

Moderne Oszilloskop-Meßtechnik Teil 3

Die wesentlichen Begriffe der Oszilloskop-Meßtechnik und die dahinterstehenden Möglichkeiten beschreibt der vorliegende Artikel.

4. Oszilloskop-Terminologie

Messungen mit Oszilloskopen ermöglichen tiefgreifende Einblicke in die zu untersuchenden Schaltungen. Im vorliegenden Kapitel wollen wir zunächst einige wesentliche Begriffe der Oszilloskop-Meßtechnik und die dahinterstehenden Möglichkeiten erläutern.

4.1 Meßbegriffe

Der Oberbegriff für ein periodisch wie-

derkehrendes Ereignis lautet „Welle“. Schallwellen, Hirnwellen, Meereswellen und Spannungswellen sind Beispiele für periodische Erscheinungen. Ein Oszilloskop mißt Spannungswellen. Eine „Periode“ ist der Teil einer Welle, der ständig wiederkehrt.

Ein „Signalabbild“ ist die grafische Darstellung einer Welle. Bei einem Spannungssignal wird die Zeit auf der horizontalen (X) Achse und die Spannung auf der vertikalen (Y) Achse angegeben. Die Kurvenform ermöglicht wesentliche Aussagen

über ein Signal. Eine Veränderung der Höhe des Signalabbildes sagt aus, daß sich die Spannung verändert hat. Beim Auftreten einer geraden horizontalen Linie weiß man, daß über diesen bestimmten Zeitraum hinweg keine Veränderung eingetreten ist. Gerade Diagonallinien signalisieren eine lineare Veränderung, d. h. den gleichmäßigen Anstieg oder Abfall der Spannung. Eine abrupte Änderung wird durch scharfe Winkel im Signalabbild wiedergegeben. In Abbildung 10 finden Sie die gängigsten Signale, während in Abbil-

