


 Grundriss  
S:

## 7 Wechselstromtechnik

Zur Energieübertragung und zur Energieversorgung, z. B. für Haushalte und Betriebe, verwendet man sinusförmige Wechselspannungen.

### 7.1 Kenngrößen der Wechselstromtechnik

#### 7.1.1 Periode und Scheitelwert

**Versuch:** Messen Sie die Ausgangsspannung eines Funktionsgenerators mit einem Gleichspannungsmesser (Zeigermessinstrument, Nullstellung in Skalenmitte) und mit einem Oszilloskop (**Bild a**). Stellen Sie beim Funktionsgenerator „Sinusspannung“ ein und verändern Sie die Frequenz von kleineren Werten zu größeren Werten, z. B. von 0,1 Hz bis 1 kHz.

Der Zeiger des Messinstrumentes pendelt zunächst langsam hin und her, während der Elektronenstrahl des Oszilloskops sich im Rhythmus des Zeigers auf- und abbewegt. Bei höheren Frequenzen bleibt der Zeiger in der Skalenmitte stehen, der Elektronenstrahl des Oszilloskops zeigt jedoch auf dem Schirm den zeitlichen Verlauf einer Wechselspannung, eine Sinuskurve (**Bild b**).

Die Wechselspannung ändert sich ständig zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert (**Bild b**). Ein solcher Höchstwert wird auch als **Scheitelwert**  $\hat{u}$ <sup>1</sup>, Spitzenwert, Maximalwert oder Amplitude<sup>2</sup> bezeichnet. Die Differenz aus dem positiven und dem negativen Scheitelwert ergibt den **Spitze-Tal-Wert**  $\hat{u}$  (auch  $u_{ss}$  = Spitze-Spitze-Wert). Das Hin- und Herpendeln der Spannung zwischen einem positiven und einem negativen Scheitelwert wiederholt sich regelmäßig: Die Spannung ändert sich periodisch<sup>3</sup>.

Wechselstrom und Wechselspannung werden durch die Kurzbezeichnung AC<sup>4</sup> gekennzeichnet.

#### 7.1.2 Frequenz und Periodendauer

Die Anzahl der Perioden je Sekunde nennt man **Frequenz**  $f$  (Häufigkeit). Die Einheit der Frequenz ist **Hertz**<sup>5</sup> (Einheitenzeichen Hz).

Die Frequenz  $f$  ist der Kehrwert der Periodendauer  $T$ . Die Frequenz ist umso größer, je kleiner die Periodendauer ist.

Eine **Periode** besteht aus zwei **Halbperioden** (**Bild b**). Die Zeitdauer einer ganzen Periode bezeichnet man als **Periodendauer** oder Schwingungsdauer  $T$ ; sie wird in Sekunden gemessen.

<sup>1</sup>  $\hat{u}$  (sprich: u-Dach)

<sup>2</sup> amplitudo (lat.) = Größe, Weite, Schwingungsweite

<sup>3</sup> Periode (griech.) = Zeitabschnitt

<sup>4</sup> AC, Abk. für: Alternating Current (engl.) = Wechselstrom

<sup>5</sup> Heinrich Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894

#### Wichtige Kenngrößen der Wechselstromtechnik

- Frequenz  $f$  (Seite 127)
- Periodendauer  $T$  (Seite 127)
- Scheitelwerte  $\hat{u}, \hat{i}$  (Seite 127 und 131)
- Augenblickswerte  $u, i$  (Seite 129 und 130)
- Effektivwerte  $U, I, P$  (Seite 131)
- Spitze-Tal-Wert  $\hat{u}$  (Seite 131)

Softwareaschenrechner: TReuropa.exe

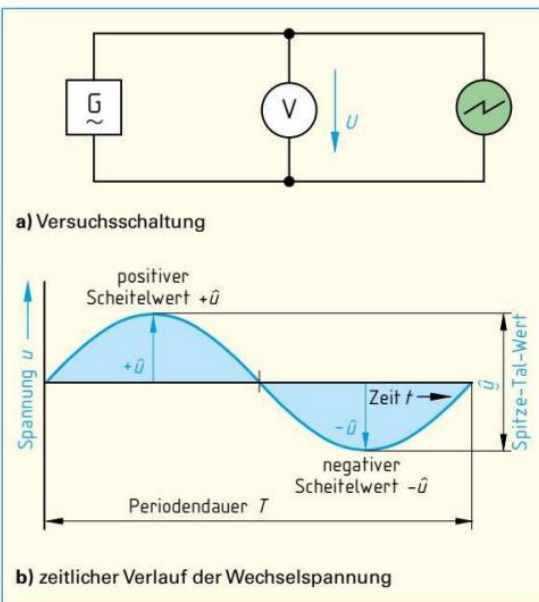


Bild: Wechselspannungsmessung

#### Frequenz und Periodendauer

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

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

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

$f$	Frequenz
$T$	Periodendauer, Zeitdauer einer vollständigen Schwingung



1 Hertz	= 1 Hz	= 1 Periode pro Sekunde	
1 Kilohertz	= 1 kHz	= 1 000 Hz	= 10 <sup>3</sup> Hz
1 Megahertz	= 1 MHz	= 1 000 000 Hz	= 10 <sup>6</sup> Hz
1 Gigahertz	= 1 GHz	= 1 000 000 000 Hz	= 10 <sup>9</sup> Hz

#### Beispiel:

Wie groß ist die Periodendauer eines Wechselstromes bei einer Netzfrequenz von 50 Hz?

#### Lösung:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = \frac{1}{50 \cdot \frac{1}{s}} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

Neben der Maßeinheit Hz für die Frequenz findet man auch c/s (cycles per second<sup>1</sup> = Perioden je Sekunde). Die Wechselspannung im Energieversorgungsnetz hat in Europa 50 Perioden je Sekunde (50 Hz). In den USA beträgt die Frequenz 60 Hz und in Japan 50 Hz oder 60 Hz. Die Deutsche Bahn betreibt ihr Fahrleitungsnetz mit 16,7 Hz. In der Elektrotechnik und Elektronik werden für verschiedene Anwendungen unterschiedliche Frequenzbereiche benutzt (**Tabelle**).

### 7.1.3 Frequenz und Wellenlänge

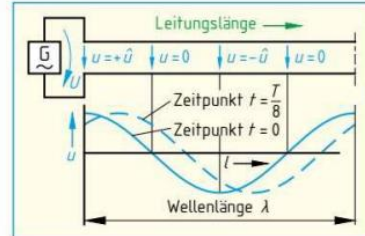
Wird an den Anfang einer parallelen Leitung aus zwei Leitern, deren Leiterabstand klein ist gegenüber der Leitungslänge, eine Wechselspannung gelegt, breitet sich die elektrische Energie entlang der Leitung in Form einer **elektromagnetischen Welle** (**Seite 418**) schnell aus.

Die **Ausbreitungsgeschwindigkeit**  $c$  ist vom Stoff abhängig, in dem sich die Welle ausbreitet. Bewegt sich die Welle z. B. in Luft, so ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle fast so groß wie die Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ . Die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle ist die Lichtgeschwindigkeit  $c_0 \approx 300\,000\text{ km/s}$ . Die Ausbreitung einer Wechselspannung auf einer Leitung ist als Welle darstellbar (**Bild**).

Der Weg, den die elektromagnetische Welle nach einer Periode zurückgelegt hat, nennt man **Wellenlänge**  $\lambda^2$ . Die Wellenlänge ist umso größer, je höher die Ausbreitungsgeschwindigkeit und je kleiner die Frequenz der Wechselspannung ist.

