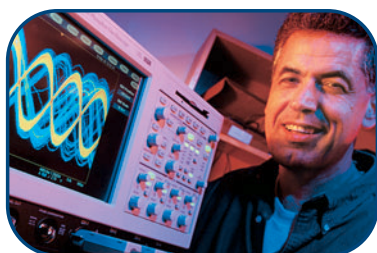


# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope



COMPUTING

COMMUNICATIONS

VIDEO



## Inhaltsverzeichnis

Einführung .....3

### Signalintegrität

Die Bedeutung der Signalintegrität .....4  
 Warum ist Signalintegrität ein Problem? .....4  
 Betrachtung der analogen Ursprünge von Digitalsignalen .....5

### Das Oszilloskop

Erläuterung von Signalen und Signalmessungen .....6  
 Signalarten .....7  
     Sinussignale .....7  
     Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale .....7  
     Sägezahn- und Dreiecksignale .....7  
     Treppen- und Impulssignale .....8  
     Periodische und nicht periodische Signale .....8  
     Synchrone und asynchrone Signale .....8  
     Zusammengesetzte Signale .....8  
 Signalmessungen .....9  
     Frequenz und Periode .....9  
     Spannung .....9  
     Amplitude .....9  
     Phase .....10  
     Signalmessungen mit Digital-Oszilloskopen .....10

### Oszilloskop-Arten

Analog-Oszilloskope .....11  
 Digital-Oszilloskope .....12  
     Digitalspeicher-Oszilloskope .....13  
     Digital-Phosphor-Oszilloskope .....15  
     Digital-Sampling-Oszilloskope .....17

### Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops

Vertikalsystem und Bedienelemente .....18  
     Position und Volt pro Teil .....19  
     Eingangskopplung .....19

Bandbreitenbegrenzung .....20  
 Darstellarten „Alternate“ und „Chop“ .....20  
 Horizontalsystem und Bedienelemente .....21  
     Erfassungs-Bedienelemente .....21  
     Erfassungsmodi .....21  
     Starten und Anhalten des Erfassungssystems .....23  
     Abtastung .....23  
     Abtast-Bedienelemente .....23  
     Abtastmethoden .....23  
         Echtzeit-Abtasttechnik .....24  
         Echtzeit-Abtasttechnik mit Interpolation .....25  
         Äquivalentzeit-Abtastung .....25  
         Zufällige Äquivalentzeit-Abtastung .....26  
         Sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung .....26  
     Position und Sekunden pro Teil .....27  
     Zeitbasis-Auswahlen .....27  
     Zoomen .....27  
     XY-Modus .....27  
     Z-Achse .....27  
     XYZ-Modus .....27  
 Trigger-System und Bedienelemente .....28  
     Trigger-Position .....29  
     Trigger-Pegel und -Flanke .....30  
     Trigger-Quellen .....30  
     Trigger-Modi .....30  
     Trigger-Kopplung .....30  
     Trigger-Holdoff .....31  
 Darstellsystem und Bedienelemente .....31  
 Andere Bedienelemente des Oszilloskops  
     Mathematik- und Messoperationen .....32

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen

## Das vollständige Mess-System

Tastköpfe	.33
Passive Tastköpfe	.34
Aktive und Differenzialtastköpfe	.35
Tastkopfzubehör	.36

## Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

Bandbreite	.37
Anstiegszeit	.38
Abtastrate	.39
Signalerfassungsrate	.40
Speichertiefe	.40
Trigger-Möglichkeiten	.41
Effektive Bits	.41
Frequenzgang	.41
Vertikale Empfindlichkeit	.41
Ablenkgeschwindigkeit	.41
Verstärkungsgenauigkeit	.41
Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)	.41
Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)	.41
Konnektivität	.42
Flexibilität (Erweiterbarkeit)	.43
Einfache Bedienung	.44
Tastköpfe	.44

## Die Bedienung des Oszilloskops

Geräteeinstellung	.45
Erdung des Oszilloskops	.45
Erdung der eigenen Person	.45
Einstellen der Bedienelemente	.46
Gebrauch von Tastköpfen	.46
Anschließen der Erdungsklemme	.46
Kompensation des Tastkopfs	.47

## Oszilloskop-Messtechniken

Spannungsmessungen	.48
Zeit- und Frequenzmessungen	.49
Impulsbreiten- und Anstiegszeit-Messungen	.49
Phasenverschiebungsmessungen	.50
Andere Messtechniken	.50

## Schriftliche Übungen

### Teil I

Vokabularübungen	.51
Anwendungsübungen	.52

### Teil II

Vokabularübungen	.53
Anwendungsübungen	.54

Antworten	.55
-----------	-----

Glossar	.56
---------	-----

## Einführung

Vieles in der Natur bewegt sich in Form einer Sinuswelle, sei dies eine Meereswelle, ein Erdbeben, ein Überschallknall, eine Explosion, Schall durch die Luft oder die natürliche Frequenz eines sich bewegenden Körpers. Energie, vibrierende Teilchen und andere unsichtbare Kräfte sind überall im physischen Universum vorhanden. Sogar Licht – teils Teilchen, teils Welle – hat eine fundamentale Frequenz, die als Farbe beobachtet werden kann.

Sensoren können diese Kräfte in elektrische Signale umwandeln, die mit einem Oszilloskop sichtbar gemacht und untersucht werden können. Mit einem Oszilloskop können Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker, Lehrer und andere Interessierte Ereignisse „sehen“, die sich in Abhängigkeit von der Zeit ändern.

Oszilloskope sind für alle, die mit der Entwicklung, Fertigung oder Reparatur von elektronischen Geräten zu tun haben, unentbehrliche Hilfsmittel. In der heutigen, schnelllebigsten Welt benötigen Ingenieure die besten verfügbaren Geräte, um ihren messtechnischen Herausforderungen schnell und exakt gerecht werden zu können. Als Sichtgerät für Ingenieure sind Oszilloskope der Schlüssel zur Bewältigung der heutigen anspruchsvollen Messtechnikaufgaben.

Die Verwendbarkeit eines Oszilloskops beschränkt sich aber nicht nur auf die Elektronik. Mit einem geeigneten Messwandler kann ein Oszilloskop verschiedenste Phänomene messen. Ein **Messwandler** (oder Transducer) ist ein Gerät, das aufgrund einer physikalischen Stimulierung, wie beispielsweise akustische Signale, mechanische Spannung, Druck, Licht oder Hitze, ein elektrisches Signal erzeugt. Ein Mikrofon ist ein Messwandler, der Töne in ein elektrisches Signal umwandelt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel, wie physikalische Größen mit einem Oszilloskop erfasst werden können.

Oszilloskope sind für viele Berufssparten – von Physikern bis zu Fernstechnikern – von Vorteil. Ein Kfz-Ingenieur verwendet ein Oszilloskop beispielsweise zum Messen von Motorvibrationen. Ein medizinischer Forscher setzt ein Oszilloskop zum Messen von Gehirnströmen ein. Die Möglichkeiten sind endlos.

Die in diesem Einführungshandbuch aufgeführten Konzepte vermitteln Ihnen ein gutes Basiswissen zum Verständnis und zur Funktionsweise eines Oszilloskops.

Das Glossar am Ende dieses Einführungshandbuchs enthält Definitionen möglicherweise nicht bekannter Begriffe. Die Fragebogen mit Antwortauswahl über die Oszilloskop-Theorie und Bedienelemente machen dieses Handbuch zu einer ausgezeichneten Unterlage für das Klassenzimmer. Mathematische oder elektronische Vorkenntnisse sind nicht erforderlich.

Nach dem Lesen dieses Einführungshandbuchs sind Sie in der Lage:

- ▶ die Funktionsweise von Oszilloskopen zu beschreiben
- ▶ die Unterschiede zwischen Analog-, Digitalspeicher-, Digital-Phosphor- und Digital-Sampling-Oszilloskopen aufzuzeigen.
- ▶ die verschiedenen Arten elektrischer Signale zu beschreiben.
- ▶ die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente zu verstehen.
- ▶ einfache Messungen durchzuführen.

Das im Lieferumfang des Oszilloskops enthaltene Benutzerhandbuch bietet detaillierte Informationen über den Gebrauch des Oszilloskops für Ihre Arbeit. Einige Oszilloskop-Hersteller liefern auch eine Vielfalt an Applikationsbroschüren, mit denen Sie den Einsatz des Oszilloskops für Ihre speziellen Messaufgaben optimieren können.

Wenn Sie weitere Unterstützung benötigen oder aber Kommentare oder Fragen zu den Informationen in diesem Einführungshandbuch haben, wenden Sie sich einfach an Ihren zuständigen Tektronix-Vertriebsmitarbeiter oder besuchen Sie **[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)**.

## Signalintegrität

### Die Bedeutung der Signalintegrität

**Signalintegrität** ist die Fähigkeit, ein Signal exakt zu reproduzieren. Sie ist der Schlüssel zu einem guten Oszilloskopsystem. Ein Oszilloskop entspricht in gewissem Sinn einer Kamera, die Signalbilder erfasst, die dann beobachtet und interpretiert werden können. Der Kern der Signalintegrität besteht aus drei wichtigen Punkten.

- Ist die gemachte Aufnahme eine exakte Abbildung des tatsächlichen Ereignisses?
- Ist die Aufnahme scharf oder verschwommen?
- Wie viele dieser exakten Abbildungen können Sie pro Sekunde aufnehmen?

Insgesamt betrachtet können die verschiedenen Systeme und Leistungsmerkmale eines Oszilloskops zu dessen Fähigkeit beitragen, die höchstmögliche Signalintegrität zu erzielen. Auch Tastköpfe haben einen Einfluss auf die Signalintegrität eines Mess-Systems.

Die Signalintegrität wirkt sich auf viele Elektronikdesign-Anwendungen aus. Vor wenigen Jahren war die Signalintegrität für Entwickler digitaler Schaltungen kein nennenswertes Problem. Man konnte sich darauf verlassen, dass sich die Logikschaltungen auch tatsächlich wie die Booleschen-Schaltungen verhielten, die sie im Grunde sind.

Unbestimmbare, durch Störgeräusche beeinträchtigte Signale traten nur in Hochgeschwindigkeitsschaltungen auf – darum mussten sich die HF-Designer kümmern. Schaltvorgänge in Digitalsystemen erfolgten langsam und die Signale stabilisierten sich auf vorhersehbare Weise.

Prozessor-Taktraten haben sich seither um ein Vielfaches beschleunigt. Computeranwendungen, wie 3-D-Grafiken, Video- und Server-E/A, erfordern eine hohe Bandbreite. Viele der heutigen Telekom-Geräte stützen sich auf Digitaltechnik und erfordern daher ebenso eine gewaltige Bandbreite. Dasselbe gilt für Digital-High-Definition-TV. Die derzeitige Generation von Mikroprozessor-Geräten hat Datenraten von bis zu 2, 3 und sogar 5 GS/s (Gigasample pro Sekunde), während einige Speichervorrichtungen 400-MHz-Taktraten sowie Datensignale mit Anstiegszeiten von 200 ps haben.

Es ist bedeutend, dass die Geschwindigkeitsanstiege auch bei allgemein verwendeten IC-Vorrichtungen, die in Kfz, VCRs und Maschinen-Controller u.v.m. Anwendung finden, auftreten. Ein Prozessor, der mit einer Taktrate von 20 MHz läuft, kann sehr wohl Signale mit Anstiegszeiten haben, die denen eines 800-MHz-Prozessors ähnlich sind. Designer haben eine Leistungsschwelle überschritten, gemäß der nahezu jede Schaltung als Hochgeschwindigkeitsschaltung bezeichnet werden kann.

Ohne Einhaltung von Grundregeln können Hochgeschwindigkeitsprobleme in ansonsten traditionellen Digitaldesigns entstehen. Wenn eine Schaltung intermittierende Fehler aufweist oder wenn Fehler bei extremen Spannungs- oder Temperaturwerten auftreten, ist es wahrscheinlich, dass versteckte Signalintegritätsprobleme vorliegen. Diese können die Marktreifezeit, Zuverlässigkeit des Produkts, EMI-Konformität und andere Punkte beeinträchtigen.

### Warum ist Signalintegrität ein Problem?

Sehen wir uns einige spezifische Ursachen der Signalverschlechterung in heutigen Digitalanordnungen an. Warum treten diese Probleme heute wesentlich häufiger auf als in der Vergangenheit?

Die Antwort ist Geschwindigkeit. In der Vergangenheit musste durch Beachtung von Taktverteilung, Signalwegdesign, Störgeräusch-Grenzwerte, Belastungseffekte, Übertragungseffekte, Bus-Abschlusswiderstände, Entkopplung und Leistungsverteilung dafür gesorgt werden, dass eine akzeptable Integrität des Digitalsignals erzielt wurde.

Alle diese Regeln gelten nach wie vor, aber....

Die Bus-Zykluszeiten sind um das bis zu Tausendfache schneller als vor 20 Jahren! Transaktionen, die früher Mikrosekunden benötigten, werden heute in Nanosekunden gemessen. Damit diese Verbesserung erzielt werden kann, mussten auch die Flankengeschwindigkeiten beschleunigt werden: diese sind um bis zu 100 Mal schneller als die vor zwei Jahrzehnten.

Das ist alles schön und gut, bestimmte physische Voraussetzungen haben jedoch verhindert, dass die Schaltungstechnologie mit den Veränderungen Schritt halten kann. Die Laufzeit zwischen Chips hat sich seit Jahrzehnten kaum geändert. Die Geometrien wurden zwar kleiner, aber es besteht nach wie vor ein Bedarf, Schaltkreis-Flächen für IC-Geräte, Steckverbinder, passive Komponenten und selbstverständlich die Busleiterbahnen vorzusehen. Diese Flächen summieren sich zu Entfernungen und Entfernungen bedeuten Zeit – der Feind von Geschwindigkeit.

Es ist zu beachten, dass die Flankengeschwindigkeit – Anstiegszeit – eines Digitalsignals Komponenten mit wesentlich höherer Frequenz tragen kann, als dies aus der Wiederholrate erkenntlich ist. Aus diesem Grund suchen Designer manchmal absichtlich IC-Geräte mit relativ „langsamen“ Anstiegszeiten.

Das „lumped“ (zusammengefasste) Schaltungsmodell war schon immer die Basis der meisten Berechnungen zur Vorhersage des Signalverhaltens in einer Schaltung. Wenn aber die Flankengeschwindigkeiten um bis zu sechs Mal schneller als die Signalweg-Laufzeit ist, verliert dieses zusammengefasste Modell seine Gültigkeit.

Nur 150 mm lange Leiterbahnen werden Übertragungsleitungen, wenn sie durch Signale gesteuert werden, die Flankenraten von weniger als vier bis sechs Nanosekunden haben – unabhängig von der Zyklusrate. Es werden im Grunde durch Kopplung neue Signalwege erzeugt. Diese nicht greifbaren Verbindungen sind nicht auf den Schaltplänen, bieten jedoch für Signale eine Möglichkeit, sich gegenseitig auf unvorhersehbare Weise zu beeinflussen. Gleichzeitig funktionieren die beabsichtigten Signalwege nicht so wie sie sollten. Erdungsflächen und stromführende Flächen werden wie die oben beschriebenen Leiterbahnen induktiv und agieren wie Übertragungsleitungen; die Netzteil-Entkopplung ist wesentlich weniger wirksam. Elektromagnetische Störungen (EMI) nehmen zu, da schnellere Flankenraten im Vergleich zur Buslänge kürzere Wellenlängen erzeugen. Übersprechen nimmt zu.

Außerdem erfordern schnellere Flankenraten im Allgemeinen höhere Stromstärken zu deren Erzeugung. Höhere Stromstärken tendieren dazu, „Ground Bounce“ zu verursachen, besonders an breiten Bussen, in denen viele Signale gleichzeitig geschaltet werden. Die höhere Stromstärke erhöht auch die abgestrahlte magnetische Energie und damit Übersprechen.

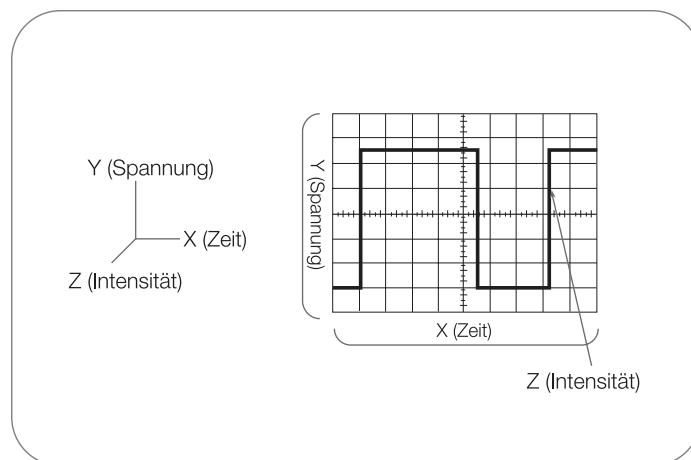
## Betrachtung der analogen Ursprünge von Digitalsignalen

Was haben all diese Charakteristiken gemein? Sie sind klassische **analoge** Erscheinungen. Zur Lösung von Signalintegritätsproblemen müssen Digitalentwickler einen Schritt in den Analogbereich wagen. Und dazu benötigen Sie ein Gerät, das ihnen die Zusammenwirkung von Digital- und Analogsignalen zeigen kann.