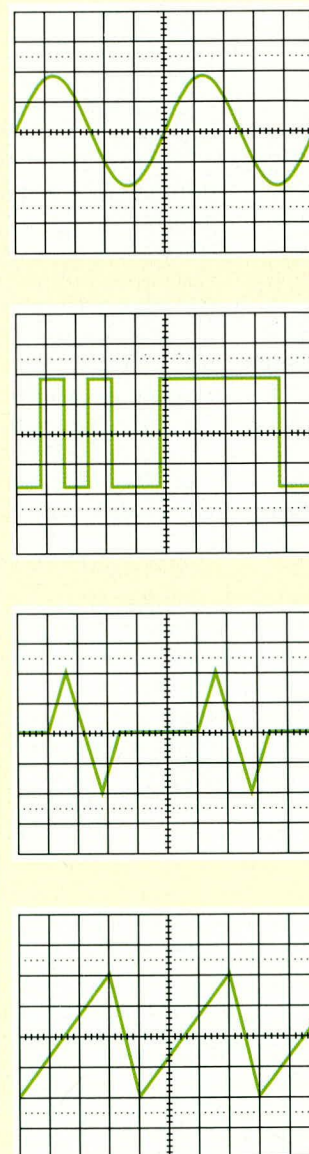
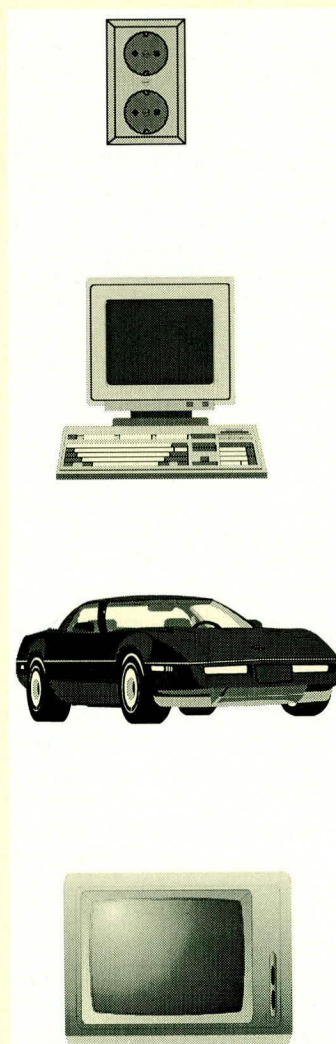
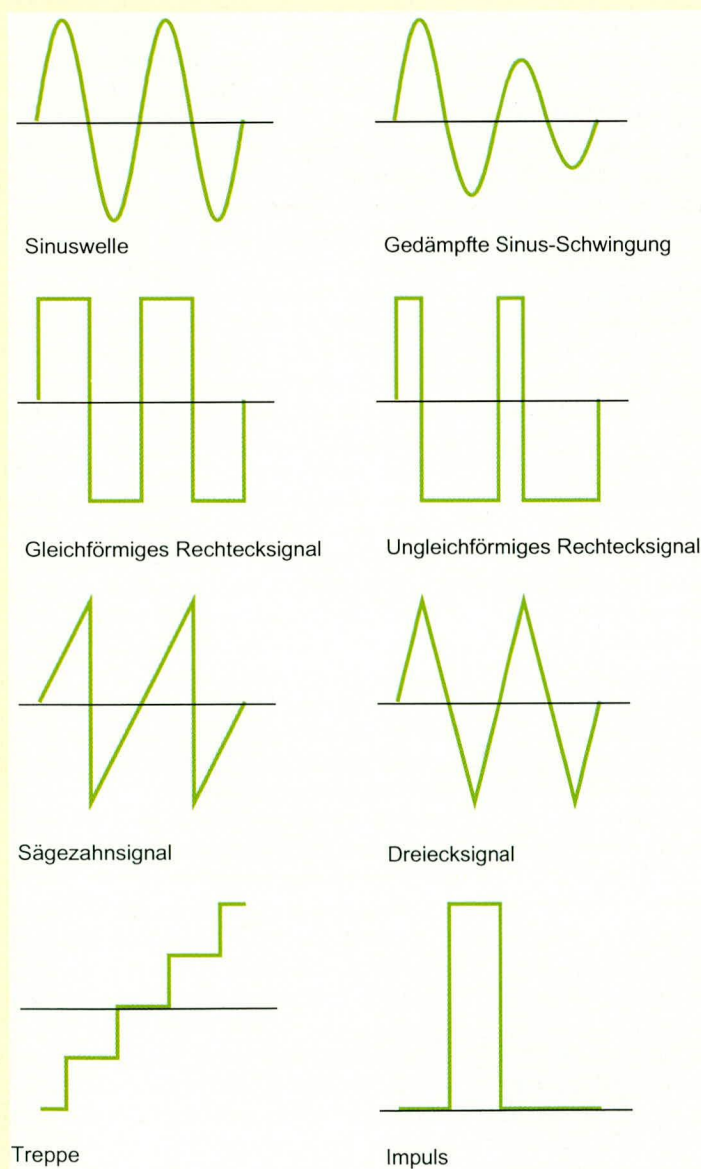


Bild 10: Häufig vorkommende Signalformen

Bild 11: Signalquellen und ihre typischen Signalformen

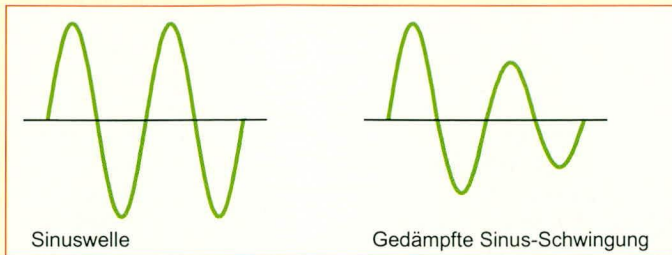


Bild 12 (links) : Sinuswelle und gedämpfte Sinus-Schwingung

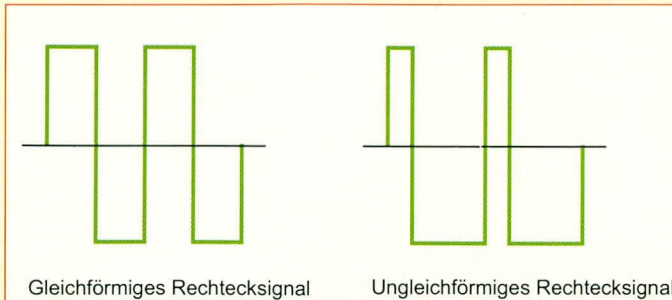


Bild 13 (links unten): Rechteck-Signal mit symmetrischem und unsymmetrischem Tastverhältnis