**i** **Frequenzen zur Energieversorgung (Beispiele)**

- Deutschland 50 Hz
- USA 60 Hz
- Japan 50 Hz oder 60 Hz
- Deutsche Bahn 16,7 Hz



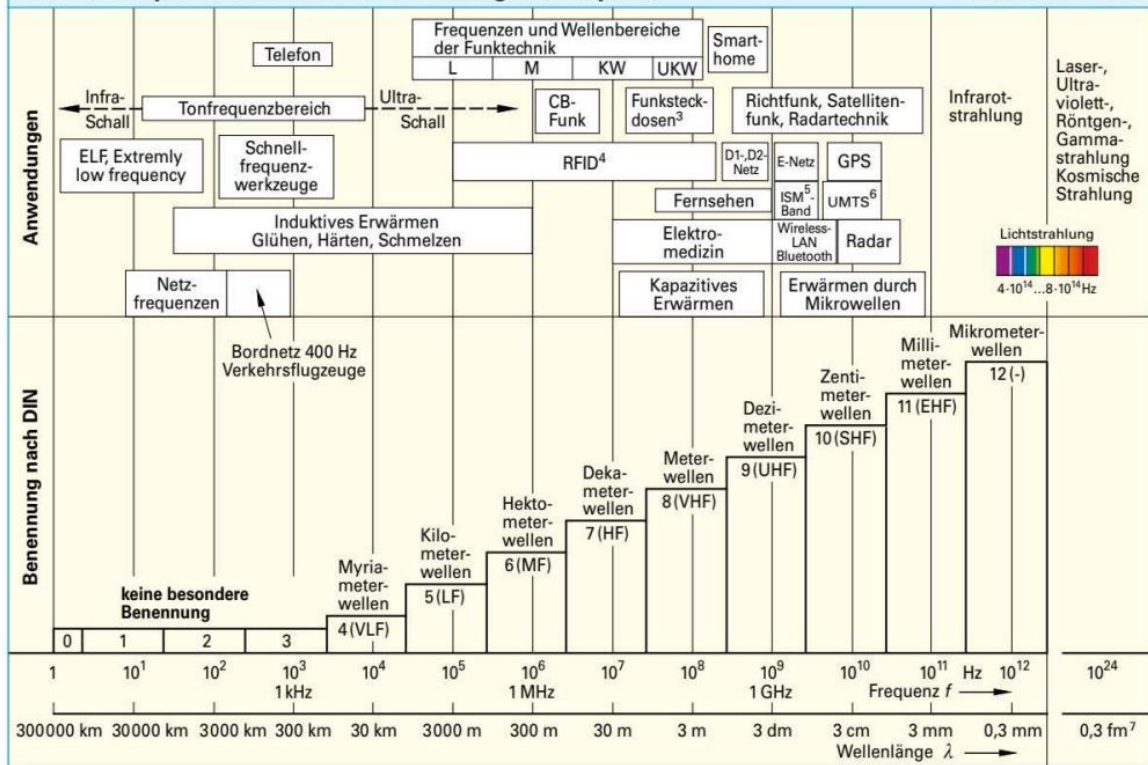
**Bild: Wechselspannungsverlauf entlang einer Leitung**

**Frequenz und Wellenlänge**

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\lambda] = \frac{\frac{m}{s}}{\frac{1}{s}} = m$$

$\lambda$  Wellenlänge  
 $c$  Ausbreitungsgeschwindigkeit  
 $f$  Frequenz

**Tabelle: Frequenzbereiche und Anwendungen (Beispiele) Nach DIN 40015**



<sup>1</sup> 1 c/s = 1 Hz <sup>2</sup>  $\lambda$  griech. Kleinbuchstabe lambda <sup>3</sup> Funksteckdosen, Frequenzen von 433 oder 868 MHz, auch 2,4 GHz <sup>4</sup> RFID (Radio Frequency Identification) zur Identifizierung ruhender oder bewegter Objekte mittels magnetischer oder elektromagnetischer Felder, 100 kHz bis 5,8 GHz <sup>5</sup> ISM, Abk. für: Industrial-Scientific-Medical = Frequenz für industrielle, wissenschaftliche oder medizinische Anwendungen <sup>6</sup> UMTS, Abk. für: Universal Mobile Telecommunications System <sup>7</sup> fm = Femtometer, 1 fm = 10<sup>-15</sup> m

## 7.2 Sinusförmige Wechselgrößen

**Versuch:** Stellen Sie über einen einstellbaren Trenntransformator die Wechselspannung  $U = 10\text{ V}$  ein. Schalten Sie die Spannung an den Eingang eines Oszilloskops und bilden Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung ab. Messen Sie die Periodendauer der Spannung.

Auf dem Schirm des Oszilloskops wird eine Spannung mit zeitlich sinusförmigem<sup>1</sup> Verlauf dargestellt (Bild 1). Die Periodendauer  $T$  der Wechselspannung ist  $T = 10\text{ div} \cdot 2\text{ ms/div} = 20\text{ ms}$ .

Eine Wechselspannung bzw. einen Wechselstrom mit zeitlich sinusförmigem Verlauf nennt man Sinusspannung bzw. Sinusstrom.

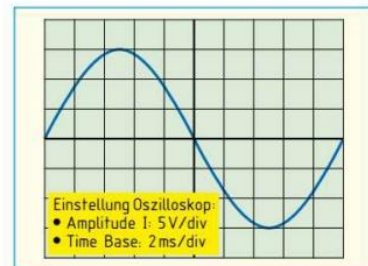


Bild 1: Oszillogramm einer sinusförmigen Wechselspannung

### 7.2.1 Zeigerdarstellung von Sinusgrößen

Sinusförmig verlaufende Vorgänge können vereinfacht als Zeiger dargestellt werden. Unter einem **Zeiger** versteht man eine gerichtete Größe (Pfeillinie), die man sich um ihren Anfangspunkt drehend vorstellt (Bild 2). Für Zeigerdarstellungen von Sinusspannungen und Sinusströmen gelten folgende Vereinbarungen:

- Die Zeigerlänge entspricht dem Scheitelwert  $\hat{u}$  der Wechselspannung bzw.  $\hat{i}$  des Wechselstromes.
- Die Drehzahl je Sekunde des umlaufenden Zeigers ist gleich der Frequenz des Wechselstromes bzw. der Wechselspannung.
- Die Drehrichtung des umlaufenden Zeigers ist entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn (Linksrotation ist positive Richtung).
- Die Ausgangsrichtung eines Zeigers ist die Richtung der Zeitachse.

Aus dem umlaufenden Zeiger kann die Sinuslinie der Wechselspannung bzw. des Wechselstromes konstruiert werden. Bei dem kleineren Kreis (Bild 2) ist der Radius z. B. so groß wie der Maximalwert  $\hat{u}$  (Scheitelwert) der Sinusspannung. Deshalb ist die Gegenkathete des Winkels  $\alpha$  im markierten rechtwinkligen Dreieck  $u = \hat{u} \cdot \sin \alpha$ . Der Augenblickswert  $u$  der Spannung in der Sinuslinie (Bild 2) entspricht dem senkrechten Abstand von der Zeitachse bis zur Sinuslinie. Die Abhängigkeit einer Größe von der Zeit wird durch Kleinbuchstaben, z. B.  $u$ ,  $i$ , hervorgehoben, eine Wechselspannung kann zusätzlich als Index (Beiwert) eine Wellenlinie erhalten, z. B.  $u_{\sim}$ <sup>2</sup>.

#### Augenblickswerte

Für Spannungen:

$$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha$$

Für Ströme:

$$i = \hat{i} \cdot \sin \alpha$$

$u, i$	Augenblickswerte
$\hat{u}, \hat{i}$	Scheitelwerte
$\sin \alpha$	Sinus des Drehwinkels $\alpha$

Augenblickswerte, z. B.  $u$ ,  $i$  oder  $p$ , werden mit Kleinbuchstaben bezeichnet.

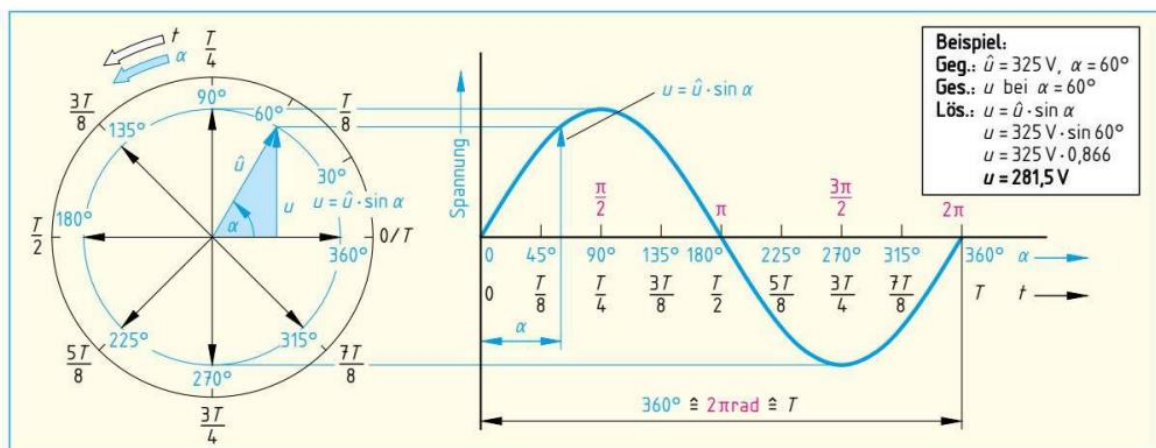


Bild 2: Zeigerbild und Linienbild einer Sinusspannung

<sup>1</sup> sinus (lat.) = Bogen  
<sup>2</sup>  $u_{\sim}$  (sprich: u-Wechsel)

### 7.2.2 Kreisfrequenz

Den **Drehwinkel**  $\alpha$  des Zeigers im **Bild 2, Seite 129** gibt man bei Wechselstrom- und Wechselspannungsberechnungen auch im **Bogenmaß** an.