Digitale Fehler haben ihren Ursprung oft in Integritätsproblemen analoger Signale.

Zur Verfolgung der Ursache eines digitalen Fehlers ist häufig der Einsatz eines Oszilloskops erforderlich, das Signaldetails, Flanken und Störgeräuschen darstellen kann; außerdem muss es Transienten erkennen und darstellen sowie die Timing-Zusammenhänge, wie die Setup-and-hold-Zeit, genau messen können.

Wenn Sie die einzelnen Systeme in Ihrem Oszilloskop verstehen und wissen, wie diese angewendet werden, können Sie das Oszilloskop wirkungsvoll zur Bewältigung der jeweiligen messtechnischen Herausforderung einsetzen.



► **Abbildung 2.** X-, Y- und Z-Komponenten eines dargestellten Signals

## Das Oszilloskop

Was ist ein Oszilloskop und wie funktioniert es? Dieser Abschnitt behandelt diese grundlegenden Fragen.

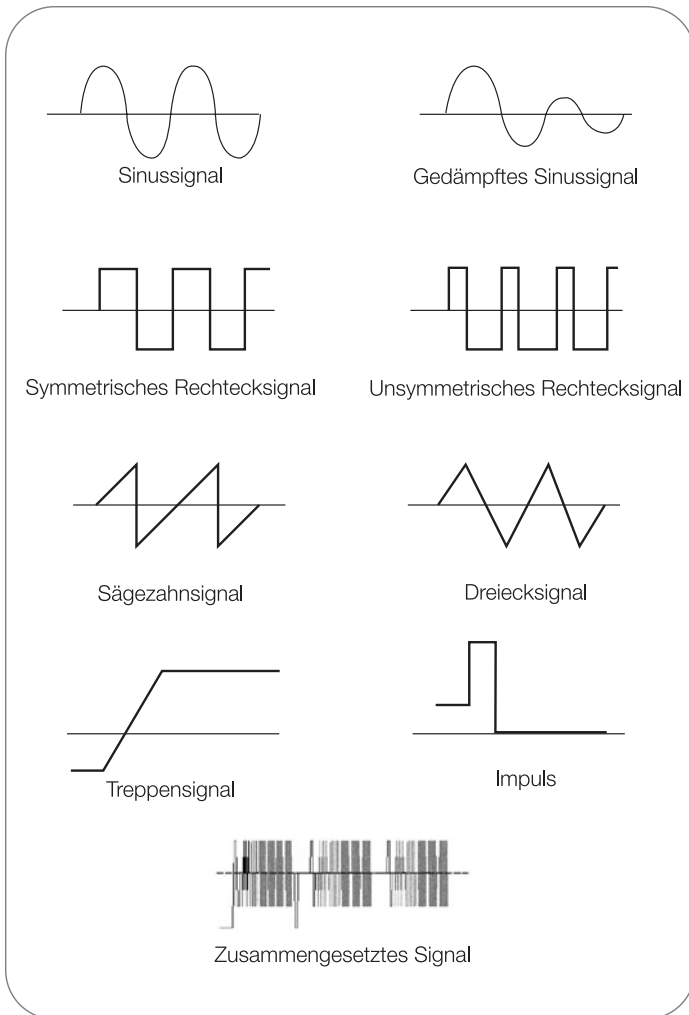
Das Oszilloskop ist im Grunde ein Gerät, das grafische Aufzeichnungen durchführt – es stellt ein elektrisches Signal grafisch dar. In den meisten Anwendungen zeigt die Grafik, wie sich Signale mit der Zeit ändern: die vertikale Achse (Y) stellt die **Spannung** und die horizontale Achse (X) die **Zeit** dar. Die **Intensität** oder Helligkeit der Darstellung wird manchmal als Z-Achse bezeichnet. (Siehe Abbildung 2.)

Mit Hilfe dieser einfachen Darstellung können Sie vieles über ein Signal erfahren. Unter anderem können Sie:

- das Spannungs- und Zeitverhalten eines Signals bestimmen.
- die Frequenz eines oszillierenden Signals ermitteln.
- die „sich bewegenden Teile“ einer Schaltung, die durch das Signal repräsentiert werden, sehen.
- die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Signalteil relativ zu anderen Teilen auftritt, ermitteln.
- feststellen, ob das Signal durch eine fehlerhafte Komponente verzerrt wird oder nicht.
- herausfinden, zu welchem Teil sich das Signal aus Gleichstrom und zu welchem Teil aus Wechselstrom zusammensetzt.
- den Geräuschanteil eines Signals feststellen und bestimmen, ob dieser zeitlichen Veränderungen unterliegt.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

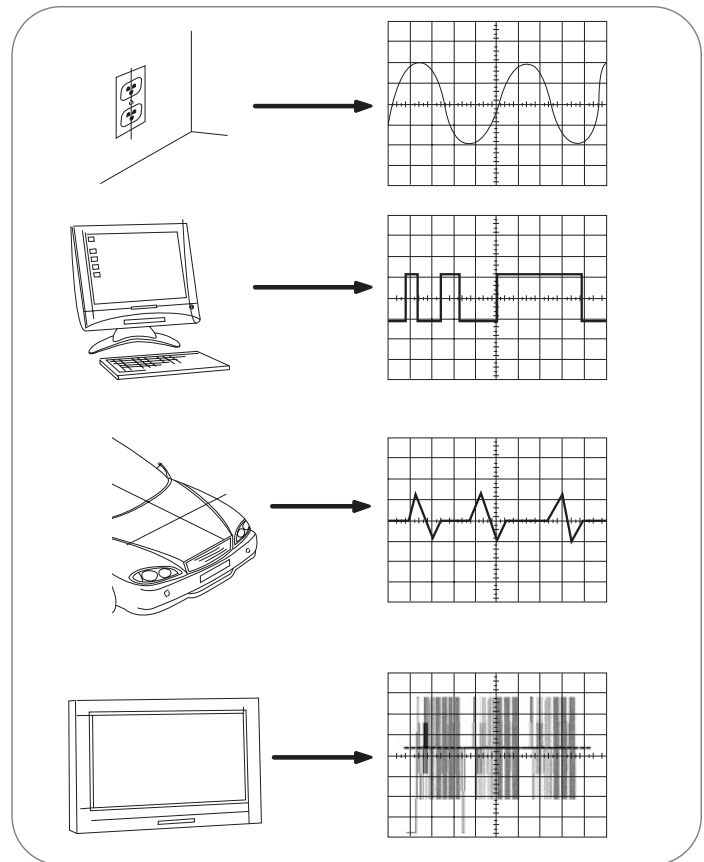
► Grundlagen



► **Abbildung 3. Übliche Signale**

## Erläuterung von Signalen und Signalmessungen

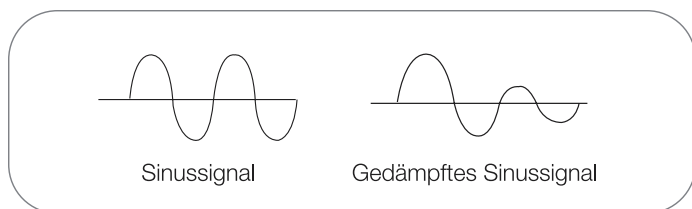
Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich mit der Zeit wiederholt, ist **Welle** (bzw. Schwingung) – Schallwellen, Gehirnwellen, Meereswellen und Spannungswellen sind alle repetitive Muster. Ein Oszilloskop misst Spannungswellen. Ein **Zyklus** einer Welle ist der Teil der Welle, der sich wiederholt. Ein **Signalzug** (auch als Kurvenzug oder einfach Signal bezeichnet) ist die grafische Darstellung einer Welle (eines Signals). Ein Spannungssignalzug zeigt die Zeit auf der horizontalen Achse und die Spannung auf der vertikalen Achse dar.



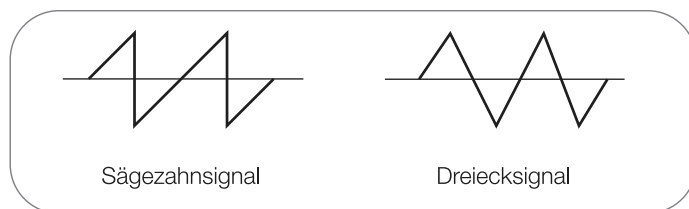
► **Abbildung 4. Quellen üblicher Signale**

Die Form eines Signalzugs sagt viel über das Signal selbst aus. Immer wenn Sie eine Änderung in der Höhe des Signalzugs sehen, wissen Sie, dass sich die Spannung geändert hat. Wenn eine flache horizontale Linie vorliegt, tritt über diesen Zeitabschnitt keine Änderung auf. Gerade, diagonale Linien zeigen eine lineare Änderung – Anstieg oder Abfall der Spannung mit einer konstanten Rate. Scharfe Winkel in einem Signalzug weisen auf eine plötzliche Änderung hin. Abbildung 3 zeigt übliche Signalzüge und Abbildung 4 zeigt Quellen üblicher Signalzüge.

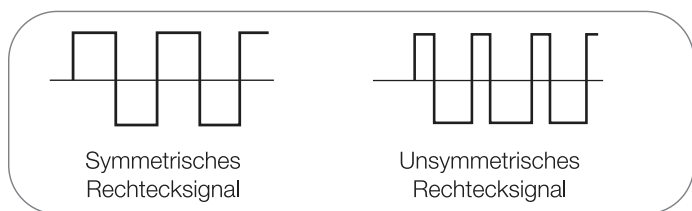




► **Abbildung 5.** Sinussignal und gedämpftes Sinussignal



► **Abbildung 7.** Sägezahn- und Dreieckssignal



► **Abbildung 6.** Symmetrisches und unsymmetrisches Rechtecksignal

## Signalarten

Sie können die meisten Signalzüge in folgende Signalarten einteilen:

- Sinussignale
- Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale
- Dreieck- und Sägezahnsignale
- Treppen- und Impulssignale
- Periodische und nicht periodische Signale
- Synchrone und asynchrone Signale
- Zusammengesetzte Signale

## Sinussignale

Das **Sinussignal** ist aus mehreren Gründen die grundlegende Signalf orm. Es hat harmonische mathematische Eigenschaften – dies ist die gleiche Sinuswelle, die Sie in der Schule im Trigonometrieunterricht gelernt haben. Die Spannung der Stromversorgung aus Ihrer Steckdose ändert sich als Sinuswelle. Von einem Oszillatorkreis eines Signalgenerators erzeugte Testsignale sind häufig Sinuswellen. Die meisten Wechselstromquellen erzeugen Sinuswellen. (Der Begriff **Wechselstrom** bezieht sich auf die geänderte Stromstärke, die Spannung ändert sich jedoch auch. Der Begriff **Gleichstrom** bezieht sich auf die gleichbleibende Stromstärke und Spannung, wie z.B. die einer Batterie.)

Das **gedämpfte Sinussignal** ist ein Sonderfall, den Sie möglicherweise in einem schwingenden Schaltkreis sehen, der jedoch mit der Zeit abklingt. Abbildung 5 zeigt Beispiele von Sinussignalen und gedämpften Sinussignalen.

## Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale

Das **symmetrische Rechtecksignal** ist eine weitere übliche Wellenform. Im Grunde ist ein symmetrisches Rechtecksignal eine Spannung, die in regelmäßigen Intervallen ein- und ausgeschaltet wird (oder einen hohen und einen niedrigen Pegel hat). Das ist ein Standard-Signal zur Prüfung von Verstärkern – gute Verstärker erhöhen die Amplitude eines symmetrischen Rechtecksignals bei minimaler Verzerrung. TV-, Funk- und Computer-Schaltungen verwenden häufig symmetrische Rechtecksignale für Timing-Signale.

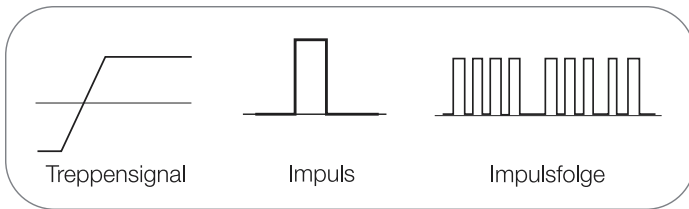
Das **unsymmetrische Rechtecksignal** ist dem symmetrischen ähnlich, jedoch sind die Intervalle für hohen und niedrigen Pegel nicht gleich lang. Das ist besonders dann wichtig, wenn Digitalschaltungen analysiert werden. Abbildung 6 zeigt Beispiele von symmetrischen und unsymmetrischen Rechtecksignalen.

## Sägezahn- und Dreieckssignale

**Sägezahn- und Dreieckssignale** stammen aus Schaltungen, die Spannungen linear steuern, wie z.B. die horizontale Ablenkung eines Analog-Oszilloskops oder der Raster-Scan eines Fernsehgeräts. Die Übergänge zwischen Spannungspegeln dieser Signalzüge ändern sich mit einer konstanten Rate. Diese Übergänge werden als **Rampen** bezeichnet. Abbildung 7 zeigt Beispiele von Sägezahn- und Dreieckssignalen.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 8.** Treppen-, Impuls- und Impulsfolge-Signale

### Treppen- und Impulssignale

Signale wie **Treppensignale** und **Impulse**, die selten oder nicht regelmäßig auftreten, werden als **einmalige** (oder Einzelschussignale) oder **transiente Signale** (oder Transienten) bezeichnet. Eine Treppe zeigt eine plötzliche Änderung der Spannung an – ähnlich der Spannungsänderung beim Einschalten eines Netzschalters.

Ein Impuls zeigt eine plötzliche Änderung der Spannung an – ähnlich der Spannungsänderung beim Ein- und nachfolgenden Ausschalten eines Netzschalters. Ein Impuls könnte ein Bit an Informationen darstellen, das durch eine Computerschaltung geleitet wird, oder es könnte ein **Glitch** (Fehler) in einer Schaltung sein. Eine Gruppe von Impulsen, die gemeinsam übertragen werden, erzeugt eine **Impulsfolge**. Digitalkomponenten in einem Computer kommunizieren untereinander mit Hilfe von Impulsen. Impulse treten auch häufig in Röntgen- und Kommunikationsgeräten auf.

Abbildung 8 zeigt Beispiele von Treppen-, Impuls- und Impulsfolge-Signalen.

### Periodische und nicht periodische Signale

Repetitive Signale werden als **periodische Signale** bezeichnet, während Signale, die sich laufend ändern, **nicht periodische Signale** genannt werden. Ein Standbild entspricht einem periodischen Signal, während ein bewegtes Bild einem nicht periodischen Signal entspricht.



► **Abbildung 9.** Ein NTSC-Composite-Videosignal ist ein Beispiel eines zusammengesetzten

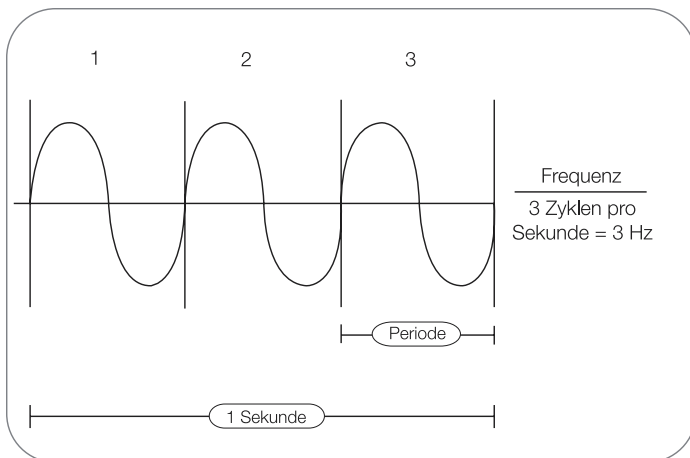
### Synchrone und asynchrone Signale

Wenn zwischen zwei Signalen ein Timing-Zusammenhang besteht, werden diese Signale als **synchron** bezeichnet. Takt-, Daten- und Adressensignale in einem Computer sind Beispiele für synchrone Signale.

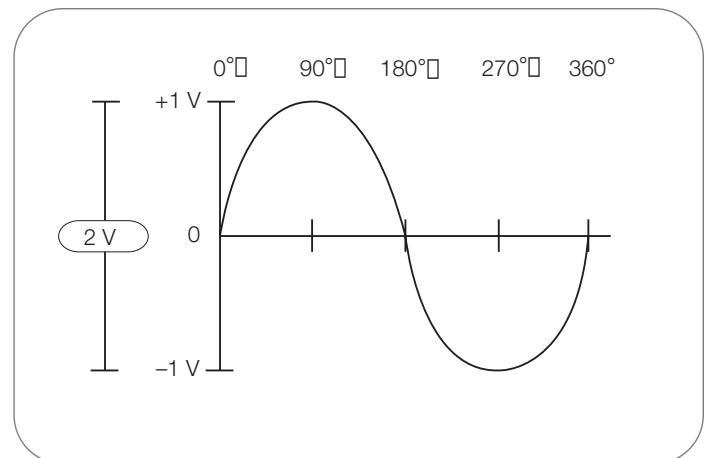
**Asynchron** ist ein Begriff, mit dem Signale beschrieben werden, zwischen denen kein Timing-Zusammenhang besteht. Da kein zeitlicher Zusammenhang zwischen der Berührung einer Taste auf einer Computertastatur und dem Takt des Computers vorliegt, werden diese beiden Signale als asynchron bezeichnet.