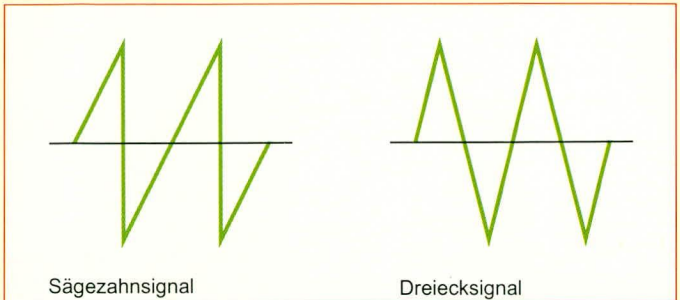


Bild 14 (unten): Sägezahn-Dreieckssignal

dung 11 einige der häufigsten Signalquellen dargestellt sind.

4.2 Signalarten

Die meisten Signale können wie folgt klassifiziert werden:

- Sinus-Signal
- Rechteck-Signale
- Dreieck- und Sägezahn-Signale
- Treppen- und Impulsformen
- Misch-Signale

4.2.1 Sinuswellen

Die Sinuswelle gilt aus mehreren Gründen als Grundform der Welle. Sie hat harmonische mathematische Eigenschaften. So hat z. B. die Netzwechsellspannung ebenfalls einen sinusförmigen Verlauf (zumindest in erster Näherung, wenn man die aufmodulierten Störpegel unberücksichtigt läßt). Die meisten AC-Quellen erzeugen Sinus-Signale, wobei AC (Alternating Current) für Wechselstrom steht, während DC (Direct Current) für Gleichstrom steht, wie ihn z. B. eine Batterie liefert.

Die gedämpfte Sinus-Spannung stellt einen Sonderfall dar, den Sie bei einem Schwingkreis beobachten können, dessen Schwingungen mit der Zeit abnehmen. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel für eine Sinuswelle sowie eine gedämpfte Sinus-Schwingung.

4.2.2 Rechteck-Signale

Das gleichförmige Rechteck-Signal (auch als Rechteck-Signal mit einem Tastverhältnis von 1 : 1 bezeichnet), stellt eine weitere wichtige Signalform dar und ist im Grunde genommen nichts anderes als eine Spannung, die in regelmäßigen Abständen sprunghaft ansteigt und ebenfalls sprunghaft wieder abfällt. Dieses Signal bildet z. B. einen Standard zum Testen von Verstärkern. Hochwertige Verstärker vergrößern die Amplitude eines Rechteck-Signals bei minimaler Verzerrung.

Daneben steht das ungleichförmige Rechteck-Signal, das auch als Rechteck-Signal mit unsymmetrischem Tastverhältnis bezeichnet wird. Hierbei handelt es sich um einen Kurvenverlauf, der dem gleichförmigen Rechteck-Signal sehr ähnlich ist, mit dem einzigen Unterschied, daß die High-Pegel-Intervalle nicht die gleiche Länge aufweisen wie die Zeitabschnitte, in denen das Signal 0 V führt. In Abbildung 13 finden Sie je ein Beispiel für Rechteck-Signale mit symmetrischem und unsymmetrischem Tastverhältnis.

4.2.3 Sägezahn- und Dreieck-Signale

Bei Sägezahn-Signalen handelt es sich um linear ansteigende und abrupt abfallende Spannungsverläufe, wie sie z. B. durch das Aufladen eines Kondensators über eine Konstantstromquelle bei anschließender schlagartiger Entladung erzeugt werden.