Das Bogenmaß eines Winkels  $\alpha$  (Einheit rad<sup>1</sup>) ist die Länge des zugehörigen Kreisbogens in einem Kreis mit dem Radius  $r = 1$  (Einheitskreis).

Der Drehwinkel  $\alpha_B$  im Bogenmaß, in **Bild 1** z. B. 0,524 rad, verhält sich zum Vollwinkel  $2\pi$  rad wie der Drehwinkel im Gradmaß  $\alpha_G$ , z. B. 30°, zum Vollwinkel 360°. Aus dieser Beziehung kann das Bogenmaß berechnet werden, wenn das Gradmaß gegeben ist, und umgekehrt. Die Einheit rad des Bogenmaßes wird meist weggelassen.

Je höher die Frequenz einer Sinusschwingung ist, umso kürzer ist die Periodendauer und umso schneller dreht sich der dazugehörige Zeiger (**Bild 1**). Als Maß für die Geschwindigkeit der Zeigerbewegung wird in der Elektrotechnik meist die **Kreisfrequenz**  $\omega^2$  angegeben.

Die Kreisfrequenz (Winkel­frequenz) gibt an, welchen Drehwinkel im Bogenmaß ein Zeiger je Sekunde überstreicht.

#### Beispiel:

Eine Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz hat einen Scheitelwert  $\hat{u} = 34$  V. Berechnen Sie

- a) die Kreisfrequenz  $\omega$  und
- b) den Augenblickswert  $u$  bei der Zeit  $t = 7$  ms (Beachte: Taschenrechner auf RAD).

#### Lösung:

- a)  $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 \frac{1}{s} = 314 \frac{1}{s}$
- b)  $u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = 34 \text{ V} \cdot \sin(314 \frac{1}{s} \cdot 0,007 \text{ s})$   
 $u = 34 \text{ V} \cdot \sin 2,198 = 34 \text{ V} \cdot 0,81 = 27,5 \text{ V}$

### 7.2.3 Erzeugung von Sinusspannungen

Wechselspannungen mit zeitlich sinusförmigem Verlauf werden in der Energietechnik durch Induktion in Wechselspannungsgeneratoren erzeugt. Eine Leiterschleife wird in einem gleichförmigen (homogenen) Magnetfeld gedreht (**Bild 2**). Durch die Drehbewegung erfährt die Leiterschleife ständig eine Änderung des magnetischen Flusses mit zeitlich sinusförmigem Verlauf. Dadurch wird in der Leiterschleife eine Sinusspannung induziert.

Spannungserzeugung durch Induktion: siehe auch **Seite 93**

<sup>1</sup> rad, Abk. für: Radiant (Winkel­einheit) 1 rad = 180°/π  
<sup>2</sup>  $\omega$  griech. Kleinbuchstabe omega

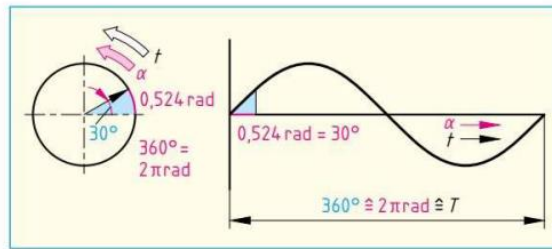


Bild 1: Einheitskreis und Bogenmaß

#### Gradmaß, Bogenmaß und Kreisfrequenz

$$\frac{\alpha_B}{2\pi} = \frac{\alpha_G}{360^\circ} \Rightarrow$$

$$\alpha_B = \frac{\alpha_G \cdot 2\pi}{360^\circ} \quad [\alpha_B] = \text{rad}$$

$$\alpha_G = \frac{\alpha_B \cdot 360^\circ}{2\pi} \quad [\alpha_G] = ^\circ (\text{Grad})$$

$$\omega = \frac{\text{Drehwinkel im Bogenmaß}}{\text{Zeitdauer}} = \frac{\alpha_B}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{mit } T = \frac{1}{f} \Rightarrow \quad \omega = 2\pi \cdot f \quad [\omega] = \frac{1}{s}$$

$\alpha_B$	Drehwinkel im Bogenmaß
$\alpha_G$	Drehwinkel im Gradmaß
$\omega$	Kreisfrequenz (Winkel­frequenz)
$t$	Zeit ab Nulldurchgang
$T$	Periodendauer
$f$	Frequenz

#### Augenblickswerte der Sinusgrößen

$$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha \quad \text{mit } \alpha = \omega \cdot t \Rightarrow \quad u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$i = \hat{i} \cdot \sin \alpha \quad \text{mit } \alpha = \omega \cdot t \Rightarrow \quad i = \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$u, i$	Augenblickswerte (Momentanwerte) der Sinusgrößen
$\hat{u}, \hat{i}$	Scheitelwerte der Sinusgrößen
$\omega$	Kreisfrequenz (Winkel im Bogenmaß pro Sekunde)
$t$	Zeit
$\alpha$	Drehwinkel

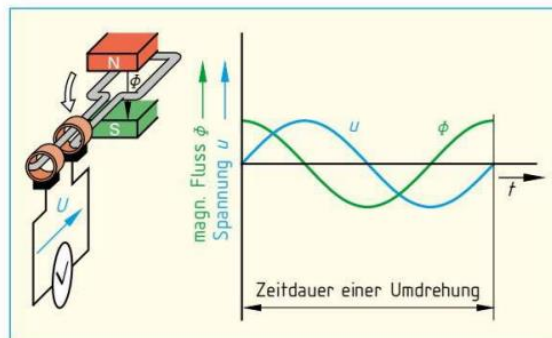


Bild 2: Prinzip der Spannungserzeugung

### 7.2.5 Zeitlicher Verlauf von Wechselgrößen

In der Elektrotechnik unterscheidet man insbesondere Rechteck-, Sinus- und Sägezahnspannungen (Bild 1).

Eine Wechselgröße liegt vor, wenn während einer Periode die Flächenanteile im positiven und negativen Bereich gleich groß sind.

In der Steuerungstechnik, Regelungstechnik und Datentechnik wird häufig mit **Spannungs-** und **Stromimpulsen** gearbeitet. Bei Spannungsimpulsen und bei Stromimpulsen ist eine Spannung oder ein Strom nur kurzzeitig vorhanden (Tabelle).

Nach einem Impuls folgt eine spannungslose bzw. eine stromlose Pause.

Bei einem **Pulsvorgang** folgen die Einzelimpulse periodisch aufeinander (Tabelle). Bei Wechselimpulsen wechselt der Strom bzw. die Spannung während einer Periode die Richtung.

Je nach Impulsform und Schwingungsanteil unterscheidet man verschiedene Impulse (Tabelle). In der Digitaltechnik werden häufig **Rechteckimpulse** und **Nadelimpulse** als Taktsignale verwendet. Nadelimpulse entstehen, wenn man z. B. eine RC-Schaltung mit Rechteckimpulsen (Bild 2) ansteuert.

In der Energietechnik werden **Sinusimpulse**, z.B. bei der E1U-Gleichrichtung (Seite 251), und **Schwingungspakete** bei Vielperiodensteuerungen (Seite 261) erzeugt.

Wichtige Impulsgrößen sind die Impulsdauer  $t_i$ , die Pausendauer  $t_p$ , die Periodendauer  $T$  (Tabelle) und der **Tastgrad**  $g$ . Bei Impulsen unterscheidet man die Vorderflanke, die Rückflanke und das Impulsdach (Bild 3). Die Impulsflanken sind umso steiler, je kürzer die **Anstiegszeit**  $t_r$ <sup>1</sup> und die **Abfallzeit**  $t_f$ <sup>2</sup> sind.

**Beispiel:**

Bei einem Generator beträgt die Impulsdauer 3 ms und die Pausendauer 5 ms. Berechnen Sie a) den Tastgrad  $g$  und b) die Frequenz  $f$ .