### Zusammengesetzte Signale

Einige Signale kombinieren die Charakteristiken von Sinussignalen, symmetrischen Rechteck- und Treppensignalen sowie Impulsen und erzeugen dadurch Signalzüge, die für viele Oszilloskope eine Herausforderung darstellen. Die Signalinformationen können in Form von Amplitude, Phase und/oder Frequenzvariationen in die Signalzüge eingebettet sein. Beispiel: Obwohl das Signal in Abbildung 9 ein gewöhnliches Composite-Videosignal ist, besteht es aus vielen Zyklen von Signalzügen mit höherer Frequenz, die in eine **Hüllkurve** mit niedriger Frequenz eingelagert sind. In diesem Beispiel ist es in der Regel am wichtigsten, die relativen Pegel und Timing-Zusammenhänge der Treppensignale zu verstehen. Zur Darstellung dieses Signals benötigen Sie ein Oszilloskop, das die niederfrequente Hüllkurve erfasst und die höherfrequenten Signalzüge der Hüllkurve helligkeitsmoduliert überlagert, damit Sie die Kombination als Bild sehen, das sich visuell interpretieren lässt. Analog- und Digital-Phosphor-Oszilloskope eignen sich am besten zum Darstellen zusammengesetzter Signale wie Videosignale (dargestellt in Abbildung 9). Deren Darstellungsart liefert die notwendigen Informationen über die Häufigkeit dieser Signale – oder helligkeitsmodulierte Darstellung –, die zum Verständnis der tatsächlichen Signalereignisse erforderlich sind.



► **Abbildung 10.** Frequenz und Periode eines Sinussignals



► **Abbildung 11.** Amplitude und Gradeinteilung eines Sinussignals

## Signalmessungen

Die mit einem Oszilloskop durchgeführten Arten von Messungen werden in vielen verschiedenen Begriffen beschrieben. Dieser Abschnitt beschreibt einige der gebräuchlichsten Messungen und Begriffe.

### Frequenz und Periode

Wenn sich ein Signal wiederholt, hat es eine **Frequenz**. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen. Sie ist die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde, auch als Zyklen pro Sekunde bezeichnet. Ein repetierendes Signal hat auch eine **Periode** – das ist die Zeitdauer, in der das Signal einen Zyklus durchläuft. Periode und Frequenz sind reziprok, d.h.  $1/\text{Periode}$  ist gleich der Frequenz und  $1/\text{Frequenz}$  ist gleich der Periode. Das Sinussignal in Abbildung 10 hat beispielsweise eine Frequenz von 3 Hz und eine Periode von einer 1/3-Sekunde.

## Spannung

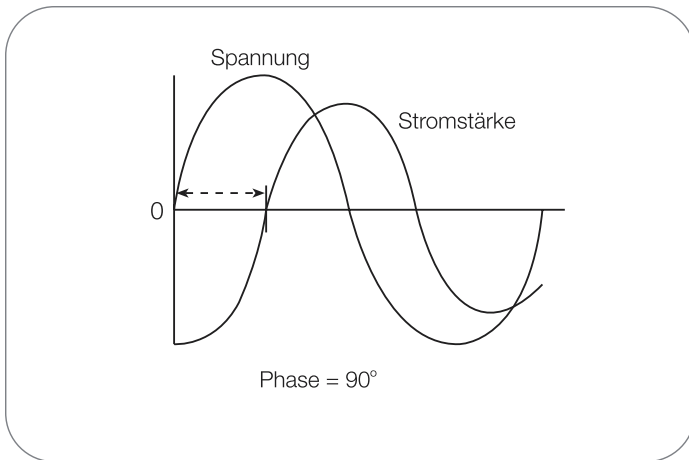
**Spannung** ist die Größe des elektrischen Potentials – oder die Signalstärke – zwischen zwei Punkten in einer Schaltung. In der Regel ist einer dieser Punkte (der Nullpegel) Masse oder Null Volt, aber das ist nicht immer der Fall. Die Spannung kann zwischen der maximalen Spitze und der minimalen Spitze eines Signals gemessen werden, das wird als Spitze-zu-Spitze-Spannung bezeichnet.

### Amplitude

Die **Amplitude** ist die Größe der Spannung zwischen zwei Punkten in einer Schaltung. Die Amplitude bezieht sich in der Regel auf die maximale Spannung eines von Masse (oder Null Volt) aus gemessenen Signals. Der in Abbildung 11 dargestellte Signalzug hat eine Amplitude von 1 V und eine Spitze-zu-Spitze-Spannung von 2 V.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen



► **Abbildung 12.** Phasenverschiebung

## Phase

**Phase** lässt sich am einfachsten unter Bezugnahme auf ein Sinussignal erklären. Der Spannungspegel von Sinussignalen beruht auf einer Kreisbewegung. Ein Kreis hat  $360^\circ$ , ein Zyklus eines Sinussignals hat ebenso  $360^\circ$  (dargestellt in Abbildung 11). Anhand der Gradeinteilung kann man sich auf den Phasenwinkel eines Sinussignals beziehen, wenn beschrieben werden soll, welcher Teil der Periode bereits abgelaufen ist.

Die **Phasenverschiebung** beschreibt die Timing-Differenz zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen. Der Signalzug in Abbildung 12 mit der Bezeichnung „Stromstärke“ ist um  $90^\circ$  phasenverschoben zum Signalzug mit der Bezeichnung „Spannung“, da die Signalzüge die gleichen Punkte in ihren Zyklen um exakt  $\frac{1}{4}$  Zyklus versetzt erreichen ( $360^\circ/4 = 90^\circ$ ).

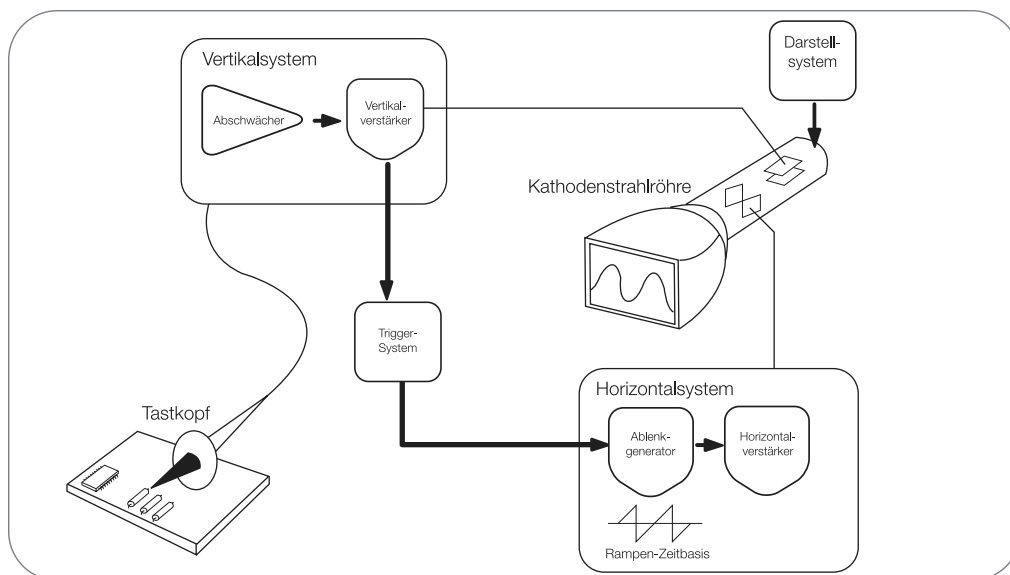
Phasenverschiebungen treten in der Elektronik häufig auf.

## Signalmessungen mit Digital-Oszilloskopen

Moderne Digital-Oszilloskope verfügen über Funktionen, die Signalmessungen erleichtern. Sie besitzen Frontplatten-Tasten und/oder Bildschirm-Menüs, mit bzw. aus denen voll automatisierte Messungen ausgewählt werden können. Dazu gehören Amplitude, Periode, Anstiegs-/ Abfallzeit und viele mehr. Viele digitale Messgeräte bieten auch Mittelwert- und Effektivwert-Berechnungen, Tastverhältnis und andere mathematische Operationen. Automatisierte Messungen werden auf dem Bildschirm als alphanumerische Messwertanzeigen dargestellt. In der Regel sind diese Messwertanzeigen genauer als die direkte Interpretation des Rasters.

Auf einigen Digital-Phosphor-Oszilloskopen verfügbare vollständig automatisierte Signalmessungen sind u.a.:

- |                              |                    |                       |
|------------------------------|--------------------|-----------------------|
| ► Periode                    | ► Tastverhältnis + | ► High                |
| ► Frequenz                   | ► Tastverhältnis – | ► Low                 |
| ► Breite +                   | ► Verzögerung      | ► Minimum             |
| ► Breite –                   | ► Phase            | ► Maximum             |
| ► Anstiegszeit               | ► Burst-Breite     | ► Überschwingen +     |
| ► Abfallzeit                 | ► Spitze-zu-Spitze | ► Überschwingen –     |
| ► Amplitude                  | ► Mittelwert       | ► Effektivwert        |
| ► Extinction Ratio           | ► Zyklusmittelwert | ► Zyklus-Effektivwert |
| ► Mittlere optische Leistung | ► Zyklusfläche     |                       |



► **Abbildung 13.** Die Architektur eines Analog-Oszilloskops

## Oszilloskop-Arten

Elektronische Geräte können in zwei Kategorien gegliedert werden: analog und digital. **Analoggeräte** arbeiten mit kontinuierlich variablen Spannungen, während **Digitalgeräte** mit diskreten Binärzahlen arbeiten, die Spannungsproben darstellen. Ein herkömmlicher Plattenspieler ist ein Analoggerät, ein CD-Player ist ein Digitalgerät.

Oszilloskope können ähnlich klassifiziert werden – als Analog- und Digital-Oszilloskope. Für viele Anwendungen reicht entweder ein Analog- oder Digital Oszilloskop aus. Jede dieser Oszilloskop-Arten hat einzigartige Charakteristiken, die es für bestimmte Aufgaben mehr oder weniger geeignet machen. Digital-Oszilloskope können weiter in Digitalspeicher-Oszilloskope (DSOs), Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) und Digital-Sampling-Oszilloskope unterteilt werden.

## Analog-Oszilloskope

Bei **Analog-Oszilloskopen** lenkt die Mess-Spannung direkt den Elektronenstrahl in vertikaler Richtung ab, während der Elektronenstrahl gleichzeitig von links nach rechts über den Oszilloskop-Bildschirm – in der Regel eine **Kathodenstrahlröhre** – fährt. Die Rückseite des Bildschirms ist mit Leuchtphosphor beschichtet, der aufleuchtet, wenn er vom Elektronenstrahl getroffen wird. Das Mess-Signal lenkt den Strahl nach oben und unten proportional ab, während der Strahl horizontal über den Bildschirm fährt, und erzeugt dadurch einen Signalzug auf dem Bildschirm.

Je häufiger der Strahl eine bestimmte Stelle auf dem Bildschirm trifft, desto heller leuchtet diese.

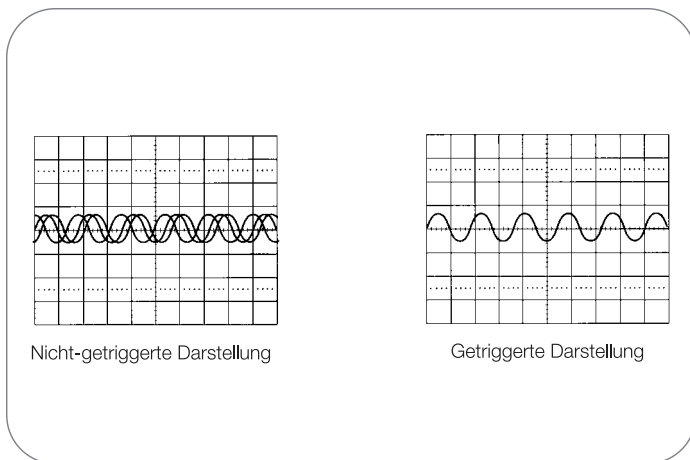
Die Kathodenstrahlröhre grenzt den Frequenzbereich ein, der von einem Analog-Oszilloskop dargestellt werden kann. Bei sehr niedrigen Frequenzen, erscheint das Signal als heller, sich langsam bewegender Punkt, der nur schwer als Signal erkennbar ist. Bei hohen Frequenzen legt die **Schreibgeschwindigkeit** der Bildröhre die Grenze fest. Wenn die Signalfrequenz höher als die Schreibgeschwindigkeit der Bildröhre ist, lässt sich die Darstellung nur noch schwach erkennen. Die schnellsten Analog-Oszilloskope können Frequenzen bis zu etwa 1 GHz darstellen.

Wenn Sie einen Oszilloskop-Tastkopf an eine Schaltung anschließen, wird das Spannungssignal durch den Tastkopf an das Vertikalsystem des Oszilloskops übertragen. Abbildung 13 illustriert, wie ein Analog-Oszilloskop ein gemessenes Signal darstellt. Je nach Einstellung der vertikalen Skala (Volt/Teil-Bedienelement) reduziert ein Abschwächer bzw. erhöht ein Verstärker das Mess-Signal.

Nun wird das Signal direkt zu den vertikalen Ablenkplatten der Bildröhre geleitet. Die an diese Ablenkplatten angelegte Spannung erzeugt eine vertikale Ablenkung des Leuchtpunktes, der über den Bildschirm fährt. Der Leuchtpunkt wird durch einen Elektronenstrahl erzeugt, der auf die Phosphorschicht an der Innenseite der Bildröhre auftrifft. Eine positive Spannung lenkt den Punkt nach oben, während eine negative Spannung den Punkt nach unten ablenkt.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



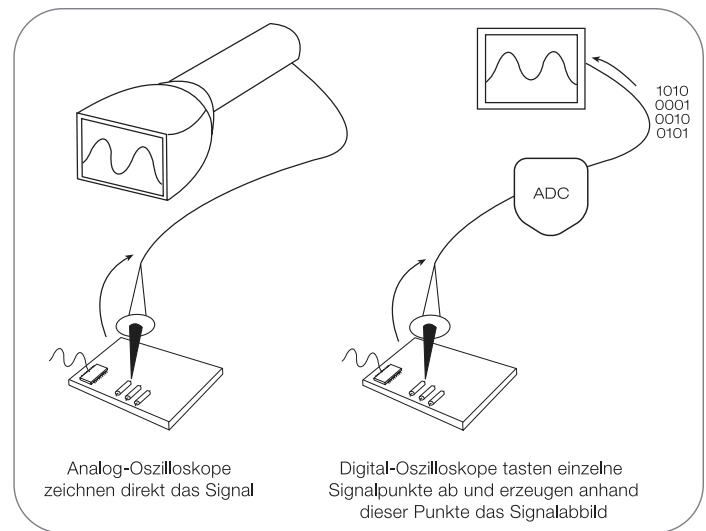
► **Abbildung 14.** Der Trigger stabilisiert einen repetitiven Signalzug und erzeugt dadurch ein klares Bild des Signals

Das Signal wird auch zum Trigger-System geführt, um eine **horizontale Ablenkung** zu starten bzw. zu triggern. Die horizontale Ablenkung bezieht sich auf die Aktion des Horizontalsystems, die den Leuchtpunkt quer über den Bildschirm führt. Die Triggerng des Horizontalsystems veranlasst die Zeitbasis, den Leuchtpunkt innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls von links nach rechts über den Bildschirm zu führen. Zahlreiche Ablenkungen in rascher Folge führen dazu, dass die Bewegung des Leuchtpunkts eine unterbrechungsfreie Linie ergibt. Bei höheren Geschwindigkeiten kann der Punkt bis zu 500.000 Mal pro Sekunde über den Bildschirm abgelenkt werden.

Gemeinsam zeichnen die horizontale Ablenkung und die vertikale Ablenkung des Elektronenstrahls eine Grafik des Signals auf dem Bildschirm. Der Trigger ist zum Stabilisieren eines sich wiederholenden Signals erforderlich – er stellt sicher, dass die Ablenkung am gleichen Punkt eines sich wiederholenden Signals beginnt und dass eine klare Darstellung erfolgt (siehe Abbildung 14).

Analog-Oszilloskope verfügen außerdem über Fokussier- und Intensitäts-Bedienelemente, mit denen eine scharfe, gut lesbare Darstellung eingestellt werden kann.

Analog-Oszilloskope werden häufig dann bevorzugt, wenn sich schnell ändernde Signale in „Echtzeit“, d.h. unmittelbar bei ihrem Auftreten, dargestellt werden sollen. Der Phosphorschicht-Bildschirm des Analog-Oszilloskops hat eine Eigenschaft, die als **helligkeitsmodulierte Darstellung** bezeichnet wird. Dabei wird der Signalzug dort heller (stärker), wo bestimmte Signalanteile häufiger auftreten. Mit dieser hellkeitsmodulierten Darstellung lassen sich Signaleinheiten einfach unterscheiden, indem die Helligkeit des Signalzugs beachtet wird.