Dreieck-Signale hingegen steigen ebenfalls linear an wie bei den Sägezahn-Signalen, fallen dann aber nicht abrupt ab, sondern ebenfalls gleichmäßig, d. h. der Verlauf ist, wie die Bezeichnung schon ausdrückt, dreieckförmig. In Abbildung 14 finden Sie je ein Beispiel für ein Sägezahn- und ein Dreieck-Signal.

4.2.4 e-Funktionen

Einen ganz wichtigen Kurvenverlauf stellt in der Technik die e-Funktion bzw. Ableger davon dar. Das Aufladen eines Kondensators über einen Vorwiderstand, gespeist aus einer festen Spannung, verläuft nach den Kriterien einer e-Funktion, und zwar nach der Formel

$$u(t) = u \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

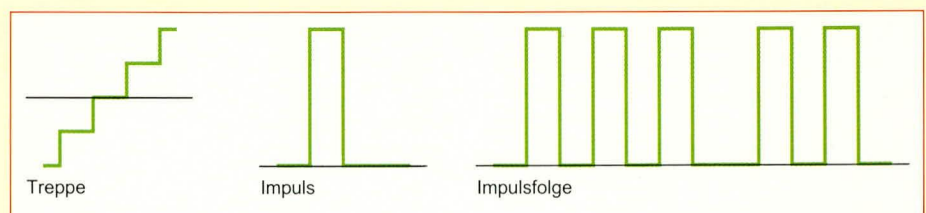


Bild 15: Treppen-, Impuls- und Impulsfolgeformen

4.2.5 Treppen- und Impulsformen

Mit Treppen-Signalen bezeichnet man Kurvenverläufe, die das Abbild einer Gebäudetreppe darstellen, d. h. die Spannung steigt sprunghaft an, verläuft ein Stück waagrecht, um wiederum um ein weiteres Stück sprunghaft anzusteigen, anschließend wieder waagrecht zu verlaufen sprunghaft anzusteigen usw. Entsprechende Signale findet man z. B. in der Fernstechnik bei der Erzeugung einer Grau-Treppe.

Mit Impulsen werden Schaltereignisse bezeichnet, bei denen in mehr oder weniger unregelmäßigen Abständen Spannungssprünge (Pegelwechsel) auftreten. So stellt z. B. das Ein- und Wiederausschalten des Schalters Ihrer Taschenlampe die Erzeugung eines Impulses dar. Aber auch in der Computertechnik spielen Impulse bzw. Impulsfolgen eine wesentliche Rolle. So kommunizieren z. B. 2 Computer miteinander über eine serielle Schnittstelle mit Hilfe von Impulsfolgen (hier auch als Datentelegramme bezeichnet).

In Abbildung 15 finden Sie Beispiele für Treppen- und Impuls-Signale.

4.2.6 Rauschsignale

Das Rauschen stellt ein wesentliches Element in der Technik dar. Meistens unerwünscht, kann aber in definierter, zum Teil bandbegrenzter Form auch als Meßsignal dienen.

Jedes elektronische Bauelement, ob aktiv oder passiv, besitzt das sogenannte Eigenrauschen. So erzeugt z. B. auch der

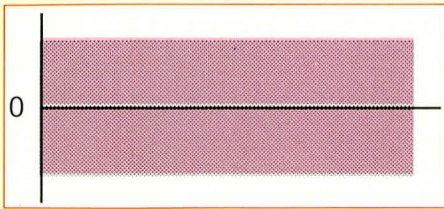


Bild 16: Rausch-Signal in Yt-Darstellung

Eingangswiderstand eines Verstärkers einen Rauschanteil, der um so größer wird, je höher der Widerstand ist.

Abbildung 16 zeigt ein Rausch-Signal in der bekannten Yt-Darstellung.