**Lösung:**

a)  $g = \frac{t_i}{T} = \frac{t_i}{t_i + t_p} = \frac{3 \text{ ms}}{3 \text{ ms} + 5 \text{ ms}} = 0,375$

b)  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_i + t_p} = \frac{1}{3 \text{ ms} + 5 \text{ ms}} = 125 \text{ Hz}$

<sup>1</sup> von to rise (engl. = ansteigen)  
<sup>2</sup> von to fall (engl. = fallen)

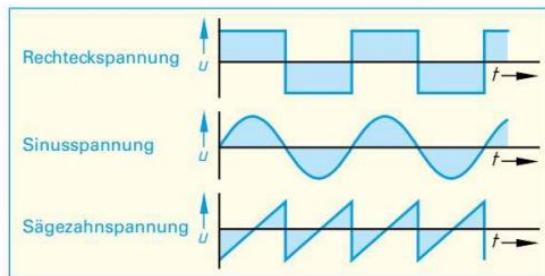


Bild 1: Wechselspannungsarten Beispiele

Tabelle: Impulsarten (Beispiele)	
Rechteckimpulse	
Nadelimpulse	
Sinusimpulse	
Schwingungspakete	

Pausendauer und Impulsdauer		
$g = \frac{t_i}{T}$	$T = t_i + t_p$	$f = \frac{1}{T}$
$g$ Tastgrad	$t_p$ Pausendauer	$f$ Frequenz
$T$ Periodendauer		
$t_i$ Impulsdauer		

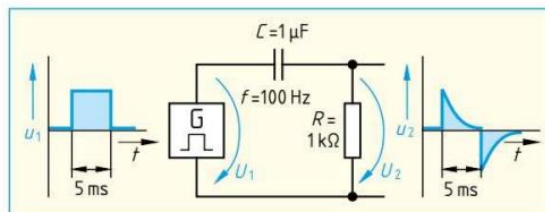


Bild 2: Erzeugung von Nadelimpulsen

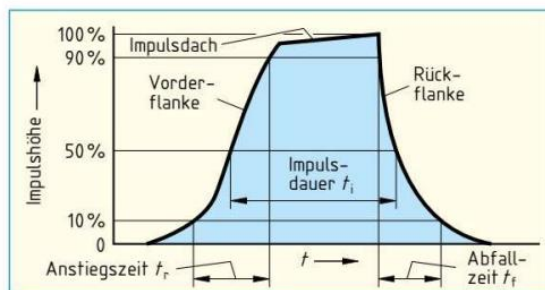
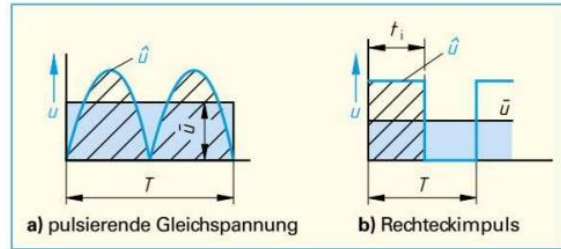


Bild 3: Kenngrößen beim Impuls

### 7.2.6 Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme

Bei nichtsinusförmigen Spannungen und Strömen unterscheidet man außer dem Effektiv- und Scheitelwert zusätzlich den arithmetischen Mittelwert (**Bild 1**).

Zur Bestimmung des arithmetischen Mittelwertes, z.B. bei der pulsierenden Gleichspannung (**Bild 1a**), werden die Flächen der beiden Halbwellen in ein Rechteck mit gleicher Fläche umgeformt. Die Höhe des Rechtecks ist der arithmetische Mittelwert der Spannung  $\bar{u}$ , der auch mit dem Index AV (Average Value, engl. = arithmetischer Mittelwert), z.B.  $U_{AV}$ , angegeben wird. Bei der Gleichrichtung wird dieser über eine Periode genommene Mittelwert auch als Gleichrichtwert, z.B.  $|\bar{u}|$  bezeichnet (**siehe auch ideale Leerlaufgleichspannung, Seiten 251 und 252**).



**Bild 1: Arithmetischer Mittelwert bei Gleichgrößen**

Das gleiche Verfahren wie bei der gleichgerichteten Spannung (**Bild 1a**) wendet man bei der Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes von Rechteck-, Dreieck- und Sägezahnimpulsen an (**Bild 1b und Tabelle**). Dieser arithmetische Mittelwert (Formelzeichen  $\bar{u}$ ) bezieht sich immer auf eine Periode und ist abhängig von der **Impulsdauer  $t_i$**  und der **Pausendauer  $t_p$** .

**Arithmetischer Mittelwert.** Der arithmetische (lineare) Mittelwert, z.B.  $\bar{u}$ ,  $\bar{i}$ , ist ein mittlerer Wert über eine vollständige Periode (**Bild 1**).

Bei Wechselgrößen, z.B. Sinusspannungen (**Tabelle**) ist die positive und die negative Fläche über eine Periode  $T$  gleich groß und hebt sich auf. Der Zeiger eines Gleichspannungsmessers, z.B. eines Drehspulmessgeräts, würde bei einer Wechselspannung kleiner Frequenz um den Nullpunkt hin und her pendeln und beim Messen einer Wechselspannung höherer Frequenz den arithmetischen Mittelwert Null anzeigen.

Der arithmetische (lineare) Mittelwert einer Wechselgröße, z.B. einer Sinusspannung, ist immer Null.

Tabelle: Kurvenformen und Kennwerte von Spannungen bzw. Strömen (Beispiele)							
Spannung	Effektivwert	Arith. Mittelwert	Crestfaktor	Spannung	Effektivwert	Arith. Mittelwert	Crestfaktor
	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$	$\bar{u} = 0$	$F_c = \sqrt{2}$		$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$	$\bar{u} = 0$	$F_c = \sqrt{3}$
	$U = \hat{u}$	$\bar{u} = 0$	$F_c = 1$		$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$	$\bar{u} = \frac{\hat{u}}{2}$	$F_c = \sqrt{3}$
	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$	$\bar{u} = \frac{\hat{u}}{2}$	$F_c = \sqrt{2}$		$U = \sqrt{\frac{t_i}{3 \cdot T}} \cdot \hat{u}$	$\bar{u} = \frac{t_i}{2 \cdot T} \cdot \hat{u}$	$F_c = \sqrt{\frac{3 \cdot T}{t_i}}$
	$U = \sqrt{\frac{t_i}{T}} \cdot \hat{u}$	$\bar{u} = \frac{t_i}{T} \cdot \hat{u}$	$F_c = \sqrt{\frac{T}{t_i}}$		$U = \frac{\hat{u}}{2}$	$\bar{u} = \frac{\hat{u}}{\pi}$	$F_c = 2$
	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$	$\bar{u} = 0$	$F_c = \sqrt{3}$		$U = \frac{\hat{u}}{2}$	$\bar{u} = \frac{2 \cdot \hat{u}}{\pi}$	$F_c = \sqrt{2}$

$\bar{u}$  arithmetischer Mittelwert;  $U$  Effektivwert;  $\hat{u}$  Scheitelwert;  $t_i$  Impulsdauer;  $t_p$  Pausendauer;  $T$  Periodendauer

Spannungen und Ströme bei Phasenanschnittsteuerungen: **Seite 260**

### 7.2.7 Phasenverschiebung

**Versuch 1:** Schalten Sie einen Kondensator  $C = 1 \mu\text{F}$  und einen Widerstand  $R = 100 \Omega$  in Reihe an eine Sinusspannung  $U = 10 \text{ V}$ ,  $f = 1,6 \text{ kHz}$  (Bild 1a). Stellen Sie mit einem Zweikanal-Oszilloskop den zeitlichen Verlauf der Spannung  $U$  und der Spannung  $U_w$  am Widerstand dar.

Die Nulldurchgänge der beiden Spannungen und die Zeitpunkte, zu denen die Scheitelwerte erreicht werden, sind zeitlich verschoben (Bild 1b).

Erreichen zwei periodische Vorgänge gleicher Frequenz zu verschiedenen Zeiten sowohl ihre Nulldurchgänge als auch zu verschiedenen Zeiten ihre Scheitelwerte, so sind die periodischen Vorgänge phasenverschoben (zeitlich verschoben). Die Größe der zeitlichen Verschiebung nennt man **Phasenverschiebung**<sup>1</sup>. Sie wird auch durch den **Phasenverschiebungswinkel**  $\varphi^2$  angegeben (Praxistipp, Seite 185).

Zwischen Sinusstrom und Sinusspannung besteht eine Phasenverschiebung, wenn Strom und Spannung zu verschiedenen Zeitpunkten ihre positiven Scheitelwerte erreichen.

### 7.2.8 Wirkwiderstand

**Versuch 2:** Legen Sie eine Signallampe, z. B. 6 V/3 W, an eine Gleichspannung von 6 V. Messen Sie Stromstärke und Spannung und berechnen Sie den Widerstand. Legen Sie dieselbe Lampe an eine 6-V-Wechselspannung mit der Frequenz 50 Hz. Messen Sie wieder Stromstärke und Spannung und berechnen Sie den Widerstand.

Der Widerstand der Lampe ist bei Gleichstrom und Wechselstrom gleich groß.

Einen Widerstand, der im Wechselstromkreis die gleiche Wirkung hat wie im Gleichstromkreis, bezeichnet man als **Wirkwiderstand**  $R$ . Am Wirkwiderstand sind Spannung und Strom phasengleich.

Ohmsche Widerstände sind Wirkwiderstände. Die zugeführte Energie wird vollständig in Wärme umgewandelt. Heizwiderstände sind z.B. Wirkwiderstände. Wirkwiderstände können aus den Effektivwerten von Strom  $I_w$  und Spannung  $U_w$  mit der Formel  $R = \frac{U_w}{I_w}$  berechnet werden.

### 7.2.9 Scheinwiderstand

**Versuch 3:** Schließen Sie eine Spule ohne Eisenkern nacheinander an 10-V-Gleichspannung und 10-V-Wechselspannung mit der Frequenz  $f = 50 \text{ Hz}$  an. Messen Sie jeweils Strom und Spannung.