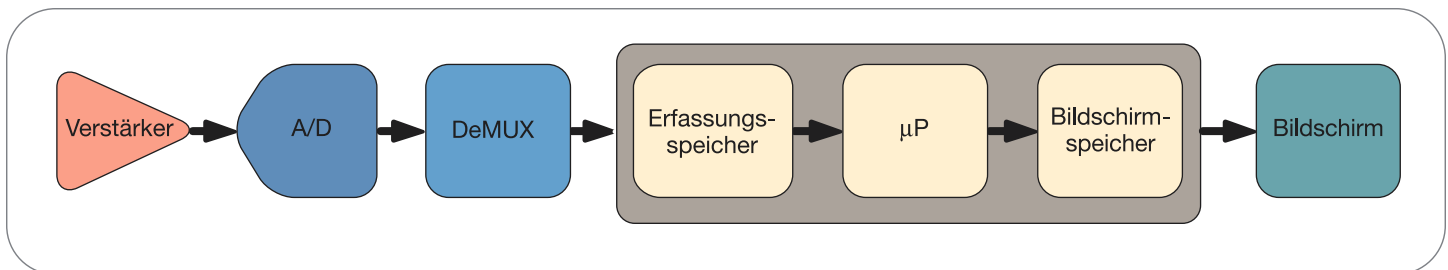


► **Abbildung 15.** Analog-Oszilloskope zeichnen Signale direkt, während Digital-Oszilloskope Signalpunkte abtasten und daraus Signalabbilder erzeugen

## Digital-Oszilloskope

Im Gegensatz zu einem Analog-Oszilloskop verwendet ein **Digital-Oszilloskop** einen Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) zur Umwandlung der gemessenen Spannung in digitale Informationen. Es erfasst das Signal als Serie von Abtastpunkten und speichert diese Abtastpunkte, bis genügend Punkte zur Beschreibung eines Signals vorhanden sind. Das Digital-Oszilloskop setzt diese Signalpunkte wieder zusammen, um sie auf dem Bildschirm als Signalabbild darstellen zu können. (Siehe Abbildung 15)

Digital-Oszilloskope können in Digitalspeicher-Oszilloskope (DSOs), Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) und Digital-Sampling-Oszilloskope unterteilt werden. Ein grundsätzlicher Vorteil digitaler Oszilloskope liegt in der Fähigkeit, beliebige Frequenzen innerhalb ihres Messbereichs stabil, hell und klar darstellen zu können. Bei repetitiven Signalen ist die Bandbreite eines Digital-Oszilloskops eine Funktion der analogen Bandbreite der Frontend-Komponenten des Oszilloskops, die gewöhnlich als der  $-3\text{dB}$ -Punkt bezeichnet werden. Bei einmaligen und transienten Ereignissen, wie Impuls- und Treppensignalen, kann die Bandbreite durch die Abtastrate des Oszilloskops begrenzt werden. Im Abschnitt „**Abtastrate**“ unter „**Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien**“ finden Sie genauere Informationen hierzu.



► **Abbildung 16.** Die serielle Verarbeitungsarchitektur eines Digital Speicher-Oszilloskops (DSO)

## Digital Speicher-Oszilloskope

Ein herkömmliches Digital-Oszilloskop ist unter der Bezeichnung Digital Speicher-Oszilloskop (DSO) bekannt. Bei seinem Bildschirm handelt es sich in der Regel um einen Rasterbildschirm anstelle von Leuchtphosphor.

Digital Speicher-Oszilloskope (DSOs) ermöglichen das Erfassen und Darstellen von Ereignissen, die nur einmal auftreten – diese Ereignisse werden als Transienten (oder einmalige Ereignisse) bezeichnet. Da Signalinformationen in digitaler Form als eine Serie gespeicherter Binärwerte vorliegen, können diese im Oszilloskop selbst oder auf einem externen Computer analysiert, archiviert, gedruckt und auf andere Weise verarbeitet werden. Das Signal muss nicht dauernd anliegen; es wird auch dann noch dargestellt, wenn das Signal verschwunden ist. Im Gegensatz zu Analog-Oszilloskopen bieten Digital Speicher-Oszilloskope einen permanenten Signalspeicher und weitreichende Signalverarbeitungsmöglichkeiten. DSOs verfügen in der Regel jedoch über keine Helligkeitsmodulierte Echtzeitdarstellung, d.h. sie können im direkt erfassten Signal keine verschiedenen Intensitätspegel darstellen.

Einige der Teilsysteme, aus denen ein DSO besteht, sind denen in einem Analog-Oszilloskop äußerst ähnlich. Ein DSO enthält jedoch zusätzliche Datenverarbeitungsteilsysteme, die zum Sammeln und Darstellen der Daten für den gesamten Signalzug verwendet werden. Ein DSO wendet eine serielle Verarbeitungsarchitektur an, um ein Signal zu erfassen und auf dem Bildschirm darzustellen, wie in Abbildung 16 gezeigt. Eine Beschreibung dieser seriellen Verarbeitungsarchitektur finden Sie nachstehend.

## Serielle Verarbeitungsarchitektur

Wie bei einem Analog-Oszilloskop ist die erste (Eingangs-)Stufe eines DSO ein Vertikalverstärker. Über die Vertikal-Bedienelemente können Sie die Amplitude und den Positionsbereich in dieser Stufe einstellen.

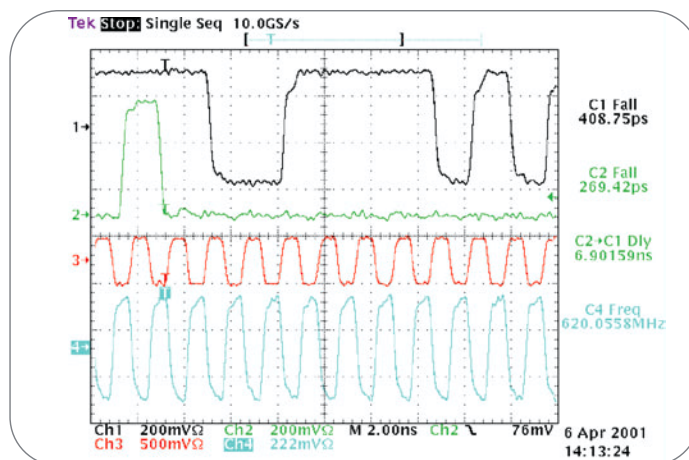
Der Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) im Horizontalsystem tastet das Signal zu diskreten Zeitpunkten ab und wandelt die Spannung des Messsignals an diesen Punkten in digitale Werte um, die als **Abtastpunkte** bezeichnet werden. Dieser Prozess wird als **Digitalisierung** eines Signals bezeichnet. Die Abtast-Taktrate des Horizontalsystems bestimmt, wie oft der AD-Wandler eine Abtastung durchführt. Diese Rate wird als die **Abtastrate** bezeichnet und in der Einheit Sample pro Sekunde (S/s) ausgedrückt.

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

### ► Grundlagen

Die Abtastpunkte aus dem AD-Wandler werden im Erfassungsspeicher als **Signalpunkte** gespeichert. Mehrere Abtastpunkte können einen Signalpunkt ergeben. Gemeinsam ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung (bzw. einen Signaldatensatz). Die Anzahl der Signalpunkte, die zum Erstellen einer Signalaufzeichnung benutzt werden, wird als **Speichertiefe** bezeichnet. Das Trigger-System bestimmt den Anfangs- und Endpunkt dieser Aufzeichnung.

Der Signalweg des DSO umfasst einen Mikroprozessor, durch den das gemessene Signal zum Bildschirm geleitet wird. Dieser Mikroprozessor verarbeitet das Signal, koordiniert die Bildschirm-Aktivitäten, verwaltet die Frontplatten-Bedienelemente und übernimmt noch weitere Aufgaben. Das Signal gelangt anschließend durch den Bildschirmspeicher und wird auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt.

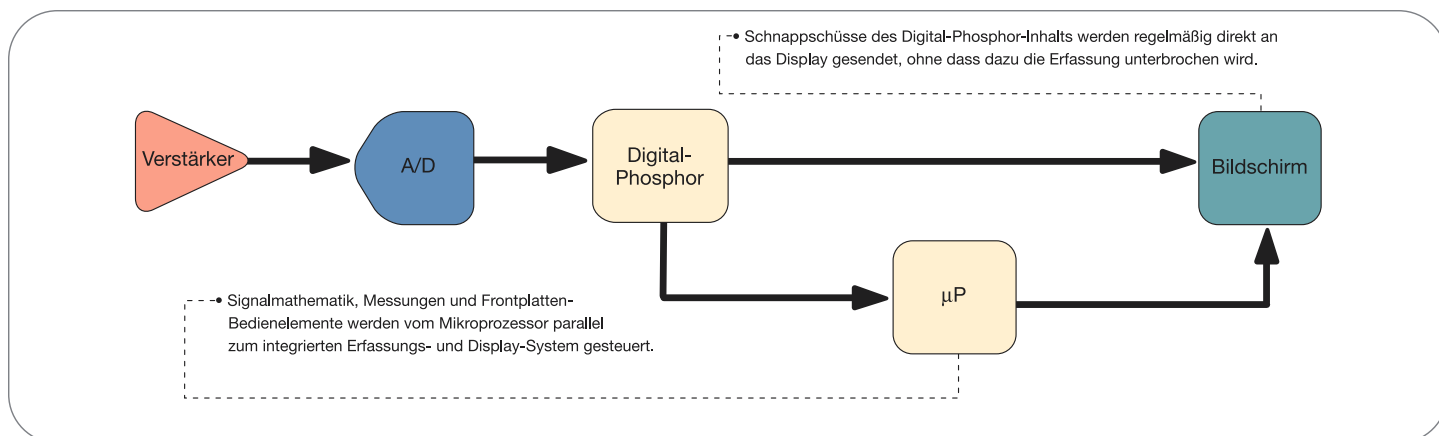


► **Abbildung 17.** Das TDS694C bietet Einzelschuss-Erfassungen mit hoher Geschwindigkeit auf mehreren Kanälen gleichzeitig, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass seltene Glitches und Transienten erfasst werden

Je nach den Fähigkeiten des Oszilloskops kann eine weitere Verarbeitung der Abtastpunkte erfolgen, welche die Signaldarstellung verbessert. Pretrigger kann auch verfügbar sein, damit Sie Ereignisse vor dem Trigger-Punkt sehen können. Die meisten der heutigen Digital-Oszilloskope bieten auch eine Auswahl automatischer parametrischer Messungen, die den Messvorgang vereinfachen.

Ein DSO liefert hohe Leistungsfähigkeit in einem Einzelschuss-Messgerät mit mehreren Kanälen (siehe Abbildung 17). DSOs eignen sich ideal für Anwendungen mit geringer Wiederholungsrate oder Einzelschuss-Mehrkanalanwendungen mit hoher Geschwindigkeit. In der Digitaldesign-Praxis untersuchen Ingenieure gewöhnlich vier oder mehr Signale gleichzeitig, wodurch das DSO ein wichtiges Hilfsmittel wird.





► **Abbildung 18.** Die parallele Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Phosphor-Oszilloskops (DPO)

## Digital-Phosphor-Oszilloskope

Beim Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) handelt es sich um eine völlig neue Art der Oszilloskop-Architektur. Diese Architektur ermöglicht dem DPO einzigartige Erfassungs- und Darstellungs-Fähigkeiten, mit denen ein Signal exakt wiedergegeben werden kann.

Während ein DSO eine serielle Verarbeitungsarchitektur zum Erfassen, Darstellen und Analysieren von Signalen einsetzt, wendet ein DPO für diese Funktionen eine parallele Verarbeitungsarchitektur an (siehe Abbildung 18). Die DPO-Architektur verwendet spezielle ASIC-Hardware zur Erfassung der Signalbilder und liefert hohe Signalerfassungsraten, die zu einer besseren Darstellung des Signals führen. Diese Technik erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass einmalige Ereignisse, die in Digitalsystemen auftreten, erfasst werden; zu diesen Ereignissen gehören Runt-Impulse, Glitche und Flankenfehler. Eine Beschreibung der parallelen Verarbeitungsarchitektur ist nachstehend aufgeführt.

### Parallele Verarbeitungsarchitektur

Wie bei einem Analog-Oszilloskop ist die erste (Eingangs-)Stufe eines DPO ein Vertikalverstärker; die zweite Stufe ist der eines DSO ähnlich – ein AD-Wandler. Das DPO unterscheidet sich jedoch nach der Analog-Digital-Wandlung entscheidend von seinen Vorgängern.

Bei allen Oszilloskopen – analog, DSO oder DPO – tritt immer eine Holdoff-Zeit auf, in der das Messgerät die zuletzt erfassten Daten verarbeitet, das System zurücksetzt und auf das nächste Trigger-Ereignis wartet. Während dieser Zeit kann das Oszilloskop keine Signalaktivitäten „sehen“. Die Wahrscheinlichkeit, ein seltenes Ereignis oder ein Ereignis mit niedriger Wiederholungsrate zu erkennen, nimmt mit zunehmender Holdoff-Zeit ab.

Es ist zu beachten, dass es unmöglich ist, die Wahrscheinlichkeit einer Erfassung zu bestimmen, indem einzig und allein die Bildschirm-Aktualisierungsrate berücksichtigt wird. Wenn man sich nur auf die Aktualisierungsrate verlässt, kann leicht der Fehler gemacht werden, anzunehmen, dass das Oszilloskop alle einschlägigen Informationen über das Signal erfasst, auch wenn dies in Realität jedoch nicht der Fall ist.

Das Digitalspeicher-Oszilloskop verarbeitet die erfassten Signale seriell. Die Geschwindigkeit des Mikroprozessors ist in diesem Vorgang ein Engpass, da er die Signalerfassungsrate begrenzt.

Das DPO rasterisiert die digitalisierten Signaldaten in eine Digital-Phosphor-Datenbank. Alle 1/30 Sekunden – etwa so schnell, wie durch das menschliche Auge wahrnehmbar – wird ein Schnappschuss des Signalbildes, das in der Datenbank gespeichert ist, direkt an das Display-System ausgegeben. Diese direkte Rasterisierung der Signaldaten und der direkte Kopiervorgang aus der Datenbank in den Display-Speicher eliminiert den Datenverarbeitungs-Engpass, der anderen Architekturen zu eigen ist. Das Ergebnis ist eine verbesserte „live-time“ und eine direkte Display-Aktualisierung. Signaldetails, intermittierende Ereignisse und dynamische Signalcharakteristiken werden in Echtzeit erfasst. Der Mikroprozessor des DPO arbeitet parallel zum integrierten Erfassungssystem an der Bildschirm-Verwaltung, Messautomatisierung und Messgerätsteuerung, damit die Erfassungsgeschwindigkeit des Oszilloskops nicht beeinträchtigt wird.

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

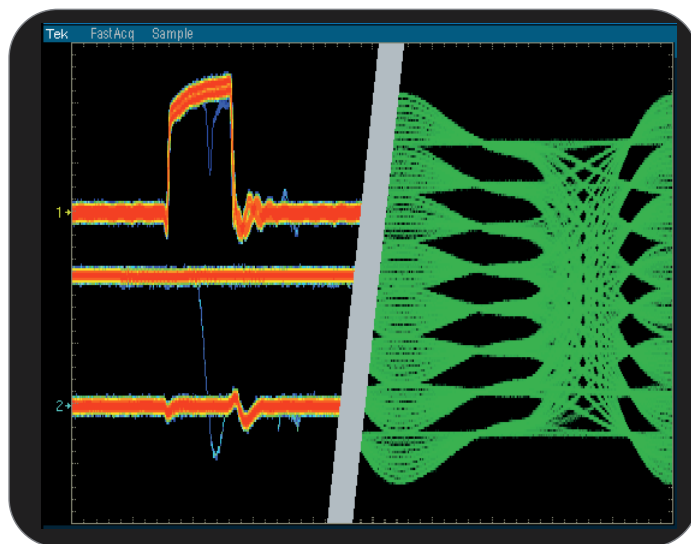
### ► Grundlagen

Ein DPO emuliert die Darstellungsart eines Analog-Oszilloskops wahrheitsgetreu und stellt das Signal in drei Dimensionen in Echtzeit dar: Zeit, Amplitude und Verteilung der Amplitude über Zeit.

Im Unterschied zu einem Analog-Oszilloskop, das sich auf eine chemische Phosphorschicht stützt, verwendet ein DPO einen rein elektronischen Digital-Phosphor, der im Grunde eine laufend aktualisierte Datenbank ist. Diese Datenbank enthält für jedes einzelne Pixel im Oszilloskop-Display eine separate „Zelle“ an Informationen. Jedes Mal, wenn ein Signal erfasst wird – d.h. bei jeder Triggerung des Oszilloskops – wird dieses in die Zellen der Digital-Phosphor-Datenbank aufgenommen. Jede Zelle, die eine Bildschirmstelle darstellt und vom Signal „berührt“ wird, wird durch Intensitätsinformationen verstärkt – bei den anderen Zellen ist das nicht der Fall. Auf diese Weise sammeln sich die Intensitätsinformationen in den Zellen, über die das Signal am häufigsten verläuft.