4.2.7 Misch-Signale

Hierbei handelt es sich um die Kombination aus verschiedenen Signalformen. So kann z. B. einer Sinuswelle zusätzlich ein Gleichspannungspegel überlagert sein, mit einem Rauschanteil (Bild 17 a), oder aber es sind Sinus- und Rechteck-Signale miteinander gemischt (Bild 17 b). Letztendlich sind beliebige Kombinationen

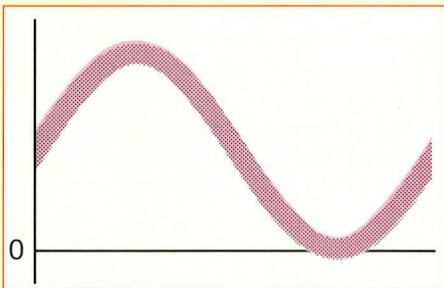


Bild 17 a: Sinus-Signal mit Gleichspannungsanteil und überlagertem Rausch-Signal

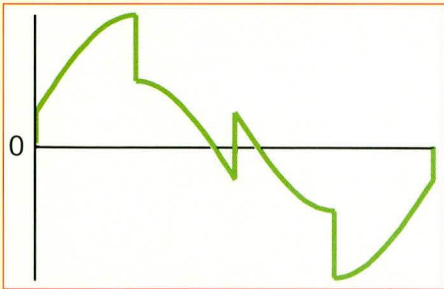


Bild 17 b: Misch-Signal bestehend aus Sinus- und Rechteck-Signal

denkbar, wobei die Amplitudenhöhe und die Frequenz der miteinander gemischten Signale wiederum unterschiedlich sein können. Solche Signale stellen besondere Anforderungen an das Oszilloskop und dessen Triggermöglichkeiten, worauf wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch detailliert eingehen.

Abbildung 17 zeigt 2 Beispiele von Misch-Signalen.

4.2.8 Transiente Signale

Neben den sich periodisch oder auch zufällig wiederholenden Signalformen gibt es die sogenannten Einzelschuß-Signale oder auch transiente Signale genannt. Hier-

bei handelt es sich um beliebige Signalformen, die nur einmal auftreten und somit an die Erfassung über ein Oszilloskop besondere Anforderungen stellen. Mit herkömmlichen Analog-Oszilloskopen ist eine Darstellung praktisch nicht möglich, weshalb auf spezielle Speicheroszilloskope, sei es in Analog- oder in Digitaltechnik, zurückgegriffen wird. Auch hierauf gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch detailliert ein.

4.3 Grundzüge der Signalmessung

Im vorliegenden Kapitel werden die gebräuchlichsten Messungen und Begriffe in der Oszilloskop-Meßtechnik erläutert.

4.3.1 Frequenz und Periode

Ein sich fortlaufend wiederholendes Signal besitzt eine „Frequenz“. Diese wird in Hertz (Hz) gemessen und entspricht der Anzahl der Wiederholungen dieses Signals pro Sekunde.

Die Zeitdauer, die dieses Signal zur Voll-

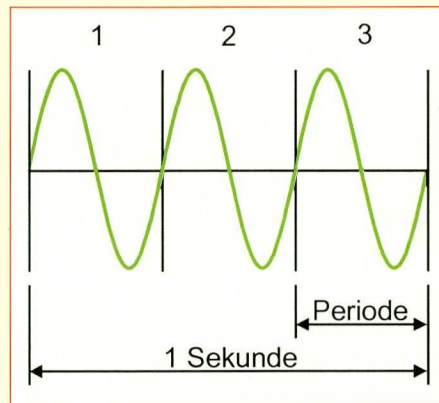


Bild 18: Frequenz und Periode

endung eines vollen Wechsels benötigt, bezeichnet man als „Periode“, wobei die Periode der Kehrwert von der Frequenz ist, d. h. $1/\text{Periode}$ ergibt die Frequenz, während $1/\text{Frequenz}$ die Periode ergibt. Folglich hat die in Abbildung 18 gezeigte Frequenz von 3 Hz eine Periode von $1/3$ sek. (auch als Periodendauer bezeichnet).