Bei Anschluss an Gleichspannung entspricht der Widerstandswert dem Wirkwiderstand der Spule. An Wechselspannung kommt durch die Selbstinduktion (Seite 135) ein zusätzlicher Widerstand hinzu. Folglich ist der Strom bei Wechselspannung kleiner, er wird durch die Spule stärker gedrosselt.

Der Widerstand der Spule ist an Sinusspannung größer als bei Gleichspannung. Den Widerstand bei Sinusstrom nennt man **Scheinwiderstand**  $Z$  (Impedanz<sup>3</sup>).

Der **Scheinwiderstand**  $Z$  ist eine Rechengröße und wird aus den Effektivwerten von Sinusstrom  $I$  und Sinusspannung  $U$  berechnet (Bild 2).

#### Beispiel:

Berechnen Sie den Scheinwiderstand  $Z$  nach Versuch 3, wenn eine Sinusspannung von  $U = 10 \text{ V}$  anliegt und ein Sinusstrom von  $I = 8 \text{ mA}$  fließt.

#### Lösung:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{10 \text{ V}}{8 \text{ mA}} = 1,25 \text{ k}\Omega$$

Der Scheinwiderstand  $Z$  einer Spule besteht aus dem Wirkwiderstand  $R$  und einem zusätzlichen Widerstand, dem induktiven Blindwiderstand  $X_L$  (Seite 135).

<sup>1</sup> Phasis (griech.) = Erscheinung, augenblicklicher Zustand, Anzeige  
<sup>2</sup>  $\varphi$  griech. Kleinbuchstabe phi <sup>3</sup> von impedire (lat.) = hindern, hemmen

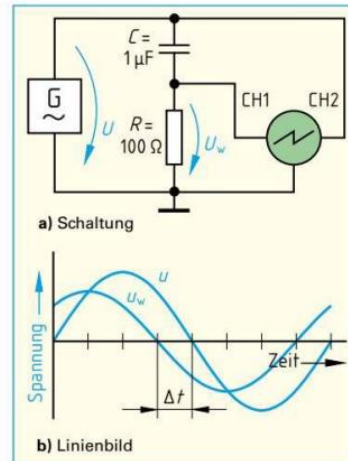


Bild 1: Versuch zur Phasenverschiebung

#### Wirkwiderstand

$$R = \frac{U_w}{I_w} \quad [R] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$$

$R$  Wirkwiderstand  
 $U_w$  Wirkspannung  
 $I_w$  Wirkstrom

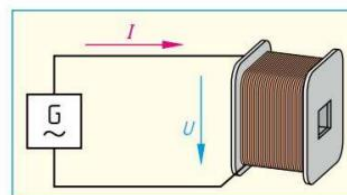


Bild 2: Spule an Wechselspannung

#### Scheinwiderstand

$$Z = \frac{U}{I} \quad [Z] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$$

$Z$  Scheinwiderstand  
 $U$  Effektivwert der Sinusspannung  
 $I$  Effektivwert des Sinusstromes

## 7.4 Leistungen im Wechselstromkreis

In Wechselstromkreisen unterscheidet man die Wirkleistung  $P$ , die induktive oder die kapazitive Blindleistung  $Q_L$  bzw.  $Q_C$  (Seite 148) und die Scheinleistung  $S$ .

### 7.4.1 Wirkleistung

Schaltet man einen Wirkwiderstand (**Bild 1**) in einen Wechselstromkreis, so entsteht Wirkleistung  $P$ . Spannung  $U_w$  und Strom  $I_w$  sind phasengleich (**Bild 2**), d. h. der Phasenverschiebungswinkel  $\varphi = 0^\circ$ .

Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom  $i_w$  und Spannung  $u_w$  erhält man die Augenblickswerte der Leistung bei Wechselstrom. Das Liniensbild der Wirkleistung  $p$  ist immer positiv (**Bild 2**). Die Leistung hat jedoch die doppelte Frequenz wie die Spannung. Sie kann deswegen nicht mit Strom und Spannung in ein gemeinsames Zeigerbild gezeichnet werden.

Positive Leistung bedeutet einen Energiefluss vom Erzeuger zum Verbraucher.

Die Wechselstromleistung hat den Scheitelwert  $\hat{p} = \hat{u}_w \cdot \hat{i}_w$ . Wandelt man die Sinuskurve von  $p$  in ein flächengleiches Rechteck um, erhält man die gleichwertige Gleichstromleistung, die dem Effektivwert der Wirkleistung  $P$  entspricht (**Bild 2**). Die Wirkleistung an dem Wirkwiderstand ist halb so groß wie der Scheitelwert  $\hat{p}$  der Leistung.

#### Beispiel:

Die Kochzone eines Ceranfeldes für 230 V soll überprüft werden. Dazu wurde ein Widerstand von  $24 \Omega$  gemessen. Ermitteln Sie a) den Scheitelwert des Stromes  $\hat{i}_w$ , b) die Leistung  $P$  und c) den Scheitelwert  $\hat{p}$  der Leistung.

#### Lösung:

- a)  $I_w = \frac{U_w}{R} = \frac{230 \text{ V}}{24 \Omega} = 9,58 \text{ A}; \hat{i}_w = \sqrt{2} \cdot I_w = \sqrt{2} \cdot 9,58 \text{ A} = 13,54 \text{ A}$   
 b)  $P = U_w \cdot I_w = 230 \text{ V} \cdot 9,58 \text{ A} = 2203 \text{ W} = 2,2 \text{ kW}$   
 c)  $\hat{p} = 2 \cdot P = 2 \cdot 2203 \text{ W} = 4406 \text{ W} = 4,4 \text{ kW}$

### 7.4.2 Blindleistung

Im Versorgungsnetz befinden sich neben Wirkverbrauchern vor allem auch induktive Verbraucher, z. B. Motoren, Relais und Leuchtstofflampen.

Zur Erzeugung eines elektromagnetischen bzw. elektrischen Feldes ist bei Wechselstrom Blindleistung notwendig. Sie kann in keine andere Energieform, z. B. Wärme, umgewandelt werden.

Befindet sich eine reine Induktivität (**Bild 3**) oder eine reine Kapazität im Wechselstromkreis, beträgt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung  $90^\circ$ .

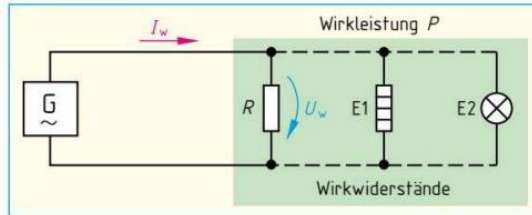


Bild 1: Wirkwiderstand an Wechselspannung

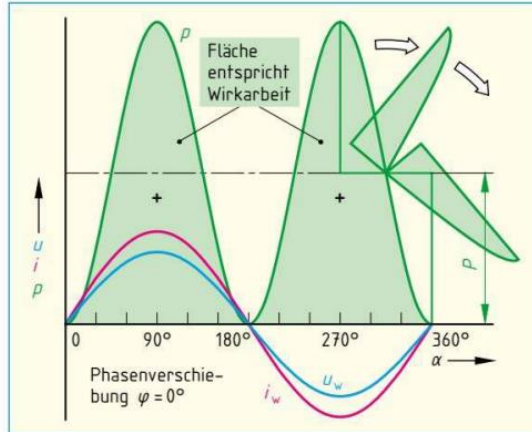


Bild 2: Wechselstromleistung bei Wirklast

Wirkleistung	
$P = U_w \cdot I_w$	$[P] = \text{W}$
$\hat{p} = 2 \cdot P$	$\hat{p} = \hat{u}_w \cdot \hat{i}_w$
$\hat{u}_w = \sqrt{2} \cdot U_w$	$\hat{i}_w = \sqrt{2} \cdot I_w$
$R = \frac{U_w}{I_w}$	
$P$	Wirkleistung
$U_w, I_w$	Spannung, Strom (Effektivwerte)
$R$	Wirkwiderstand (ohmscher Widerstand)
$\hat{p}, \hat{i}_w, \hat{u}_w$	Leistung, Strom, Spannung (Scheitelwerte)
$\sqrt{2}$	Scheitelfaktor

Leistungen bei induktiver Last: Seite 142

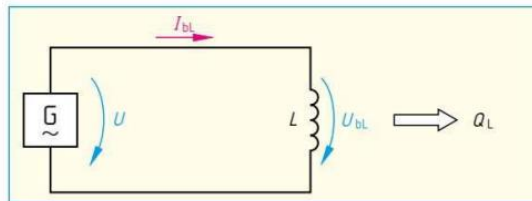


Bild 3: Ideale Spule an Wechselspannung

Blindleistung	
$Q_L = U_{bl} \cdot I_{bl}$	$[Q_L] = \text{var}^1 = \text{W}$
$X_L = \frac{U_{bl}}{I_{bl}}$	
$Q_L$	induktive Blindleistung
$U_{bl}$	induktive Blindspannung
$I_{bl}$	induktiver Blindstrom
$X_L$	induktiver Blindwiderstand