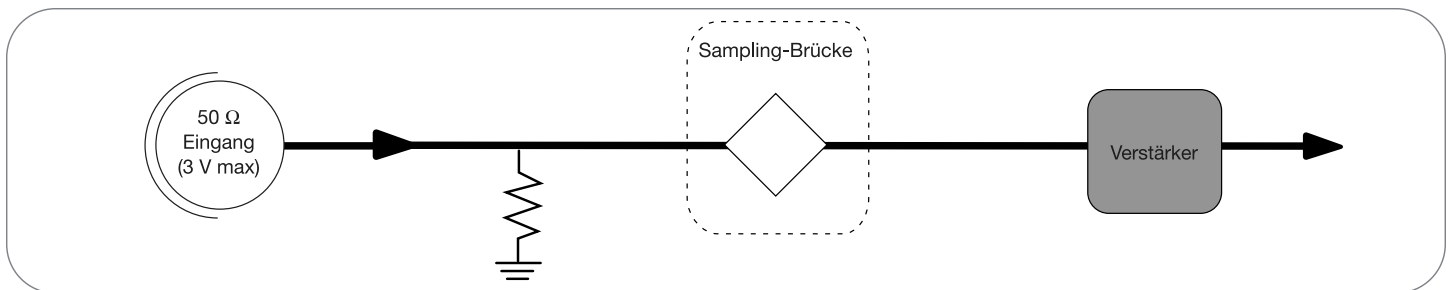
Wenn die Digital-Phosphor-Datenbank an den Oszilloskop-Bildschirm ausgegeben wird, zeigt das Display intensive Signalbereiche proportional zur Häufigkeit, mit der das Signal jeden Punkt durchläuft – ähnlich wie die Helligkeitsmodulierte Darstellung eines Analog-Oszilloskops. Das DPO ermöglicht außerdem die Darstellung der Informationen über die variierende Häufigkeit der Signalereignisse auf dem Bildschirm in kontrastierenden Farben – etwas, das beim Analog-Oszilloskop nicht möglich ist. Mit einem DPO kann der Unterschied zwischen einem Signal, das fast bei jeder Triggerung auftritt, und einem Signal, das beispielsweise alle 100 Triggerungen auftritt, einfach erkannt werden.

Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) verbinden die Vorteile der Analog- und Digital-Oszilloskoptechnologie. Sie eignen sich gleichermaßen zur Darstellung hoher und niedriger Frequenzen, repetierender Signale, Transienten und Signalvariationen in Echtzeit. Nur ein DPO bietet die Z-Achse (Intensität) in Echtzeit, die bei konventionellen DSOs fehlt.



► **Abbildung 19.** Einige DPOs können Millionen von Signalen in nur Sekunden erfassen und dadurch die Wahrscheinlichkeit beachtlich erhöhen, dass intermittierende und seltene Ereignisse erfasst sowie dynamisches Signalverhalten sichtbar gemacht werden

Ein DPO eignet sich ideal für Aufgaben, bei denen das beste Allround-Design- und Fehlersuchgerät für einen vielseitigen Anwendungsbereich erforderlich ist (siehe Abbildung 19). Ein DPO ist musterhaft für Telekom-Maskenprüfung, digitales Austesten intermittierender Signale, repetierende Digitaldesign- und Timing-Anwendungen.



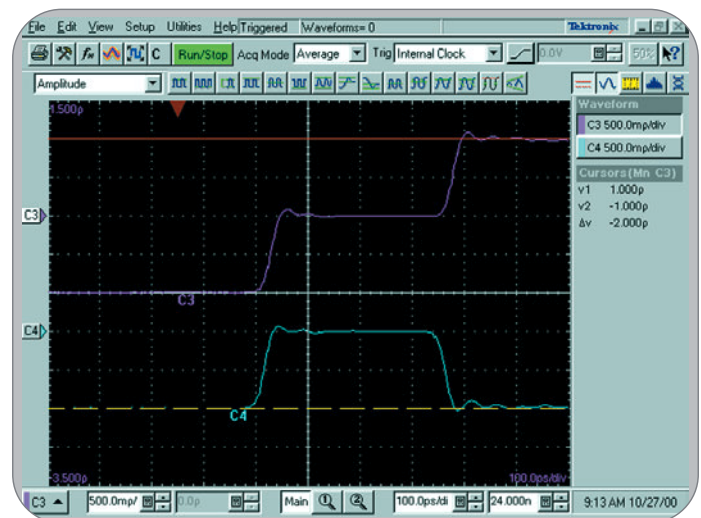
► **Abbildung 20.** Die Architektur eines Digital-Sampling-Oszilloskops

## Digital-Sampling-Oszilloskope

Wenn hochfrequente Signale zu messen sind, ist das Oszilloskop u.U. nicht in der Lage, während eines Ablenkvorgangs genügend Abtastpunkte zu sammeln. Ein Digital-Sampling-Oszilloskop ist ein ideales Gerät für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzkomponenten wesentlich höher als die Abtastrate des Oszilloskops sind (siehe Abbildung 21). Dieses Oszilloskop kann bis zu eine Dekade schnellere Signale messen als jedes andere Oszilloskop. Es erreicht für repetierende Signale um bis zu 10 Mal höhere Bandbreiten und schnelleres Timig-Verhalten als andere Oszilloskope. Sequenzielle Äquivalentzeit-Sampling-Oszilloskope sind mit Bandbreiten von bis zu 50 GHz erhältlich.

Im Gegensatz zu den Digitalspeicher- und Digital-Phosphor-Oszilloskop-Architekturen wird bei der Architektur des Digital-Sampling-Oszilloskops die Position von Abschwächer/Verstärker und Sampling-Brücke vertauscht (siehe Abbildung 20). Das Eingangssignal wird vor der Abschwächer-/Verstärker-Einheit abgetastet. Nach der Sampling-Brücke kann dann ein Verstärker mit niedriger Bandbreite eingesetzt werden, da das Signal bereits durch das Sampling-Gate zu einer niedrigeren Frequenz umgewandelt wurde und dadurch ein Messgerät mit wesentlich höherer Bandbreite ergibt.

Der Nachteil dieser hohen Bandbreite ist jedoch ein eingeschränkter Dynamikbereich des Sampling-Oszilloskops. Da vor dem Sampling-Gate kein Abschwächer bzw. kein Verstärker vorhanden ist, kann der Eingang nicht skaliert werden. Die Sampling-Brücke muss in der Lage sein, den vollständigen Dynamikbereich des Eingangs jederzeit bewältigen zu können. Der Dynamikbereich der meisten Sampling-Oszilloskope ist daher auf etwa 1 V Spitze-zu-Spitze beschränkt. Digitalspeicher- und Digital-Phosphor-Oszilloskope können andererseits 50 bis 100 V aufnehmen.



► **Abbildung 21.** Zeitbereichs-Reflektometrie-Darstellung (TDR) eines TDS8000 Digital-Sampling-Oszilloskops mit dem 20-GHz-Sampling-Modul 80E04

Außerdem können keine Schutzdioden vor die Sampling-Brücke gesetzt werden, da dies die Bandbreite beschränken würde. Das reduziert die maximale Eingangsspannung (Zerstörungsgrenze) eines Sampling-Oszilloskops auf etwa 3 V – im Vergleich zu 500 V für andere Oszilloskop-Arten.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 22.** Bedienenelemente auf der Frontplatte eines Oszilloskops

## Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops

Ein Oszilloskop besteht grundlegend aus vier verschiedenen Systemen: dem Vertikalsystem, Horizontalsystem, Trigger-System und Display-System. Das Verständnis der einzelnen Systeme versetzt Sie in die Lage, das Oszilloskop effektiv einzusetzen, um die jeweils vorliegenden Messaufgaben zu bewältigen. Denken Sie daran, dass jedes System zur Fähigkeit eines Oszilloskops beiträgt, ein Signal exakt zu rekonstruieren.

Dieser Abschnitt beschreibt in Umrissen die grundlegenden Systeme und Bedienelemente von Analog- und Digital-Oszilloskopen. Einige Bedienelemente unterscheiden sich bei Analog- und Digital-Oszilloskopen; außerdem verfügt Ihr Oszilloskop wahrscheinlich über Bedienelemente, die hier nicht beschrieben sind.

Die Frontplatte eines Oszilloskops ist in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als **Vertikal**, **Horizontal** und **Trigger** bezeichnet werden. Das Oszilloskop kann je nach Modell und Art (analog oder digital) auch noch über andere Abschnitte verfügen (siehe Abbildung 22). Versuchen Sie beim Lesen dieses Abschnittes festzustellen, wo sich diese Frontplatten-Abschnitte in Abbildung 22 und auf Ihrem Oszilloskop befinden.

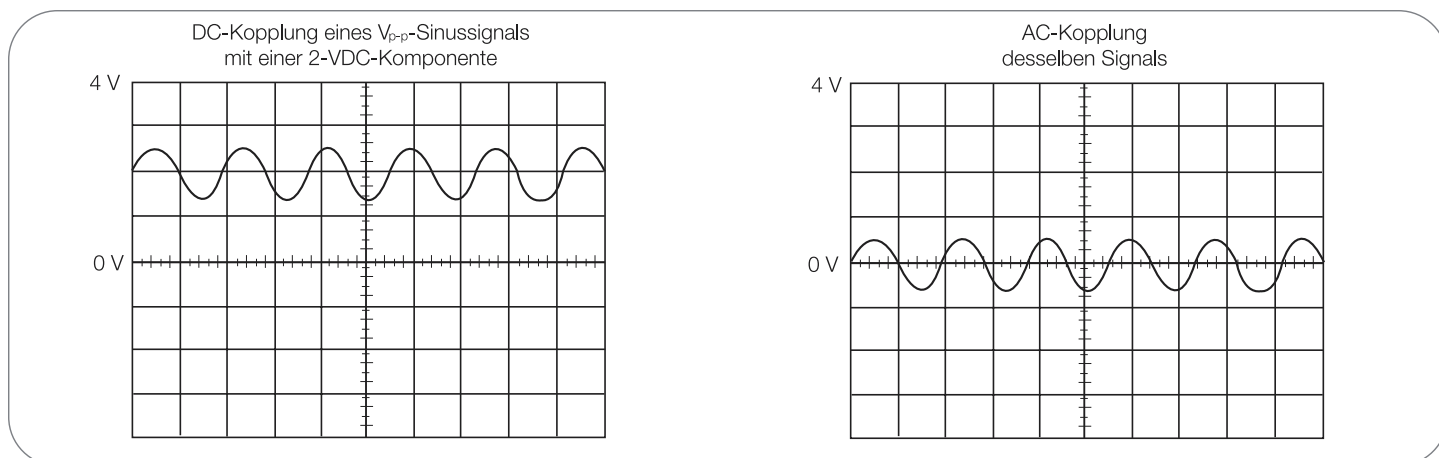
Beim Einsatz eines Oszilloskops müssen drei grundlegende Einstellungen vorgenommen werden, um ein eingehendes Signal aufzunehmen:

- Die **Dämpfung** oder **Verstärkung** des Signals. Stellen Sie mit dem Bedienelement Volt/Teil die Amplitude des Signals auf den gewünschten Messbereich ein.
- Die **Zeitbasis**. Stellen Sie mit dem Bedienelement Sek/Teil die Zeitdauer pro Teil ein, die horizontal über den Bildschirm dargestellt wird.
- Die **Triggerung** des Oszilloskops. Mit dem **Trigger-Pegel** stabilisieren Sie ein sich wiederholendes Signal oder triggern auf einem einzelnen Ereignis.

## Vertikalsystem und Bedienelemente

Die Vertikal-Bedienelemente dienen zur Positionierung und Skalierung des Signals entlang der vertikalen Achse. Die Vertikal-Bedienelemente können auch zum Festlegen der Eingangskopplung und anderer Signalaufbereitungen verwendet werden, die später in diesem Abschnitt erläutert werden. Übliche Vertikal-Bedienelemente sind u.a.:

- Abschlusswiderstand
  - 1 M $\Omega$
  - 50  $\Omega$
- Kopplung
  - DC
  - AC
  - GND
- Bandbreitenbegrenzung
  - 20 MHz
  - 250 MHz
  - Voll
- Position
- Offset
- Invertierung - Ein/Aus
- Skalierung
  - 1-2-5
  - Variabel
- Zoomen



► **Abbildung 23.** AC- und DC-Eingangskopplung

## Position und Volt pro Teil

Die Vertikalposition-Bedienelemente ermöglichen es Ihnen, die Signale auf dem Bildschirm an die gewünschte Stelle nach unten bzw. nach oben zu verschieben.

Die Einstellung „Volt pro Teil“ (gewöhnlich als Volt/Teil angegeben) ändert die Größe des Signals auf dem Bildschirm. Ein gutes Allzweck-Oszilloskop kann Signalpegel zwischen etwa 4 Millivolt und 40 Volt exakt darstellen.

Die Einstellung Volt/Teil ist ein Skalierfaktor. Wenn die Einstellung für Volt/Teil 5 V beträgt, stellt jeder der acht vertikalen Teile 5 V dar und der gesamte Bildschirm kann von unten bis oben 40 Volt darstellen, vorausgesetzt es liegt ein Raster mit acht Teilen vor. Wenn die Einstellung 0,5 Volt/Teil beträgt, kann der Bildschirm von unten bis oben 4 Volt darstellen usw. Die auf dem Bildschirm maximal darstellbare Spannung ist die Einstellung Volt/Teil multipliziert mit der Anzahl der vertikalen Teile. Es ist zu beachten, dass der verwendete Tastkopf, 1X oder 10X, den Skalierfaktor ebenso beeinflusst. Sie müssen die Volt/Teil-Skala durch den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs dividieren, wenn dies das Oszilloskop nicht für Sie übernimmt.

Häufig verfügt die Volt/Teil-Skala entweder über ein Bedienelement für variable Verstärkung oder Feineinstellung der Verstärkung zur Skalierung eines dargestellten Signals auf eine bestimmte Anzahl von Teilen. Mit dieser Einstellmöglichkeit werden Anstiegszeitmessungen vereinfacht.

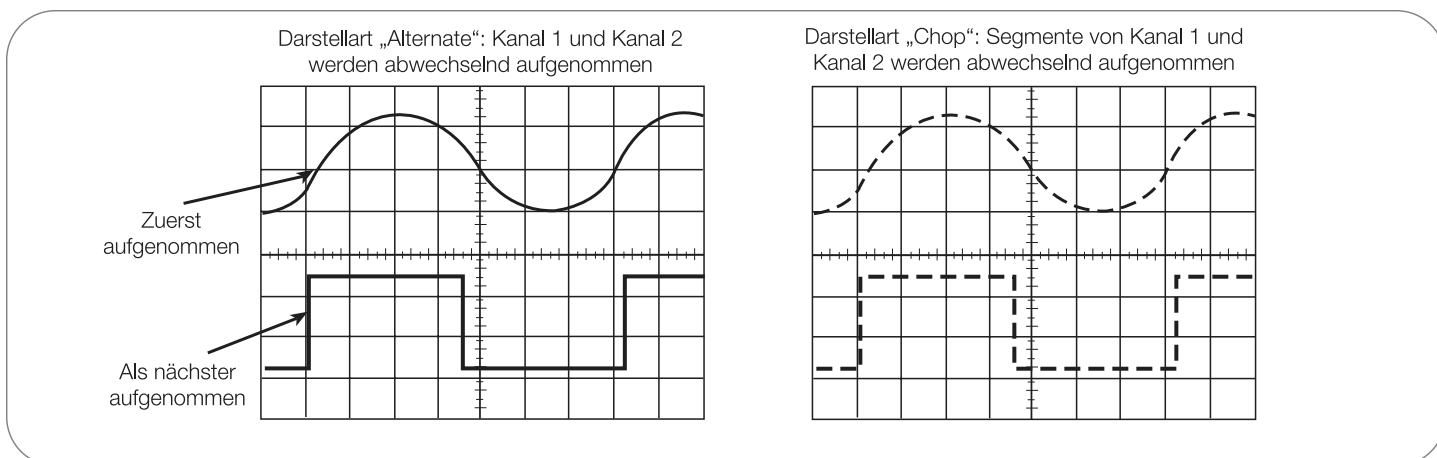
## Eingangskopplung

**Kopplung** bezieht sich auf die Methode, mit der ein elektrisches Signal von einer Schaltung mit der nächsten verbunden wird. In diesem Fall ist die Eingangskopplung die Verbindung zwischen Prüfling und Oszilloskop. Die Kopplung kann auf DC, AC oder Masse eingestellt werden. DC-Kopplung zeigt das gesamte Eingangssignal. AC-Kopplung blockiert die DC-Komponente eines Signals, damit das Signal um Null Volt zentriert dargestellt wird. Abbildung 23 veranschaulicht diesen Unterschied. Die Einstellung AC-Kopplung ist von Vorteil, wenn das gesamte Signal (Wechselstrom und Gleichstrom) zu groß für die Einstellung Volt/Teil ist.

Die Masse-Einstellung trennt das Eingangssignal vom Vertikalsystem, wodurch Sie sehen können, wo auf dem Bildschirm Null Volt liegt. Bei geerdeter Eingangskopplung und automatischem Trigger-Modus wird auf dem Bildschirm eine horizontale Linie dargestellt, die Null Volt repräsentiert. Wenn von Masse auf DC und wieder zurückgeschaltet wird, kann der Spannungspegel bezogen auf Masse einfach gemessen werden.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 24.** Mehrkanal-Darstellarten

### Bandbreitenbegrenzung

Die meisten Oszilloskope verfügen über Schaltungen, welche die Bandbreite des Oszilloskops begrenzen. Durch die Begrenzung der Bandbreite wird Störgeräusch reduziert, das manchmal im dargestellten Signal erscheint; das Ergebnis ist eine schärfere Signaldarstellung. Es ist zu beachten, dass die Begrenzung der Bandbreite zwar Störgeräusch eliminiert, jedoch gleichzeitig auch den hochfrequenten Signalinhalt reduziert oder eliminiert.