4.3.2 Spannung

Die Spannung ist das elektrische Potential zwischen 2 Punkten in einem Stromkreis. Normalerweise ist einer dieser Punkte geerdet (Nullspannungspunkt), aber nicht immer, d. h. man kann auch die Spannung zwischen 2 beliebigen Punkten eines Signalab-

Bild 19: Signalverlauf der Netzwechselspannung

bildes messen, die dann als Differenzspannung bezeichnet wird. Eine Sonderform stellt dabei die Spannung zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Punkt eines Signalabbildes dar, die als Spitze-Spitze-Spannung (U_{ss}) bezeichnet wird.

In der Wechselspannungs-Meßtechnik ist der Begriff Effektivwert besonders gebräuchlich. Ist die mathematische Beschreibung des Effektivwertes nach der Formel

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}$$

auf den ersten Blick auch etwas kompliziert, so ist die praktische Auswirkung doch leicht erklärt:

Legen Sie an einen Widerstand eine Gleichspannung an, so fließt daraufhin ein Gleichstrom, und in dem Widerstand wird eine Leistung in Wärme umgesetzt, die der Multiplikation aus Spannung und Strom entspricht. Wird nun an den Widerstand eine Wechselspannung angelegt, deren Effektivwert exakt der zuvor angelegten Gleichspannung entspricht, so wird im Widerstand genau die gleiche Leistung wie zuvor in Wärme umgesetzt. Der Effektivwert einer Wechselspannung hat somit besondere praktische Bedeutung.

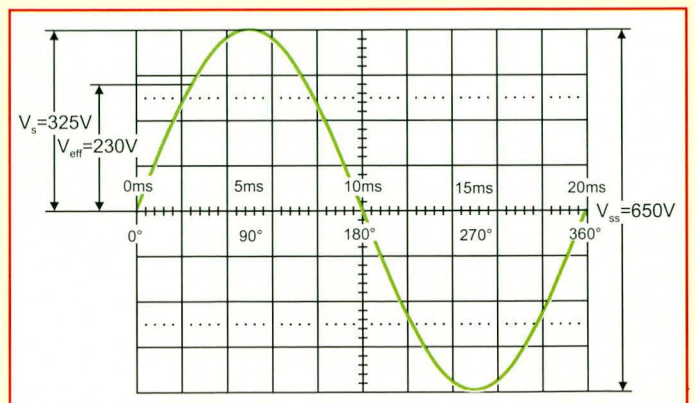
In Abbildung 19 ist ein Sinus-Signal mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Effektivwert-Spannung von 230 V dargestellt. Wir erkennen daraus, daß die Spitze-Spitze-Spannung rund 650 V beträgt, berechnet nach der Formel:

$$U_{ss} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}$$

Mit Amplitude wird bei Wechselspannungen die Spannungshöhe bezeichnet, wobei im allgemeinen hier der Effektivwert gemeint ist, es sich jedoch auch um eine Spitzenwertangabe handeln kann

4.3.3 Phase

Die Phase bzw. die Phasenlage läßt sich gut anhand einer Sinuswelle erläutern. Sinuswellen basieren auf kreisförmigen Bewegungen, wobei der Vollkreis einen Winkel von 360° überstreicht. Der volle Wechsel einer Sinuswelle verläuft somit ebenfalls über 360° , wie dies aus Abbildung 20 ersichtlich ist. Mit Hilfe von Gradangaben kann man nun den Phasenwinkel einer Sinuswelle angeben, um auszudrücken, wie



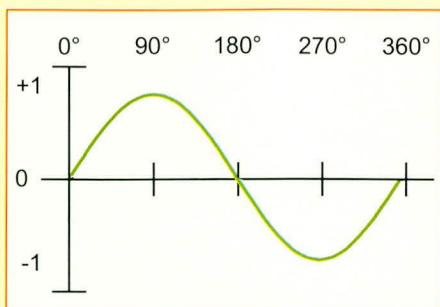


Bild 20: Sinuswellengrade

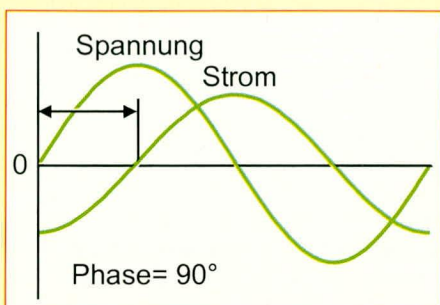


Bild 21: Phasenverschiebung

weit die Periode fortgeschritten ist. Eine reine Sinus-Kurvenform weist bei 0° , 180° und 360° eine Amplitude (Spannung) von 0 V auf, während das positive Spannungsmaximum bei 90° und das negative bei 270° zu finden ist.