<sup>1</sup> nach DIN 1304 anstelle von W auch var und VA (Voltampere)  
 var = Volt Ampere reaktiv; reaktiv (lat.) = rückwirkend

Multipliziert man die zusammengehörigen Augenblickswerte von Spannung und Strom, ergibt sich eine Sinuskurve. Die positiven und negativen Flächenteile haben die gleiche Größe (**Bild 1**). Der Mittelwert der Leistung, d.h. die Wirkleistung  $P$  ist dann null. Die auftretende Leistung an der Induktivität oder Kapazität nennt man induktive bzw. kapazitive Blindleistung  $Q_L$  bzw.  $Q_C$  (**Seite 142 und 145**). Zwischen  $90^\circ$  und  $180^\circ$  sowie zwischen  $270^\circ$  bis  $360^\circ$  wird elektrische Energie in magnetische Energie umgewandelt und das Magnetfeld der Spule aufgebaut (**Bild 1**). Ab  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  sowie  $180^\circ$  bis  $270^\circ$  wird das Magnetfeld abgebaut. Dabei entsteht eine Selbstinduktionsspannung, die den Strom entgegengesetzt zur angelegten Spannung treibt. Die magnetische Energie wird in elektrische umgewandelt und der Stromquelle wieder zugeführt. Die ganze Energie pendelt zweimal in einer Periode zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.

### 7.4.3 Scheinleistung

**Versuch:** Schließen Sie eine Spule, z.B. mit 1000 Windungen, an Wechselspannung 10 V/50 Hz an (**Bild 2**). Messen Sie Stromstärke, Spannung und Leistung mit dem Leistungsmesser. Vergleichen Sie das Produkt aus Spannung und Stromstärke mit der Anzeige des Leistungsmessers.

Die berechnete Scheinleistung ist größer als die Anzeige des Leistungsmessers.

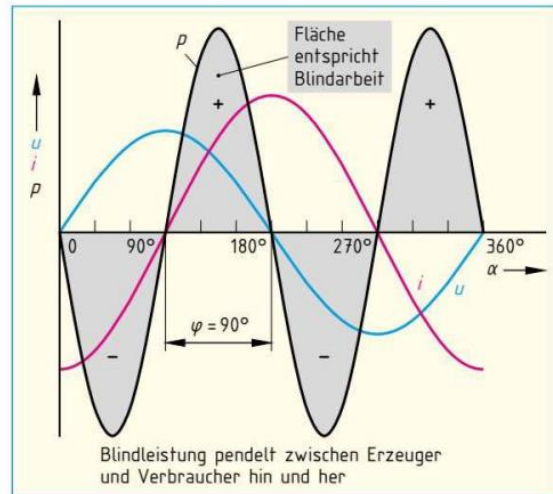
Die Scheinleistung  $S$  ist das Produkt der Effektivwerte von Spannung und Stromstärke.

Der Leistungsmesser zeigt die **Wirkleistung**  $P$  an, die so groß ist wie der Mittelwert aller Augenblickswerte  $p = u \cdot i$ . Die Wirkleistung  $P$  ist deshalb bei einer Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung immer kleiner als die **Scheinleistung**  $S$ .

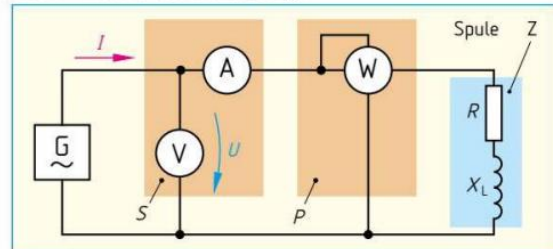
Während der Periodenabschnitte mit positiver Leistung wird Energie aus dem Netz entnommen. Negative Leistung bedeutet, dass die Energie an das Netz zurück geliefert wird (**Bild 1**). Die Differenz zwischen der positiven Energie und der negativen Energie wird in der Spule in Wirkarbeit (Wärme) umgesetzt (**Bild 3, grüne Linie**).

Bei induktiven Verbrauchern im Wechselstromnetz, z.B. Motoren in Haushaltsgeräten, treten Wirk- und Blindleistung gemeinsam auf. Diese Gesamtleistung bezeichnet man als Scheinleistung und hat die Einheit VA (Voltampere). Die Scheinleistung entspricht der **geometrischen Summe** aus Wirkleistung und Blindleistung (**siehe Seite 142**).

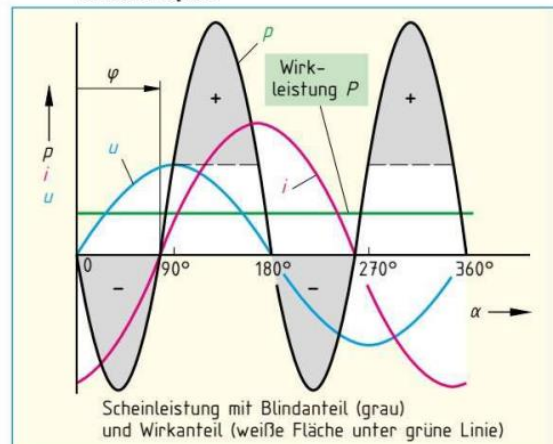
Die Scheinleistung  $S$  ist entscheidend für die Belastung der elektrischen Leitungsnetze. Deshalb müssen z.B. Transformatoren, Generatoren, Schaltanlagen und Leiterquerschnitte für die auftretende Scheinleistung dimensioniert sein.



**Bild 1: Induktive Blindleistung**



**Bild 2: Ermittlung der Wirkleistung und Scheinleistung an einer Spule**



**Bild 3: Wirkleistung  $P$  (Phasenverschiebungswinkel  $\varphi = 80^\circ$ )**

**Kompensation: Seite 164**

#### Scheinleistung

$$S = U \cdot I$$

$$[S] = V \cdot A = VA$$

$$S^2 = P^2 + Q_L^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$

$S$  Scheinleistung

$U$  Spannung (Effektivwert)

$I$  Strom (Effektivwert)

$P$  Wirkleistung

$Q_L$  induktive Blindleistung

## 8.3 Oszilloskop

Das Oszilloskop ist ein Messgerät zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs einer Spannung. Die Abbildung am Oszilloskop nennt man Oszillogramm.

Nach ihrem technischen Aufbau unterscheidet man:

- Analog-Oszilloskope (**Bild 1**) und
- Digital-Oszilloskope (**Seite 183**).

Analoge Oszilloskope werden heute überwiegend durch digitale Oszilloskope (DSO)<sup>1</sup> ersetzt.

### 8.3.1 Analog-Oszilloskop

Beim analogen Oszilloskop werden die Messspannungen analog verstärkt und durch die Elektronenstrahlröhre angezeigt. Bei der Auswahl eines Oszilloskops sind mögliche Betriebsarten und technische Daten (**Übersicht**) zu beachten.

#### Aufbau eines Analog-Oszilloskops (Bild 2)

Ein Analog-Oszilloskop enthält die Baugruppen:

- Anzeigeeinheit (Elektronenstrahlröhre),
- Vertikalablenkverstärker (Y-Verstärker),
- Horizontalablenkverstärker (X-Verstärker),
- Zeitablenkgenerator und
- Netzteil.

Die **Elektronenstrahlröhre** ist der Bildschirm (Leuchtschirm) eines Oszilloskops. Sie besteht aus einem luftleeren, keulenförmigen Glaskolben. Im Kolbenhals befindet sich eine elektrisch beheizte Katode, die Elektronen aussendet (Elektronenemission). Diese Elektronen werden durch Fokussierelektroden<sup>2</sup> gebündelt und zum Leuchtschirm beschleunigt.

**Vertikalablenkverstärker** müssen Gleich- und Wechselspannungen verstärken und die Spannungen für die Y-Ablenkplatten liefern.

**Horizontablenkverstärker** liefern die nötige Spannung für die X-Ablenkplatten.

**Zeitablenkgenerator** erzeugt eine Sägezahnspannung mit einstellbarer Frequenz, da der Elektronenstrahl in gleichen zeitlichen Abständen, z. B. 2 ms/cm, stetig um jeweils die gleiche Strecke waagrecht über den Bildschirm gesteuert werden muss. Dadurch erreicht man mithilfe der Triggerung ein stehendes Bild auf dem Bildschirm.

**Netzteil** des Oszilloskops liefert die Betriebsspannung für die elektronischen Baugruppen sowie die Heiz- und Anodenspannung, z. B. 15 kV, für die Elektronenstrahlröhre.