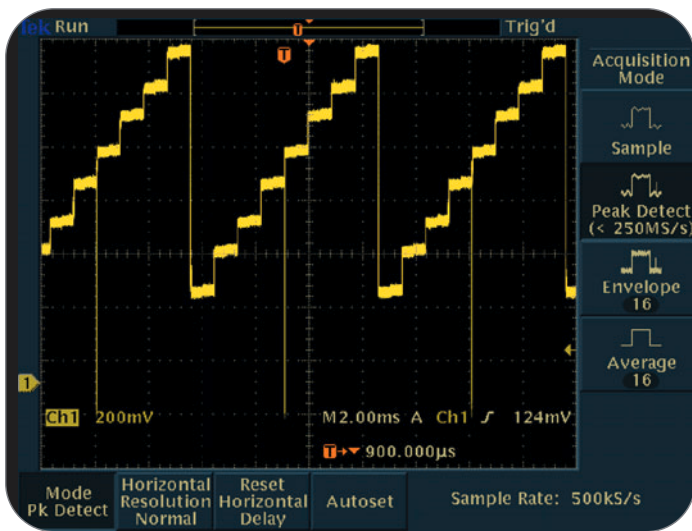
### Darstellarten „Alternate“ und „Chop“

Mehrere Kanäle von Analog-Oszilloskopen werden entweder im **Modus „Alternate“** oder **„Chop“** dargestellt. (Viele Digital-Oszilloskope können mehrere Kanäle gleichzeitig darstellen, ohne auf die Modi „Alternate“ oder „Chop“ zugreifen zu müssen.)

Im **Modus „Alternate“** wird abwechselnd jeder Kanal einzeln aufgenommen und angezeigt – das Oszilloskop zeigt zunächst eine Ablenkung von Kanal 1, dann eine weitere Ablenkung von Kanal 2, nun eine weitere Ablenkung von Kanal 1 usw. Dieser Modus wird bei mittelschnellen bis schnellen Signalen verwendet, wenn die Sek/Teil-Skala auf 0,5 ms oder schneller eingestellt ist.

Im **„Chop“-Modus** erfasst das Oszilloskop kleine Teile eines jeden Signals, indem zwischen diesen hin und her geschaltet wird. Die Schaltgeschwindigkeit ist so schnell, dass sie vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden kann; das Signal sieht daher unversehrt aus. Dieser Modus wird in der Regel bei langsamen Signalen verwendet, die Ablenkgeschwindigkeiten von 1 ms pro Teil oder weniger erfordern. Abbildung 24 zeigt die Unterschiede zwischen diesen beiden Modi. Es ist oft von Vorteil, sich das Signal zu Testzwecken auf beide Arten anzuschauen, um ein optimales Signalbild zu erhalten.





► **Abbildung 25.** Beispiel eines Erfassungsmenüs

## Horizontalsystem und Bedienelemente

Das Horizontalsystem eines Oszilloskops ist mit der Erfassung eines Eingangssignals am engsten verknüpft – hier werden u.a. die Abtastrate und Speichertiefe eingestellt. Die Horizontal-Bedienelemente dienen zur Positionierung und Skalierung des Signals entlang der horizontalen Achse. Übliche Horizontal-Bedienelemente sind u.a.:

- Hauptsystem
- Verzögerung
- XY
- Skala
  - 1-2-5
  - variabel
- Signaltrennung
- Speichertiefe
- Auflösung
- Abtastrate
- Trigger-Position
- Zoomen

## Erfassungs-Bedienelemente

Digital-Oszilloskope verfügen über Einstellungen, mit denen festgelegt wird, wie das Erfassungssystem ein Signal verarbeitet. Sehen Sie sich die Erfassungsoptionen auf Ihrem Digital-Oszilloskop an, während Sie diese Beschreibung lesen. Abbildung 25 zeigt ein Beispiel eines Erfassungsmenüs.

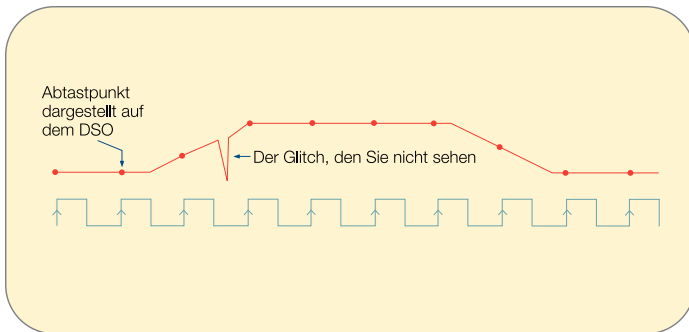
## Erfassungsmodi

Die Erfassungsmodi legen fest, wie Signalpunkte aus den Abtastpunkten erzeugt werden. Abtastpunkte sind die Digitalwerte, die der Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) direkt liefert. Das **Abtastintervall** bezieht sich auf die Zeitdauer zwischen den Abtastpunkten. **Signalpunkte** sind die Digitalwerte, die im Speicher gespeichert sind und dargestellt werden, um das Signal zu zeigen. Die Zeitdifferenz zwischen den Signalpunkten wird als das **Signalintervall** bezeichnet.

Das Abtastintervall und das Signalintervall können, müssen aber nicht gleich sein. Diese Tatsache führt zu mehreren verschiedenen Erfassungsmodi, bei denen ein Signalpunkt aus mehreren sequenziell erfassten Abtastpunkten besteht. Außerdem können Signalpunkte aus einer Zusammenstellung von Abtastpunkten, die aus mehreren Erfassungen stammen, erzeugt werden, was zu einem weiteren Satz von Erfassungsmodi führt. Nachstehend folgt eine Beschreibung der am häufigsten verwendeten Erfassungsmodi.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

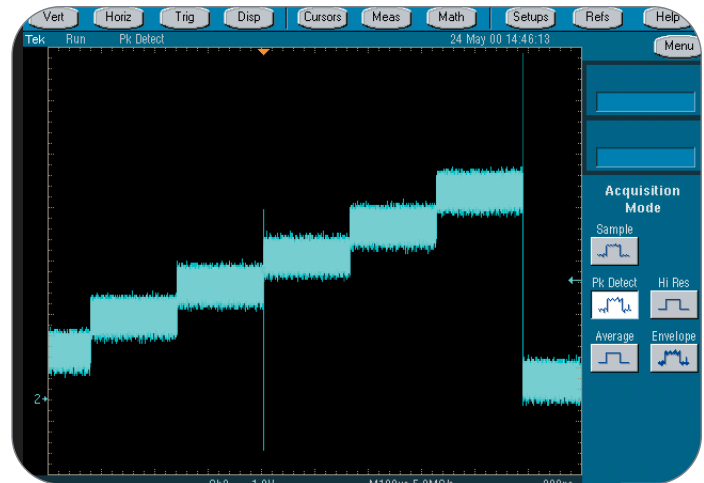
## ► Grundlagen



► **Abbildung 26.** Die Abtastrate ändert sich mit den Zeitbasis-Einstellungen – je langsamer die Zeitbasis-Einstellung, desto langsamer ist die Abtastrate. Einige Digital-Oszilloskope bieten einen Spitzenwerterfassungsmodus zum Erfassen schneller Transienten bei niedrigen Ablenkgeschwindigkeiten

## Erfassungsmodi

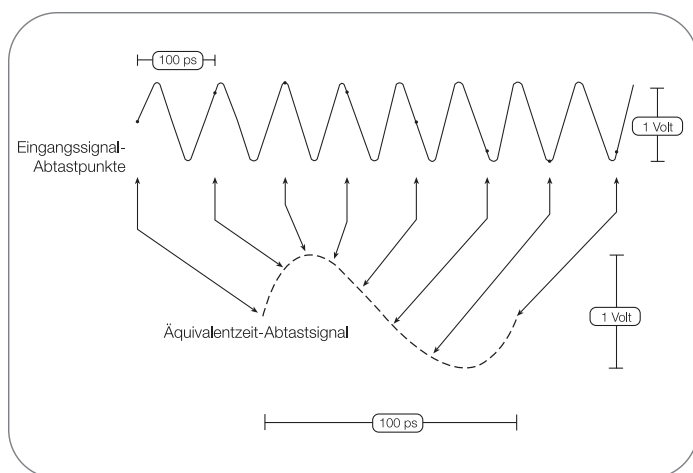
- **Abtastmodus:** Das ist der einfachste Erfassungsmodus. Das Oszilloskop erzeugt einen Signalpunkt, indem in jedem Signalintervall ein Abtastpunkt gespeichert wird.
- **Spitzenwerterfassungsmodus:** Das Oszilloskop speichert die Minima und Maxima der innerhalb von zwei Signalintervallen aufgenommenen Abtastpunkte und verwendet diese Abtastpunkte als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte. Bei Digital-Oszilloskopen mit Spitzenwerterfassungsmodus arbeitet der AD-Wandler mit einer schnellen Abtastrate – und das sogar bei sehr langsamen Zeitbasis-Einstellungen (langsame Zeitbasis-Einstellungen bedeuten lange Signalintervalle); daher können schnelle Signaländerungen erfasst werden, die im Abtastmodus zwischen den Signalpunkten auftreten würden (siehe Abbildung 26). Der Spitzenwerterfassungsmodus ist besonders dann von Vorteil, wenn schmale Impulse in zeitlich großen Abständen dargestellt werden müssen (siehe Abbildung 27).
- **„Hi Res“-Modus:** Wie bei der Spitzenwerterfassung ist der „Hi Res“-Modus eine Methode, mit der zusätzliche Informationen erhalten werden, wenn der AD-Wandler schneller abtasten kann, als dies durch die Zeitbasis-Einstellungen erforderlich ist. In diesem Fall werden in einem Signalintervall mehrere Abtastungen vorgenommen und dann gemittelt, um einen Signalpunkt zu erzeugen. Das Ergebnis ist vermindertes Störgeräusch und eine verbesserte Auflösung bei langsamen Signalen.



► **Abbildung 27.** Mit dem Spitzenwerterfassungsmodus kann das Oszilloskop der TDS7000-Serie nicht repetierende Anomalien mit Breiten bis zu 100 ps erfassen

- **Hüllkurvenmodus:** Der Hüllkurvenmodus ist dem Spitzenwerterfassungsmodus ähnlich. Im Hüllkurvenmodus werden jedoch die Minima und Maxima der Signalpunkte aus verschiedenen Erfassungen kombiniert und bilden ein Signal, das die Min./Max.- Akkumulation über Zeit darstellt. Der Spitzenwerterfassungsmodus dient in der Regel zum Erfassen der Aufzeichnungen, die zur Bildung des Hüllkurvensignals kombiniert werden.
- **Mittelwertmodus:** Im Mittelwertmodus speichert das Oszilloskop pro Signalintervall einen Abtastpunkt – wie im Abtastmodus. Die Signalpunkte aus aufeinander folgenden Erfassungen werden jedoch anschließend gemittelt, um das endgültige, dargestellte Signal zu erzeugen. Der Mittelwertmodus reduziert Störgeräusch ohne jeglichen Verlust an Bandbreite, setzt jedoch ein sich wiederholendes Signal voraus.





► **Abbildung 28.** Grundlegende Abtastung. Die Abtastpunkte werden durch Interpolation verbunden und ergeben so ein durchgehendes Signal

## Starten und Anhalten des Erfassungssystems

Einer der größten Vorteile von Digital-Oszilloskopen ist ihre Fähigkeit, Signale zur späteren Darstellung zu speichern. Dazu sind auf der Frontplatte gewöhnlich eine oder mehrere Tasten vorgesehen, mit denen das Erfassungssystem gestartet und angehalten werden kann, damit Sie die Signale zu einem für Sie günstigen Zeitpunkt analysieren können. Außerdem kann es wünschenswert sein, den Erfassungsvorgang des Oszilloskops nach Abschluss einer Erfassung oder nach Umwandlung eines Datensatzes in ein Hüllkurvensignal oder gemittelttes Signal automatisch anzuhalten. Dieses Funktionsmerkmal wird in der Regel als Einzelschuss oder Einzelfolge bezeichnet; die Bedienelemente dafür befinden sich gewöhnlich in der Nähe der anderen Erfassungs-Bedienelemente oder bei den Trigger-Bedienelementen.

## Abtastung

**Abtastung** ist der Vorgang, bei dem ein Teil eines Eingangssignals in eine Anzahl diskreter elektrischer Werte umgewandelt wird, damit diese gespeichert, verarbeitet und/oder dargestellt werden können. Die Größe der einzelnen Abtastpunkte ist gleich der Amplitude des Eingangssignals, und zwar zu dem Zeitpunkt, an dem das Signal abgetastet wurde.

Die Abtastung entspricht der Aufnahme eines Schnappschusses mit einer Kamera. Jeder Schnappschuss gehört zu einem bestimmten Zeitpunkt im Signal. Diese Schnappschüsse können dann in passender zeitlicher Reihenfolge angeordnet werden, um das Eingangssignal zu rekonstruieren.

In einem Digital-Oszilloskop wird ein Array (eine Matrix) von Abtastpunkten auf einem Display mit der gemessenen Amplitude auf der vertikalen Achse und der Zeit auf der horizontalen Achse rekonstruiert (siehe Abbildung 28).

Das Eingangssignal in Abbildung 28 ist als Serie von Punkten auf dem Display dargestellt. Wenn die Punkte einen großen Abstand voneinander haben und nur schwer als Signal zu interpretieren sind, können die Punkte anhand eines Prozesses, der Interpolation genannt wird, verbunden werden. Bei der Interpolation werden die Punkte durch Linien oder Vektoren miteinander verbunden. Es stehen zahlreiche Interpolationsmethoden zur Verfügung, die zur Erzeugung einer genauen Darstellung eines durchgehenden Eingangssignals angewendet werden können.

## Abtast-Bedienelemente

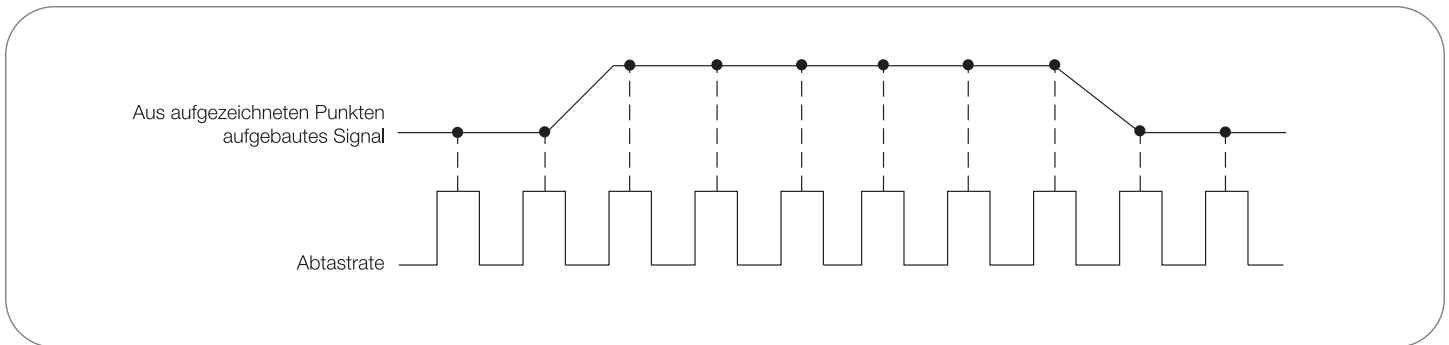
Einige Digital-Oszilloskope bieten dem Benutzer eine Auswahl von Abtastmethoden – entweder Echtzeit-Abtasttechnik oder Äquivalenzzeit-Abtastung. Die Erfassungs-Bedienelemente dieser Oszilloskope ermöglichen Ihnen die Auswahl einer Methode zur Erfassung von Signalen. Es ist zu beachten, dass diese Wahlmöglichkeit bei niedrigen Basiszeit-Einstellungen keinen Unterschied ausmacht und nur dann einen Effekt hat, wenn der AD-Wandler nicht schnell genug abtasten kann, um den Datensatz in einem Durchgang mit Signalpunkten zu füllen.