Die Phasenverschiebung beschreibt den zeitlichen Unterschied zwischen 2 ansonsten ähnlichen Signalen. In Abbildung 21 ist das Signalabbild der Bezeichnung „Strom“ um 90° phasenverschoben zu dem Signalabbild „Spannung“ dargestellt. Entsprechende Phasenverschiebungen treten häufig zwischen Spannung und Strom in Stromkreisen auf, bedingt durch induktive oder kapazitive Komponenten.

4.4 Leistungsbegriffe

Die in diesem Abschnitt behandelten Bezeichnungen beschreiben u. a. die Leistungsfähigkeit eines Oszilloskops. Eine Erläuterung dieser Begriffe erleichtert die Bewertung eines Oszilloskops und den Vergleich mit anderen Modellen.

4.4.1 Bandbreite

Die Bandbreitenangabe gibt den Frequenzbereich an, in dem das Oszilloskop Feinmessungen durchführen kann.

Bei steigender Frequenz eines Signals wird die Fähigkeit des Oszilloskops zur präzisen Abbildung herabgesetzt. Die Bandbreite gibt diejenige Frequenz an, bei der das dargestellte Signal auf 70,7 % der vollen Amplitude des sinusförmigen Meßsignals absinkt. Dieser Punkt wird auch als „-3dB.“ bezeichnet, der auf eine logarithmische Skala zurückzuführen ist.

4.4.2 Anstiegszeit

Die Anstiegszeit bildet eine weitere

Möglichkeit, den brauchbaren Frequenzbereich eines Oszilloskops zu beschreiben. Zu einem wichtigen Leistungskriterium wird die Anstiegszeit speziell bei der Messung von Impuls- und Treppen-Signalen. Ein Oszilloskop kann jene Impulse nicht genau aufzeichnen, deren Anstiegszeiten schneller sind als die für das Oszilloskop angegebene Anstiegszeit.

4.4.3 Vertikal-Empfindlichkeit

Die Vertikal-Empfindlichkeit gibt an, in welchem Umfang ein Vertikalverstärker ein kleines Meßsignal verstärken kann. In der Regel wird die Vertikal-Empfindlichkeit in Millivolt (mV) pro Division (Teilstrich) angegeben. Die kleinste Meßspannung, die ein Universal-Oszilloskop darstellen kann, liegt üblicherweise bei rund 2 mV pro vertikaler Bildschirm-Teilungslinie (entsprechend einer Darstellungshöhe von 2 mm bei einem Teilstrichabstand von 1 cm).

4.4.4 Ablenkgeschwindigkeit

Bei Analog-Oszilloskopen gibt dieser Wert an, wie schnell der Strahl den Bildschirm abtasten kann, damit alle Details genau erkennbar sind. Die schnellste Ablenkgeschwindigkeit eines Oszilloskops wird normalerweise in Nanosekunden/Div. angegeben.

4.4.5 Verstärkungsgenauigkeit

Die Verstärkungsgenauigkeit zeigt an, mit welcher Präzision das Vertikalsystem das Meßsignal abschwächt oder verstärkt. Im allgemeinen wird hier der prozentuale Fehler angegeben.

4.4.6 Zeitbasis/Horizontalgenauigkeit

Die Zeitbasis oder Horizontalgenauigkeit gibt an, wie exakt das horizontale System die Zeitereignisse eines Signals darstellt. Auch hier wird meist der prozentuale Fehler angegeben.