Oszilloskopbildschirme haben meist eine Größe von 10 cm x 8 cm. Der Eingangswiderstand von Oszilloskopen beträgt 1 M $\Omega$ .

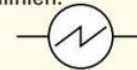
<sup>1</sup> DSO, Abk. für: Digital Storage Oscilloscope (engl.) = Digitales Speicher-Oszilloskop

<sup>2</sup> Focus (lat.) = Brennpunkt

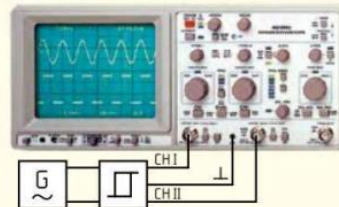
**i** Mit dem Oszilloskop kann man messen, darstellen bzw. bestimmen (Beispiele):

Spannungen, Ströme, Periodendauer, Frequenzen, Phasenverschiebungen, Kennlinien.

Schaltzeichen Oszilloskop:



#### Analog-Oszilloskop

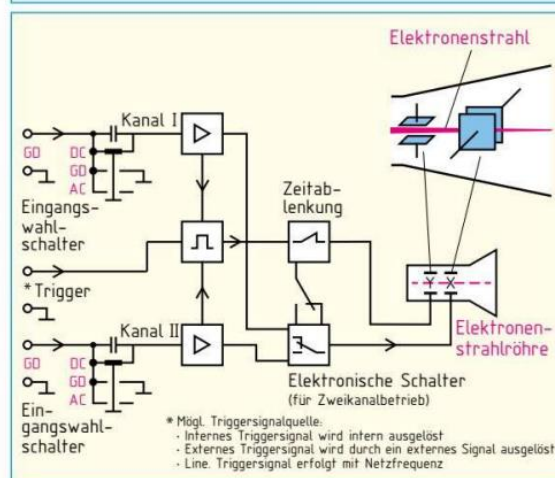


**Bild 1: Messen an einem Schmitt-Trigger**

#### Technische Daten (Auswahl)

- **Vertikal-Ablenkung**  
**Betriebsarten:** Kanal I (CH I) oder Kanal II (CH II) einzeln, Kanal I und Kanal II alternierend oder chop  
**Summe oder Differenz** von CH I und CH II  
**XY-Betrieb:** über CH I und CH II; CH II invertierbar  
**Bandbreite:** 2 x 0 ... 40 MHz (-3 dB)  
**Anstiegszeit:** 7 ns, Überschwängen: < 1 %  
**Ablenkkoeffizienten:** 14 kalibrierte Stellungen  
 1 mV/div ... 20 V/div  $\pm 3$  %  
**Eingangsimpedanz:** 1 M $\Omega$  || 20 pF  
**Eingangskopplung:** DC - AC - GD (Ground)  
**Eingangsspannung:** max. 400 V
- **Horizontal-Ablenkung**  
**Zeitkoeffizienten:** 21 kalibrierte Stellungen von 0,5 s/cm bis 100 ns/cm  $\pm 3$  % (1-2-5 Teilung),  
**Bandbreite X-Verstärker:** 0 ... 2,5 MHz (-3 dB)
- **Zusätzliche Angaben**  
**Bildschirm:** 10 x 8 cm, Innenraster,  
**Beschleunigungsspannung:** 2000 V  
**Kalibrator:** Rechteckgenerator 1 kHz/MHz;  
**Ausgang:** 0,2 V  $\pm 1$  %

\* div, Abk. für: division (engl.) = Teilung



**Bild 2: Aufbau eines Analog-Oszilloskops**

### 8.3.2 Digital-Oszilloskop

Beim Digital-Oszilloskop (**Bild 1**) werden die analogen Eingangssignale digitalisiert, verarbeitet, gespeichert und analog auf einem LCD<sup>1</sup>-Bildschirm angezeigt.

Durch die Speicherung ergeben sich Vorteile (**Übersicht**).

#### Aufbau eines Digital-Oszilloskops (Bild 2)

Beim Digitalspeicher-Oszilloskop ist der Signalweg vom Eingang bis zum Analog-Digital-Umsetzer (ADU) analog, vom Analog-Digital-Umsetzer bis zur Anzeigeeinheit digital. Das analoge Messsignal wird analog verstärkt und Störfrequenzen analog herausgefiltert. Im Analog-Digital-Umsetzer (**Seite 241**) wird das analoge Messsignal in festen Zeitintervallen abgetastet (**Bild 3**) und die Amplitudenwerte in einem Halbleiterspeicher, einem RAM (**Seite 530**) zwischengespeichert. Der Mikroprozessor (CPU) setzt die Amplitudenwerte für die Anzeige zusammen.

Die **Abtastrate**  $f_a$ , z.B. 2 GS/s<sup>2</sup>, ist ein wichtiger Kennwert des DSO und gibt an, wie oft das Eingangssignal in einer Sekunde digitalisiert wird. In der Praxis soll die Abtastrate das 10-fache der Frequenz des Eingangssignals betragen.

#### Beispiel 1:

Ein Messsignal hat eine Frequenz  $f = 100$  MHz. Welche Größe sollte die Abtastrate  $f_a$  in der Praxis haben?

#### Lösung:

$$f_a = n \cdot f = 10 \cdot 100 \text{ MHz} = 1 \text{ GHz} \text{ (1 GS/s)}$$

Bei der Digitalisierung werden die Amplitudenwerte durch einen ADU in digitale Werte mit einer Auflösung von z.B. 8, 10 oder 12 Bit umgesetzt.

#### Beispiel 2:

Ein 12-Bit-ADU hat eine Auflösung von  $2^{12}$ . Wie groß ist die kleinste darstellbare Messgröße bei einer Spannung von  $U = 10$  V?

#### Lösung:

$$2^{12} = 4096 \Rightarrow \text{kleinste darstellbare Messgröße: } \frac{10 \text{ V}}{4096} = 0,0024 \text{ V} = \mathbf{2,4 \text{ mV}}$$

Die digitalen Signaldaten können z.B. auf einem USB-Stick dauerhaft gespeichert oder auch mittels USB-Schnittstelle auf einen PC übertragen und in mathematischen Algorithmen, z.B. einer Frequenzanalyse, weiterverarbeitet werden. In höherwertigen DSO sind diese Möglichkeiten oft schon vorhanden.

<sup>1</sup> LCD, Abk. für: Liquid Crystal Display (engl.) = Flüssigkristallanzeige  
<sup>2</sup> GS/s, Abk. für: Gigasamples pro Sekunde (sample, engl. = Abtastung)



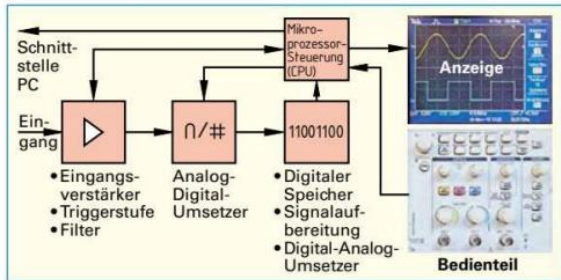
**Bild 1: Messen an einem Verstärker**

#### Technische Daten (Auswahl)

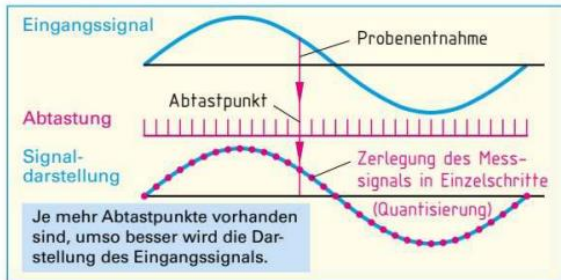
- LCD-Farbbildschirm: 7-Zoll (etwa 18 cm)
- Bandbreite: 200 MHz
- Abtastrate: 2 GS/s
- Aufzeichnungslänge: 2500 Punkte
- Eingangsspannung: max. 300 V
- Eingangsimpedanz: 1 MΩ parallel 20 pF
- Zeitbasisbereich: 5 ns/div bis 50 s/div

#### Übersicht: Vorteile digitaler Oszilloskope (Beispiele)

- Eingangssignale können gespeichert werden.
- Anzeige von Daten, z.B. von Spannungs- und Zeitwerten.
- Eingangssignale können beliebig gedehnt werden.
- Teile des Eingangssignals können groß dargestellt werden.
- Eingangssignale können über den Bildschirm geschoben werden (Bilddurchlauf).
- Eingangssignale sind bereits vor dem Triggerzeitpunkt sichtbar (Pre-Trigger-Betrieb).
- Datenausgabe an einen Drucker möglich.
- Einfache Erfassung einmaliger Ereignisse, z.B. Spikes (Spannungsspitzen).
- Automatische Bereichseinstellung (Auto-Setup).
- USB-Flash-Laufwerksanschluss für die Dateispeicherung.
- PC-Kommunikation über den USB-Geräteanschluss.
- Mathematische Funktionen, z.B. Operatoren +, – und mal.