## Abtastmethoden

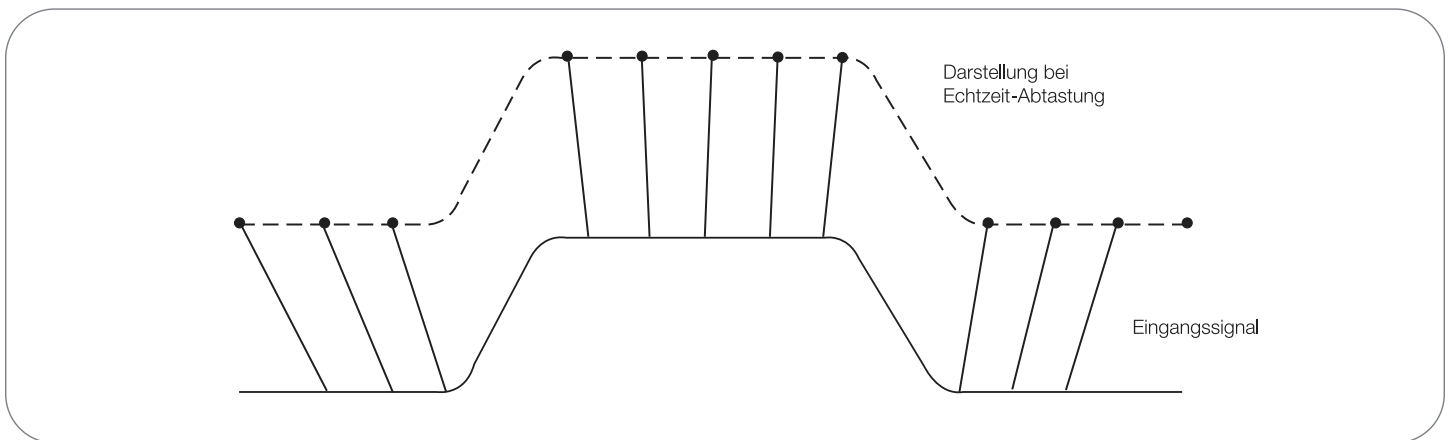
Es gibt zwar einige verschiedene Implementierungen der Abtasttechnik, die heutigen Digital-Oszilloskope benutzen jedoch nur zwei grundlegende Abtastmethoden. Echtzeit-Abtasttechnik und Äquivalenzzeit-Abtastung. Äquivalenzzeit-Abtastung kann weiter in zwei Unterkategorien gegliedert werden: zufällig und sequenziell. Jede Methode hat je nach Art der vorgenommenen Messungen beachtliche Vorteile.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 29.** Echtzeit-Abtastmethode

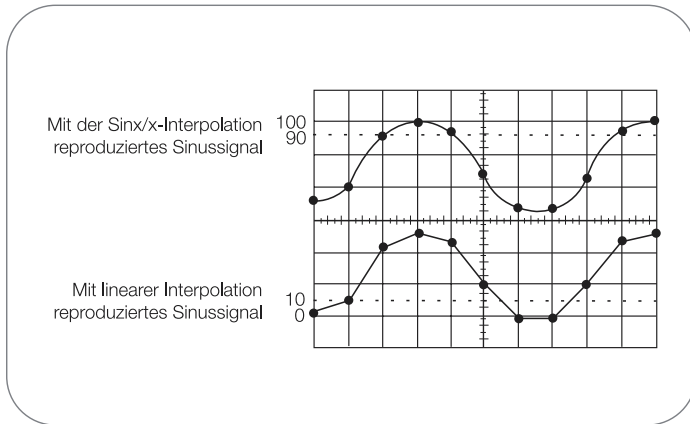


► **Abbildung 30.** Damit dieser 10-ns-Impuls in Echtzeit erfasst werden kann, muss die Abtastrate hoch genug sein, um die Flanken genau zu definieren

### Echtzeit-Abtasttechnik

Die **Echtzeit-Abtasttechnik** eignet sich ideal für Signale, deren Frequenzbereich kleiner als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ist. In diesem Fall kann das Oszilloskop in einer „Ablenkung“ (Einzeltriggerung) des Signals ausreichend Punkte erfassen, um ein exaktes Signalbild zu erzeugen (siehe Abbildung 29). Echtzeit-Abtasttechnik ist die einzige Methode zum Erfassen schneller, einmaliger Transienten mit einem Digital-Oszilloskop.

Echtzeit-Abtasttechnik stellt die größte Herausforderung für Digital-Oszilloskope dar, da zum exakten Digitalisieren hochfrequenter Transienten eine sehr hohe Abtastrate erforderlich ist; dies ist aus Abbildung 30 ersichtlich. Diese Ereignisse treten nur einmal auf und müssen in dem Zeitraum erfasst werden, in dem sie auftreten. Wenn die Abtastrate nicht ausreichend schnell ist, können die hochfrequenten Komponenten in eine niedrigere Frequenz „gefaltet“ werden und dadurch im Display Aliasing erzeugen. Außerdem wird die Echtzeit-Abtasttechnik durch den erforderlichen Hochgeschwindigkeitsspeicher, der zur Aufnahme des digitalisierten Signals erforderlich ist, weiter verkompliziert. Schlagen Sie in den Abschnitten über die **Abtastrate** und **Speichertiefe** unter „**Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien**“ weitere Einzelheiten zur Abtastrate und Speichertiefe nach, die zur exakten Charakterisierung hochfrequenter Komponenten erforderlich sind.

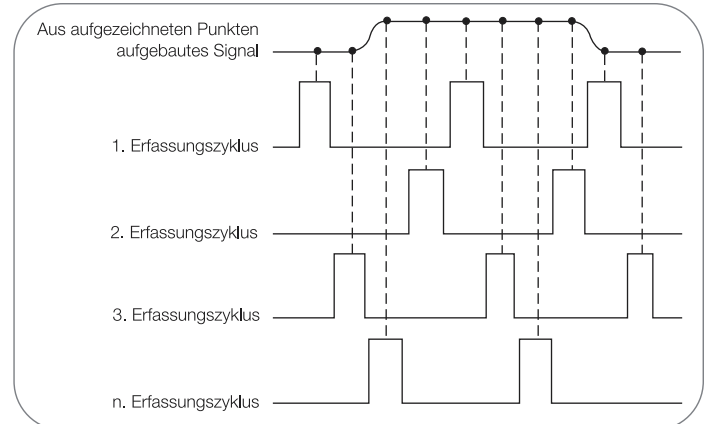


► **Abbildung 31.** Lineare und Sinx/x-Interpolation

**Echtzeit-Abtasttechnik mit Interpolation.** Digital-Oszilloskope nehmen diskrete Abtastungen des Signals auf, die dargestellt werden können. Es kann jedoch schwierig sein, das durch Punkte dargestellte Signal erkennbar zu machen, da nur wenige Punkte die hochfrequenten Teile des Signals repräsentieren können. Zur Erleichterung der Sichtbarmachung von Signalen verfügen Digital-Oszilloskope in der Regel über Interpolations-Darstellungsarten.

Einfach ausgedrückt ist **Interpolation** das „Verbinden der Punkte“, damit ein Signal, das nur einige wenige Male pro Zyklus abgetastet wird, exakt dargestellt werden kann. Bei der Echtzeit-Abtasttechnik mit Interpolation sammelt das Oszilloskop einige wenige Abtastpunkte des Signals in einem Durchgang (in Echtzeitmodus) und füllt die Zwischenräume mit Hilfe von Interpolation auf. Interpolation ist eine Verarbeitungstechnik zur Annäherung an die Originalsignalform auf Basis von einigen Punkten.

Lineare Interpolation verbindet die Abtastpunkte durch gerade Linien. Diese Interpolationstechnik beschränkt sich auf das Rekonstruieren von Signalen mit geraden Flanken, wie rechteckförmige Signale, was in **Abbildung 31** deutlich wird. Die vielseitigere Sinx/x-Interpolation verbindet die Abtastpunkte durch Kurven wie in **Abbildung 31** gezeigt. Die Sinx/x-Interpolation ist ein mathematischer Vorgang, bei dem Punkte berechnet werden, welche die Zeit zwischen den tatsächlichen Abtastpunkten auffüllen. Diese Art der Interpolation eignet sich für kurvige und unregelmäßige Signalzüge, die in der Praxis wesentlich häufiger auftreten, als rein rechteckförmige Signale und Impulse. Daher ist die Sinx/x-Interpolation die bevorzugte Methode, wenn die Abtastrate das 3- bis 5-Fache der Systembandbreite beträgt.



► **Abbildung 32.** Einige Oszilloskope verwenden Äquivalentzeit-Abtastung zum Erfassen und Darstellen sehr schneller, repetierender Signale

## Äquivalentzeit-Abtastung

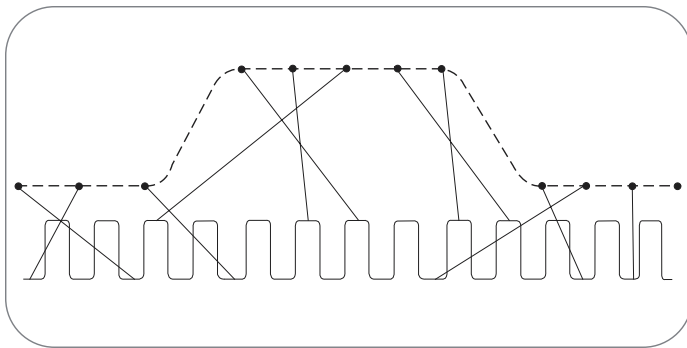
Wenn hochfrequente Signale zu messen sind, ist das Oszilloskop u.U. nicht in der Lage, in einer Ablenkung genügend Abtastpunkte zu sammeln.

Äquivalentzeit-Abtastung kann dazu verwendet werden, Signale exakt zu erfassen, deren Frequenz höher als die halbe Abtastrate des Oszilloskops ist (siehe **Abbildung 32**). Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) nutzen die Tatsache, dass die meisten natürlichen und von Menschen erzeugten Ereignisse repetierender Natur sind. Äquivalentzeit-Abtastung erstellt ein Bild eines repetierenden Signals, indem in jeder Wiederholung ein kleiner Informationsanteil erfasst wird. Der Signalzug wird langsam aufgebaut wie eine Lichterkette, bei der eines nach dem anderen aufleuchtet. Dadurch kann das Oszilloskop Signale genau erfassen, deren Frequenzkomponenten wesentlich schneller als die Abtastrate des Oszilloskops sind.

Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastmethoden: zufällig und sequenziell. Jede hat gewisse Vorteile. **Zufällige Äquivalentzeit-Abtastung** ermöglicht die Darstellung des Eingangssignals vor dem Trigger-Punkt, ohne eine Verzögerungsleitung einzusetzen. **Sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung** liefert eine wesentlich höhere Zeitauflösung und Genauigkeit. Beide setzen voraus, dass das Eingangssignal repetierend ist.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

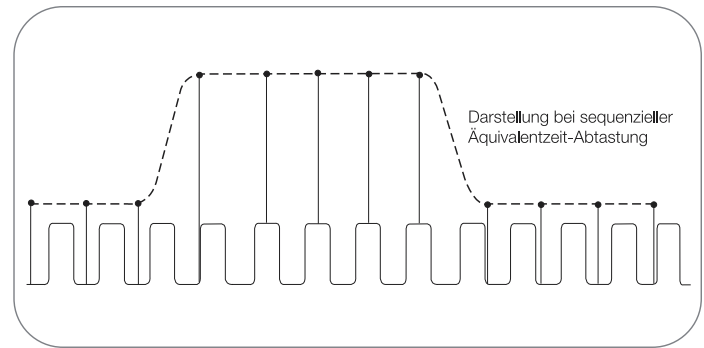
## ► Grundlagen



► **Abbildung 33.** Bei der zufälligen Äquivalentzeit-Abtastung läuft der Abtasttakt asynchron zum Eingangssignal und Trigger

**Zufällige Äquivalentzeit-Abtastung.** Zufalls-Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) verwenden einen internen Takt, der im Vergleich zum Eingangssignal und Signal-Trigger asynchron läuft (siehe Abbildung 33). Abtastungen werden laufend unabhängig von der Trigger-Position durchgeführt und auf Basis der Zeitdifferenz zwischen der Abtastung und dem Trigger dargestellt. Die Abtastungen werden zwar zeitlich sequenziell durchgeführt, erfolgen in Bezug auf den Trigger jedoch rein zufällig – daher die Bezeichnung „zufällige“ Äquivalentzeit-Abtastung. Abtastpunkte erscheinen zufällig entlang des Signals, wenn dieses auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt wird.

Die Fähigkeit zum Erfassen und Darstellen von Abtastpunkten vor dem Trigger-Punkt ist ein entscheidender Vorteil dieser Abtasttechnik, die externe Pretrigger-Signale oder Verzögerungsleitungen eliminiert. Je nach der Abtastrate und dem eingestellten Zeitfenster kann die zufällige Abtastung auch mehr als eine Abtastung pro getriggertem Ereignis erfassen. Bei schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten wird das Erfassungsfenster jedoch immer schmaler, bis der Digitalisierer nicht mehr auf jedem Trigger abtasten kann. Sehr oft werden Timing-Messungen gerade bei diesen schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten durchgeführt; und hier ist die außergewöhnliche Zeitauflösung der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung von größtem Vorteil. Die Bandbreitenbegrenzung für zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ist kleiner als für sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung.



► **Abbildung 34.** Bei der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung wird eine einzelne Abtastung für jeden erkannten Trigger nach einer Zeitverzögerung, die nach jedem Zyklus schrittweise erhöht wird, durchgeführt

**Sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung.** Die sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung führt eine Abtastung pro Trigger durch, und das unabhängig von der Zeit/Teil-Einstellung oder der Ablenkgeschwindigkeit (siehe Abbildung 34). Wenn ein Trigger festgestellt wird, wird nach einer sehr kurzen, aber genau definierten Verzögerung eine Abtastung durchgeführt. Bei der nächsten Triggerung wird ein kleine Zeitspanne – Delta  $t$  – dieser Verzögerung hinzugefügt, und der Digitalisierer führt eine weitere Abtastung durch. Dieser Vorgang wird viele Male wiederholt, wobei „Delta  $t$ “ zu jeder vorangehenden Erfassung addiert wird, bis das Zeitfenster gefüllt ist. Abtastpunkte erscheinen von links nach rechts der Reihe nach entlang des Signals, wenn dieses auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt wird.

Technisch gesehen ist es einfacher, ein sehr kurzes, sehr präzises „Delta  $t$ “ zu erzeugen, als die vertikale und horizontale Position einer Abtastung in Bezug auf den Trigger-Punkt zu messen – wie dies bei zufälligen Abtastungen erforderlich ist. Diese präzise gemessene Verzögerung verleiht der sequenziellen Abtastung ihre ausgezeichnete Zeitauflösung. Da bei der sequenziellen Abtastung die Abtastung nach Feststellen des Trigger-Pegels durchgeführt wird, kann der Trigger-Punkt nicht ohne eine analoge Verzögerungsleitung dargestellt werden. Dies kann wiederum die Bandbreite des Messgeräts verringern. Wenn ein externer Pretrigger zugeführt werden kann, wird die Bandbreite nicht beeinträchtigt.

## Position und Sekunden pro Teil

Die Horizontalpositions-Bedienelemente verschieben das Signal nach links und rechts an die Stelle auf dem Bildschirm, an der es dargestellt werden soll.

Die Sekunden-pro-Teil-Einstellung (Sek/Teil) dient zum Auswählen der Rate, mit der das Signal über den Bildschirm geführt wird (dies wird auch als Zeitbasis-Einstellung oder Ablenkgeschwindigkeit bezeichnet). Diese Einstellung ist ein Skalierfaktor. Wenn der Einstellwert 1 ms beträgt, stellt jeder horizontale Teil 1 ms dar und die gesamte Bildschirmbreite 10 ms bzw. 10 Teile. Wenn Sie die Sek/Teil-Einstellung ändern, können Sie längere oder kürzere Zeitintervalle des Eingangssignals darstellen.

Wie bei der vertikalen Volt/Teil-Skala kann die horizontale Sek/Teil-Skala eine variable Einstellmöglichkeit haben, wodurch die horizontale Zeitskala zwischen diskreten Einstellungen festgelegt werden kann.

## Zeitbasis-Auswahlen

Das Oszilloskop hat eine **Zeitbasis**, die in der Regel als Hauptzeitbasis bezeichnet wird. Viele Oszilloskope besitzen auch eine **verzögerte Zeitbasis** – eine Zeitbasis mit einer Ablenkung, die relativ zu einer vorbestimmten Zeit während der Hauptzeitbasis-Ablenkung gestartet (oder deren Start getriggert) werden kann. Anhand einer verzögerten Zeitbasis-Ablenkung können Ereignisse klarer dargestellt werden; außerdem können Ereignisse sichtbar gemacht werden, die mit der Hauptzeitbasis-Ablenkung allein nicht dargestellt werden können.

Für die verzögerte Zeitbasis müssen eine Zeitverzögerung und der mögliche Einsatz verzögerter Trigger-Modi sowie andere Einstellungen vorgenommen werden, die in diesem Einführungshandbuch nicht beschrieben werden. In der Bedienungsanleitung des Oszilloskops finden Sie Informationen zur Anwendung dieser Leistungsmerkmale.

## Zoomen

Das Oszilloskop verfügt u.U. über spezielle horizontale Vergrößerungseinstellungen, mit denen ein vergrößerter Abschnitt des Signals auf dem Bildschirm dargestellt werden kann. In einem Digital Speicher-Oszilloskop (DSO) wird Zoom an den gespeicherten digitalisierten Daten durchgeführt.

## XY-Modus

Die meisten Analog-Oszilloskope verfügen über einen XY-Modus, mit dem auf der horizontalen Achse anstelle der Zeitbasis ein Eingangssignal dargestellt werden kann. Diese Betriebsart eröffnet einen vollständig neuen Bereich an Phasenverschiebungs-Messtechniken, die im Abschnitt **„Oszilloskop-Messtechniken“** in diesem Einführungshandbuch erläutert werden.