4.4.7 Maximale Abtastrate

Bei Digital-Oszilloskopen gibt die Abtastrate an, wieviele Abtastungen pro Sekunde der Analog-Digital-Umsetzer (ADU) und somit das Oszilloskop erfassen kann. Maximale Abtastraten werden üblicherweise in Mega-Abtastungen pro Sekunde (englisch: MS/s = Megasamples/second) angegeben.

Je schneller das Oszilloskop abtasten kann, um so genauer ist die Darstellung feiner Details bei einem schnellen Signal möglich. Die minimale Abtastrate kann ebenfalls von Bedeutung sein, wenn Sie auch lange Zeit sich nur langsam ändernde Signale beobachten möchten. Typischerweise ändert sich die Abtastrate entsprechend den Änderungen, die über die Sek./Div.-Steuerung vorgenommen werden, um

die Anzahl von Signalpunkten in der Signalaufzeichnung konstant zu halten.

4.4.8 AD-Wandler-Auflösung

Die Auflösung des Analog-Digital-Umsetzers (auch mit Vertikal-Auflösung bezeichnet) wird in Bits angegeben und zeigt an, wie genau und wie fein die Eingangsspannung in Digitalwerte umgewandelt werden kann. Berechnungsvorgänge können dabei die effektive Bildauflösung noch verbessern.

4.4.9 Speichertiefe

Die Speichertiefe eines Oszilloskops gibt an, wieviele Signalpunkte das Oszilloskop für eine Signalaufzeichnung erfassen kann. Bei manchen Digital-Oszilloskopen ist die Speichertiefe einstellbar. Sie Speichertiefe steht in einem direkten Zusammenhang mit der Zeitbasis wie auch mit der Abtastrate und bestimmt damit die Verwendbarkeit des Speicheroszilloskops für entsprechende Meßaufgaben.

Mit folgendem Beispiel wollen wir diese Problematik nochmals verdeutlichen. Zu beachten ist, daß die Einstellungen des vertikalen Ablenkkoeffizienten und des Zeitablenkkoeffizienten am Oszilloskop zwar in gewissen Grenzen frei wählbar sind, aber letztlich doch durch das Meßsignal bestimmt werden.

Es sollen die Auswirkungen von 500 Byte (0,5 k) mit 2000 Byte (2 k) angezeigter Speichertiefe verglichen werden. Im 500Byte-Fall werden bei einem 10cm- (Division) X-Raster 50 Abtastwerte pro Division (500 : 10) erfaßt und angezeigt, während es bei 2 k Speicher 200 Abtastwerte pro Division (2000 : 10) sind. Bei gleicher Zeitbasiseinstellung von z. B. $5\mu\text{s}/\text{cm}$ muß das Abtastintervall $5\mu\text{s} : 200 = 25\text{ ns}$ beim 2k-Gerät betragen, was einer Abtastrate von 40 MS/s entspricht. Für das 500Byte-Gerät ergibt sich in dieser Zeitbasiseinstellung ein Abtastintervall von $5\mu\text{s} : 50 = 100\text{ ns}$ und somit eine Abtastrate von nur 10 MS/s.

Der Nachteil beim 500Byte-Gerät besteht somit nicht nur in der schlechteren X-Auflösung, sondern auch darin, daß die höchste Sinusfrequenz, die mit 10 Punkten/Periode dargestellt werden kann, nur $10\text{ MS/s} : 10 = 1\text{ MHz}$ beträgt, während das 2000Byte-Gerät unter diesen Bedingungen noch 4 MHz darstellen kann.

Ein typischer Fall liegt vor, wenn ca. eine Zeile eines Videosignals zu messen ist. Die Zeitbasiseinstellung wird z. B. durch die Dauer einer Zeile von $64\mu\text{s}$ (was einer Frequenz von 15625 Hz entspricht) vorgegeben. Innerhalb einer Zeile sind aber Frequenzen von ca. 4 MHz enthalten.

Im folgenden Kapitel wenden wir uns den Meßsignalen mit ihren Eigenschaften und den Meßmöglichkeiten zu. 