13** zeigt als dementsprechenden

Extremfall einen Strom und eine gegen ihn um ein Viertel einer Periode verschobene Spannung. Der zugehörige Leistungsverlauf ist an sich derselbe wie für fehlende Phasenverschiebung (vergleiche **Bild 14** mit Bild 6). Jedoch besteht ein grundsätzlicher Unterschied: Die Leistungsmittellinie fällt in Bild 14 mit der Nulllinie der Leistung zusammen, womit die mittlere Leistung hier den Wert Null annimmt.



Um trotzdem den Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Leistung für Wechselstrom in prinzipiell gleicher Weise darstellen zu können wie für Gleichstrom, hat man den Leistungsfaktor eingeführt. Dieser Faktor ist eine reine Zahl, die an gibt, welcher Bruchteil des Produktes aus den Effektivwerten von Strom und Spannung als tatsächliche Leistung gilt. Dem entspricht:

$$\text{Leistung} = \text{Strom} \cdot \text{Spannung} \cdot \text{Leistungsfaktor.}$$

Der Höchstwert des Leistungsfaktors ist die Zahl 1. Er gilt z. B. für den Fall des Bildes 6. Der Mindestwert des Leistungsfaktors ist mit Null gegeben. Er gehört z. B. zum Fall des Bildes 14.

Fachausdrücke

Leistungsfaktor: Faktor, mit dem das Produkt aus den Effektivwerten der Wechselspannung und des Wechselstromes vervielfacht werden muß, damit sich daraus die Wechselstromleistung ergibt. Der Leistungsfaktor ist eine reine Zahl, die von Null bis Eins gehen kann.

Mittlere Leistung: Zeitlicher Leistungs-Mittelwert. Bei periodischem Verlauf des Stromes und der Spannung bezieht er sich auf eine ganze Zahl von Perioden. Es gilt:

$$\text{Mittlere Leistung} \cdot \text{Zeit} = \text{Arbeit.}$$

Phasengleichheit: Zwei Wechselgrößen gleicher Frequenz sind phasengleich, wenn ihre Nulldurchgänge gleichzeitig erfolgen und ihre Höchstwerte gleichzeitig auftreten. Der Begriff der Phasengleichheit ist streng genommen nur für gleichartigen zeitlichen Verlauf der Wechselgrößen, vor allem für zeitlich sinusförmigen Verlauf verwendbar.

Phasenverschiebung: Zwei Wechselgrößen mit zeitlich sinusförmigem Verlauf können eine gegenseitige Phasenverschiebung aufweisen. Ihre Nulldurchgänge finden damit nicht gleichzeitig statt. Ebenso treten ihre Höchstwerte bei einer von Null abweichenden Phasenverschiebung zu verschiedenen Zeiten auf.

Scheitelwert: Zeitlicher Höchstwert einer Wechselgröße. Zwischen je zwei Nulldurchgängen des Augenblickswertes der Wechselgröße tritt wenigstens ein Scheitelwert auf (in sehr seltenen Fällen ist mehr als ein Scheitelwert möglich).

Sinusform: Ein Verlauf, der sich etwa ergäbe, indem man Pendelbewegungen auf einem Papierstreifen aufzeichnen würde, der mit konstanter Geschwindigkeit parallel zur Pendelachse unter dem Pendel hinweggezogen würde.

Spitzenwert: Aus den übrigen Augenblickswerten weit herausragender Höchstwert oder Scheitelwert.

Spitze zu Spitze: Für eine Wechselspannung mit sehr stark ausgeprägten Höchstwerten oder für eine Spannungsschwankung, bei der Höchst- und Mindestwert besonders kräftig ausgeprägt sind, bezeichnet man den Unterschied zwischen beiden Höchstwerten bzw. zwischen Höchst- und Mindestwert als Wert von Spitze zu Spitze.

Zeitlich sinusförmiger Verlauf: Betrachtet man aus großer Entfernung einen mit gleichbleibender Geschwindigkeit umlaufenden Zeiger senkrecht zur Zeigerachse, so ändert sich die so sichtbare (scheinbare) Zeigerlänge zeitlich sinusförmig. Einen zeitlich sinusförmigen Verlauf erhält man ebenso für die Schattenlänge eines Zeigers, der senkrecht zur Zeigerachse beleuchtet ist und dessen Schatten auf eine senkrecht zur Einfallrichtung des Lichtes stehende Fläche geworfen wird.