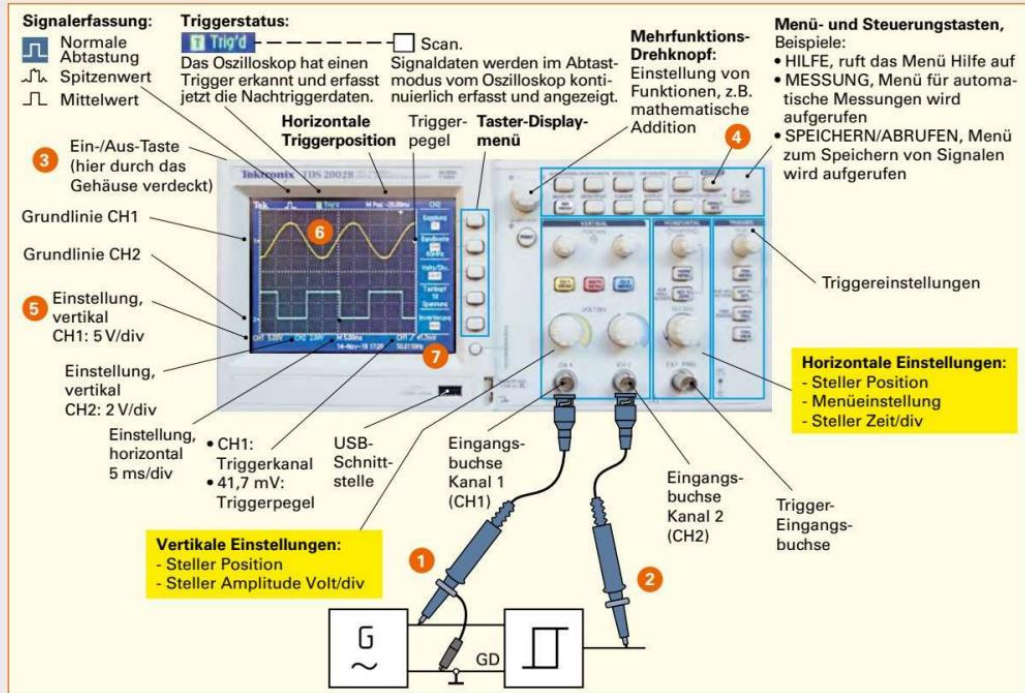
**Bild 2: Blockschaltbild**



**Bild 3: Abtastung einer Wechselspannung**


**Situationsbeschreibung:**

Mit einem digitalen Oszilloskop soll an einer elektronischen Schaltung, z. B. an einem Schwellwertschalter (Seite 214), gemessen werden. **a)** Beschreiben Sie die Vorgehensweise. **b)** Bestimmen Sie mithilfe des Oszilloskopbildes die Eingangsspannung  $U$  und **c)** die Frequenz  $f$  der Ausgangsspannung



**Triggenung:** Zum Bestimmen des Startpunktes des Messsignals auf dem Bildschirm (Display). Auf dem Leuchtschirm erscheint nur dann eine ruhig stehende Kurve, z. B. eine Sinuslinie, wenn die Messspannung immer von der gleichen Stelle am Bildschirm des Oszilloskops beginnend dargestellt wird. Dies erzwingt man durch Triggenung. Mit dem Steller „Pegel“ kann der Startpunkt des Messsignals verschoben werden.

**a) Durchführung der Messung**

- 1 Tastkopf 1 an die Eingangsbuchse Kanal 1 (CH1) und an das Eingangssignal gegen Ground (GD) anschließen.  
**Hinweis:** Tastköpfe verbinden das Oszilloskop mit der Prüfschaltung. Durch eine abgeschirmte Messleitung wird die Beeinflussung durch Störsignale verringert. Bei Tastköpfen mit einem integrierten Spannungsteiler (Tasteteiler), z. B. 10 : 1, beträgt der Eingangswiderstand etwa 10 M $\Omega$ . Dadurch wird das Messobjekt wenig belastet und die Messspannung im Verhältnis von 10 : 1 herabgesetzt. Somit lassen sich höhere Spannungen messen, z. B. 600 V, je nach Hersteller. Tasteteiler haben meist einen Schalter zum Umschalten des Teilverhältnisses zwischen 1 : 1 und 10 : 1.
- 2 Tastkopf 2 an die Eingangsbuchse Kanal 2 (CH2) und an das Ausgangssignal anschließen.
- 3 Das Oszilloskop mit der „Ein-Aus-Taste“ einschalten.
- 4 Taste „AUTOSET“ betätigen, nachdem der Selbsttest des Oszilloskops beendet ist.  
**Hinweis:** Wird die Taste „AUTOSET“ einmalig betätigt, identifiziert das Oszilloskop die Signalart und stellt sich selbst so ein, dass eine brauchbare Anzeige des Eingangssignals auf dem Bildschirm erscheint.

**b) Bestimmen der Spannung  $U$** 

- 5 Einstellung Kanal 1 (CH1): 5 V/div
- 6 Ablesung: 2 V/div  $\Rightarrow \hat{u} = 5 \text{ V/div} \cdot 2 \text{ div} = 10 \text{ V}$ ;  $\hat{u} = \hat{u}/2 = 5 \text{ V}$ ;  $U = 0,707 \cdot \hat{u} = 0,707 \cdot 5 \text{ V} = 3,5 \text{ V}$

**c) Ermitteln der Frequenz  $f$** 

- 7 Frequenz  $f$ :  $f = 50,011 \text{ Hz}$  (durch Ablesung)

**Messschaltungen Oszilloskop (Beispiele)**

Schaltungsaufbau	Anzeige und Einstellungen	Hinweise und Auswertung
<b>Messen einer Gleichspannung U</b>		
	<p>Einstellung Oszilloskop:                      • 5 V/div*                      *div. Abk. von divit (Teil, Rastereinheit des Bildschirms)</p>	<p>Gleichspannungen werden in der Einstellung <b>DC</b> gemessen.</p> <p><b>Beispiel:</b>                      Gleichspannung <math>U</math>:  <math>U = 5 \frac{\text{V}}{\text{div}} \cdot 3 \text{ div} = 15 \text{ V}</math></p>
<b>Messen von Wechselspannung <math>\hat{u}</math> und Periodendauer <math>T</math>, bestimmen der Spannung <math>U</math> und Frequenz <math>f</math></b>		
	<p>Einstellung Oszilloskop:                      • Amplitude 1: 2 V/div                      • Time Base: 2 ms/div</p>	<p>Wechselspannungen werden in der Einstellung <b>AC</b> gemessen.</p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>\hat{u} = 2 \frac{\text{V}}{\text{div}} \cdot 3 \text{ div} = 6 \text{ V}; \quad U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = \frac{6 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 4,2 \text{ V}</math>  <math>T = 2 \frac{\text{ms}}{\text{div}} \cdot 10 \text{ div} = 20 \text{ ms}; \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \text{ ms}} = 50 \text{ Hz}</math></p>
<b>Bestimmen von Strömen</b>		
	<p>Einstellung Oszilloskop:                      • 50 mV/div</p>	<p>Man misst die Spannung <math>\hat{u}</math> an einem bekannten Widerstand, z.B. <math>1 \Omega</math>, und berechnet den Strom <math>I</math> mithilfe des ohmschen Gesetzes.</p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>\hat{u} = 50 \frac{\text{mV}}{\text{div}} \cdot 3 \text{ div} = 150 \text{ mV} = 0,15 \text{ V}</math>  <math>U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = \frac{0,15 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 0,1 \text{ V}; \quad I = \frac{U}{R} = \frac{0,1 \text{ V}}{1 \Omega} = 0,1 \text{ A}</math></p>
<b>Bestimmen der Phasenverschiebung <math>\varphi</math></b>		
		<p>Auf dem Bildschirm misst man den Abstand <math>\Delta x \cong \varphi</math> multipliziert mit <math>360^\circ</math> und teilt ihn durch die Länge <math>x_T</math>.</p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>\varphi = \frac{\Delta x \cdot 360^\circ}{x_T} = \frac{2 \text{ div} \cdot 360^\circ}{8 \text{ div}} = 90^\circ</math></p>
<b>Bestimmen des Zündwinkels <math>\alpha</math> an einer Phasenanschnittsteuerung</b>		
		<p>Bei Messungen im Energiebereich ist das Messobjekt, z.B. ein Dimmer, über einen Trenntransformator anzuschließen.                      Die Bestimmung des Zündwinkels <math>\alpha</math> erfolgt wie beim Messen der Phasenverschiebung.</p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>\alpha = \frac{\Delta x \cdot 360^\circ}{x_T} = \frac{1 \text{ div} \cdot 360^\circ}{7 \text{ div}} = 51^\circ</math></p>