## Z-Achse

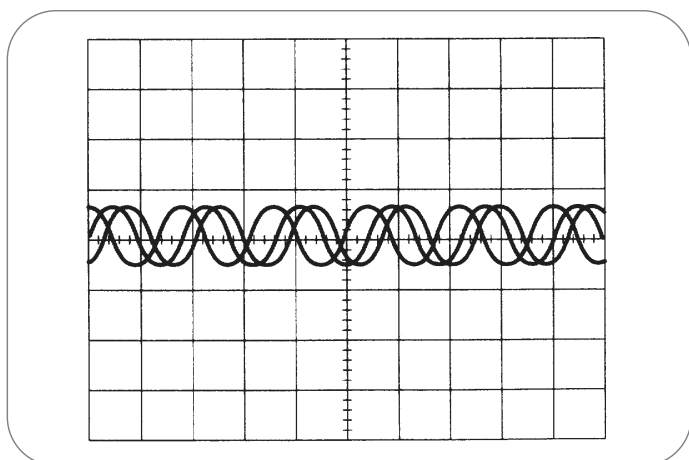
Ein Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) stellt eine hohe Anzahl gemessener Abtastwerte auf dem Bildschirm dar. Es besitzt die Fähigkeit, Intensitätsinformationen zu erfassen. Durch die Intensitätsachse (Z-Achse) kann das DPO eine dreidimensionale Echtzeitdarstellung liefern, die der eines Analog-Oszilloskops ähnlich ist. Wenn wir das Signal auf einem DPO betrachten, sind hellere Abschnitte zu erkennen – das sind die Signalabschnitte, die am häufigsten auftreten. Diese Darstellung erleichtert die Unterscheidung zwischen der grundlegenden Signalform und einem Transienten, der nur sehr selten auftritt – das Hauptsignal ist wesentlich heller. Eine Anwendung der Z-Achse ist die Einspeisung speziell getakteter Signale in den separaten Z-Eingang, um in bekannten Intervallen hervorgehobene „Markierungspunkte“ im Signal zu erzeugen.

## XYZ-Modus

Einige DPOs sind in der Lage, den Z-Eingang zur Erzeugung einer XY-Darstellung mit Helligkeitsmodulation zu nutzen. In diesem Fall tastet das DPO die Momentandatenwerte am Z-Eingang ab und verwendet diesen Wert zur Qualifizierung eines bestimmten Signalteils. Nachdem qualifizierte Abtastungen vorliegen, können diese gesammelt und zum Aufbau einer helligkeitsmodulierten XYZ-Darstellung eingesetzt werden. Die XYZ-Betriebsart eignet sich besonders zur Darstellung in polarer Form, die bei der Prüfung drahtloser Kommunikationsgeräte häufig eingesetzt wird – wie beispielsweise ein Konstellationsdiagramm.

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

### ► Grundlagen



► **Abbildung 35.** Ungetriggerte Darstellung

### Trigger-System und Bedienelemente

Die **Trigger**-Funktion eines Oszilloskops synchronisiert die horizontale Ablenkung an der richtigen Signalstelle, was für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend ist. Die Trigger-Bedienelemente dienen zum Stabilisieren repetierender Signale und Erfassen von Einzelschuss-Signalen.

Durch Triggerung werden repetierende Signale auf dem Oszilloskop-Bildschirm statisch dargestellt, indem der gleiche Teil des Eingangssignals wiederholt angezeigt wird. Stellen Sie sich das Durcheinander auf dem Bildschirm vor, wenn jede Ablenkung an einer anderen Stelle des Signals beginnen würde; dies ist in Abbildung 35 dargestellt.

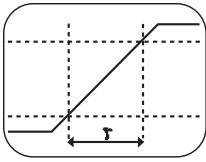
Flanken-Triggerung ist bei Analog- und Digital-Oszilloskopen verfügbar und stellt die grundlegende und häufigste Trigger-Art dar. Zusätzlich zur Schwellenwert-Triggerung, die sowohl bei Analog- als auch bei Digital-Oszilloskopen vorhanden ist, bieten viele Digital-Oszilloskope zahlreiche spezialisierte Trigger-Einstellungen, die auf Analog-Messgeräten nicht verfügbar sind. Diese Trigger reagieren auf besondere Bedingungen im eingehenden Signal, wodurch beispielsweise ein Impuls, der schmaler als seine Sollbreite ist, einfach erkannt wird. Eine solche Bedingung wäre mit einem Spannungsschwellenwert-Trigger alleine unmöglich zu erkennen.

Erweiterte Triggerarten ermöglichen die Isolierung spezieller Ereignisse, damit die Abtastrate und Speichertiefe des Oszilloskops optimiert werden können. Diese Trigger-Fähigkeiten bieten Ihnen bei manchen Oszilloskopen extrem selektive Auswahlmöglichkeiten. Sie können auf Impulsen triggern, die durch Amplitude (wie Runt-Impulse) definiert, durch Zeit qualifiziert (Impulsbreite, Glitch, Anstiegsgeschwindigkeit, Setup-and-hold-Zeit und Time-out) und durch einen Logik-Zustand bzw. ein Logik-Bitmuster (Logik-Triggerung) eingegrenzt werden.

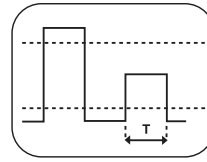
Optionale Trigger-Bedienelemente sind in einigen Oszilloskopen speziell für die Prüfung von Datenübertragungssignalen vorgesehen. Die intuitive Benutzeroberfläche, die bei einigen Oszilloskopen verfügbar ist, ermöglicht die rasche Vorbereitung von Trigger-Parametern mit hoher Flexibilität beim Prüfungsaufbau, damit Sie maximale Produktivität erzielen können.

Wenn Sie mehr als vier Kanäle zum Triggern auf Signalen benutzen, ist ein Logikanalysator das ideale Werkzeug.

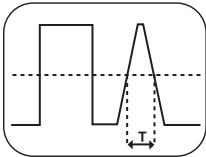
Weitere Informationen über diese hilfreichen Prüf- und Messgeräte finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „XYZs of Logic Analyzers“ (ABC der Logikanalysatoren).



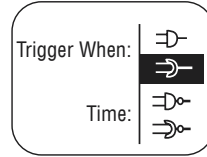
**Anstiegsgeschwindigkeits-Triggerung.** Hochfrequente Signale mit schneller als erwarteten oder benötigten Anstiegsgeschwindigkeiten können störende Übertragungseffekte auslösen. Die Triggerung auf der Anstiegsgeschwindigkeit übertrifft die konventionelle Flanken-Triggerung, indem das Zeitelement hinzugefügt und das selektive Triggern auf schnellen oder langsamen Flanken ermöglicht wird.



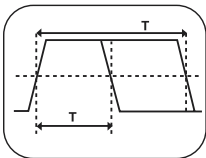
**Runt-Impuls-Triggerung.** Runt-Triggerung ermöglicht das Erfassen und Prüfen eines Impuls, der eine Logik-Schwelle überschreitet, jedoch nicht die zweite Schwelle überschreitet.



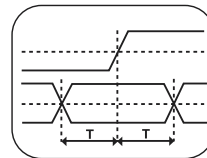
**Glitch-Triggerung.** Glitch-Triggerung ermöglicht das Triggern auf digitalen Impulsen, wenn diese kürzer oder länger als ein benutzerdefiniertes Zeitintervall sind. Dieses Trigger-Bedienelement dient zum Untersuchen der Ursachen seltener Glitche und deren Auswirkungen auf andere Signale.



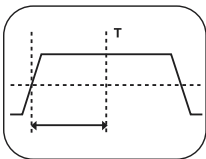
**Logik-Triggerung.** Logik-Triggerung ermöglicht das Triggern auf einer beliebigen logischen Kombination verfügbarer Eingangskanäle – das ist besonders beim Austesten der Funktionsweise von Digitallogikschaltungen von Vorteil.



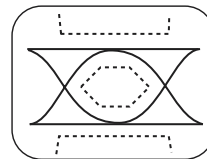
**Impulsbreiten-Triggerung.** Mit der Impulsbreiten-Triggerung lässt sich ein Signal zeitlich unbegrenzt überwachen; dabei kann auf dem ersten Impuls getriggert werden, dessen Dauer (Impulsbreite) außerhalb der zulässigen Grenzwerte liegt.



**Setup-and-hold-Triggerung.** Nur mit der Setup-and-hold-Triggerung können Sie eine einmalige Verletzung der Setup-and-hold-Zeit erfassen, die mit anderen Trigger-Arten nahezu immer übersehen wird. Dieser Trigger-Modus erleichtert das Erfassen spezifischer Signalqualitäten und Timing-Details, wenn ein synchrones Datensignal den Setup-and-hold-Spezifikationen nicht entspricht.



**Time-out-Triggerung.** Mit der Time-out-Triggerung kann auf einem Ereignis getriggert werden, ohne dass auf das Ende des Trigger-Impulses gewartet werden muss; dazu bezieht sich die Triggerung auf den Ablauf einer angegebenen Zeitdauer.



**Kommunikations-Triggerung.** Bei bestimmten Oszilloskop-Modellen sind diese Trigger-Arten wahlweise erhältlich; sie dienen zum Erfassen einer großen Vielfalt an AMI-Signalen (Alternate-Mark Inversion), CMI-Signalen (Code-Mark Inversion) und NRZ-Kommunikationssignalen (Non-Return to Zero).

## Trigger-Position

Das Bedienelement für die horizontale Trigger-Position ist nur bei Digital-Oszilloskopen verfügbar und kann im Bedienabschnitt für die horizontalen Einstellungen des Oszilloskops enthalten sein. Die Trigger-Position stellt die horizontale Position des Triggers im Signaldatensatz dar.

Durch eine Veränderung der horizontalen Trigger-Position können Sie das Signalverhalten **vor** einem Trigger-Ereignis sehen – das wird als

**Pretrigger-Darstellung** bezeichnet. Dabei wird die Länge des darzustellenden Signals vor und nach einem Trigger-Punkt bestimmt.

Digital-Oszilloskope können Pretrigger-Signalanteile erfassen, da sie das Eingangssignal laufend verarbeiten – unabhängig davon, ob ein Trigger erhalten wurde oder nicht. Durch das Oszilloskop fließt ein konstanter Datenfluss; der Trigger weist das Oszilloskop nur an, die aktuellen Daten im Speicher zu sichern.

Im Gegensatz dazu stellen Analog-Oszilloskope nur das Signal dar – d.h. das Signal wird in der konventionellen Technik auf dem Kathodenstrahl-Bildschirm gezeichnet, nachdem der Trigger erhalten wurde. Die Pretrigger-Darstellung ist daher bei Analog-Oszilloskopen nicht verfügbar – außer einen kleinen Pretrigger, der durch eine Verzögerungsleitung im Vertikalsystem ermöglicht wird.

Die Pretrigger-Darstellung ist eine hilfreiche Fehlersuchfunktion. Wenn ein Problem intermittierend auftritt, können Sie auf dem Problem triggern und die Ereignisse aufzeichnen, die zum Problem führten, und dadurch möglicherweise die Ursache feststellen.



# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen

### Trigger-Pegel und -Flanke

Die Bedienelemente für den **Trigger-Pegel** und die **Trigger-Flanke** liefern die grundlegende Definition des Trigger-Punktes und bestimmen, wie ein Signal dargestellt wird (siehe Abbildung 36).

Der Trigger-Schaltkreis ist ein Komparator (Vergleichsschaltung). Sie wählen die Flanke und den Spannungspegel an einem Eingang des Komparators aus. Wenn das Trigger-Signal des anderen Komparatoreingangs mit Ihren Einstellungen übereinstimmt, erzeugt das Oszilloskop einen Trigger.

- Das Flanken-Bedienelement bestimmt, ob der Trigger-Punkt auf der ansteigenden oder abfallenden Flanke eines Signals liegt. Eine ansteigende Flanke ist eine positive Flanke und eine abfallende Flanke eine negative.
- Das Pegel-Bedienelement bestimmt, wo auf der Flanke der Trigger-Punkt liegt.

### Trigger-Quellen

Das Oszilloskop muss nicht unbedingt auf dem Signal getriggert werden, das dargestellt wird; mehrere Quellen können die Ablenkung triggern:

- Ein beliebiger Eingangskanal
- Eine andere externe Quelle außer dem Signal des Eingangskanals
- Das Stromnetzsignal
- Ein intern durch das Oszilloskop erzeugtes Signal aus einem oder mehreren Eingangskanälen definiert

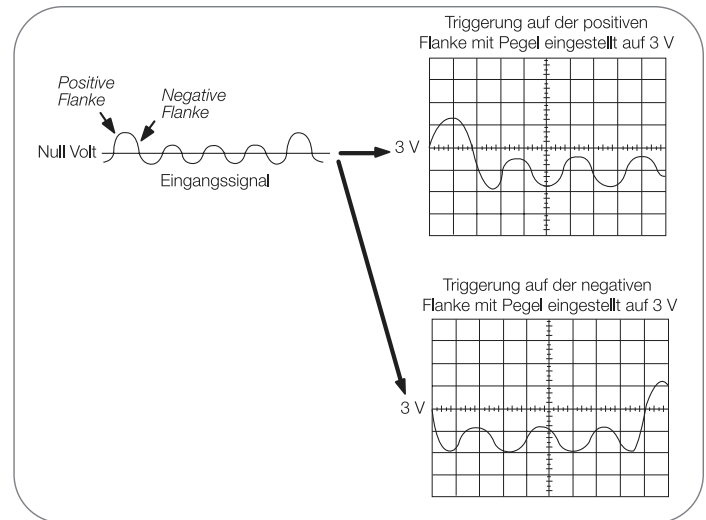
Meistens können Sie das Oszilloskop so eingestellt lassen, dass das Oszilloskop auf dem dargestellten Kanal triggert. Einige Oszilloskope verfügen über einen Trigger-Ausgang, der das Trigger-Signal auf ein anderes Messgerät übertragen kann.

Das Oszilloskop kann eine alternative Trigger-Quelle verwenden, unabhängig davon, ob diese dargestellt wird oder nicht; Sie sollten daher darauf achten, nicht versehentlich auf Kanal 1 zu triggern, während beispielsweise Kanal 2 dargestellt wird.

### Trigger-Modi

Die **Trigger-Modi** bestimmen, ob das Oszilloskop ein Signal auf Basis eines Signalzustands aufnimmt oder nicht. Übliche Trigger-Modi sind **Normal** und **Auto**.

Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur dann eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den eingestellten Trigger-Punkt erreicht; ansonsten (auf einem Analog-Oszilloskop) ist der Bildschirm leer oder (auf einem Digital-Oszilloskop) auf dem zuletzt erfassten Signal eingefroren. Der Normal-Modus kann verwirrend sein, da das Signal zuerst u.U. nicht sichtbar ist, wenn das Pegel-Bedienelement nicht korrekt eingestellt ist.



► **Abbildung 36.** Triggerung auf der positiven und negativen Flanke

Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop auch dann eine Ablenkung, wenn kein Trigger anliegt. Wenn kein Signal anliegt, triggert ein Zeitgeber im Oszilloskop die Ablenkung. Das gewährleistet, dass das Signal dargestellt wird, auch wenn das Signal keinen Trigger auslöst.

In der Praxis werden Sie wahrscheinlich beide Modi verwenden: Normal-Modus, da Sie damit den interessierenden Signalteil auch bei langsamen Triggerraten darstellen können, und Auto-Modus, da damit weniger Einstellungen erforderlich sind.

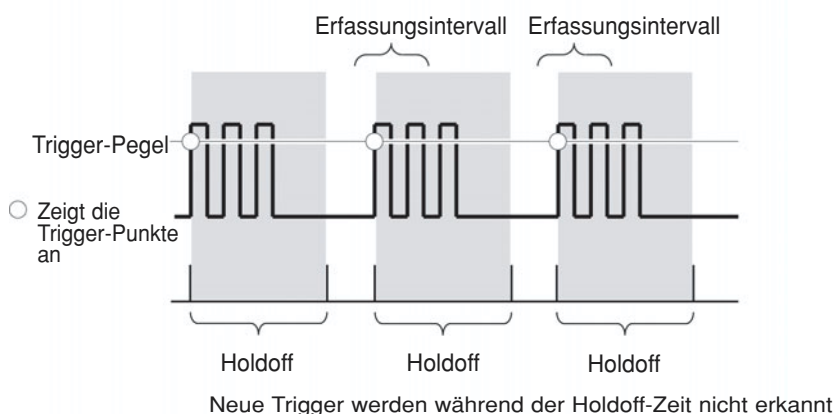
Viele Oszilloskope besitzen auch spezielle Modi für einzelne Ablenkungen, Triggerung auf Videosignalen oder automatische Einstellung des Trigger-Pegels.

### Trigger-Kopplung

So wie Sie für das Vertikalsystem eine AC- oder DC-Kopplung auswählen können, können Sie die Kopplungsart für das Trigger-Signal auswählen.

Zusätzlich zur AC- und DC-Kopplung kann das Oszilloskop auch über eine Trigger-Kopplung für Hochfrequenzunterdrückung, Niederfrequenzunterdrückung und Störgeräusch-Unterdrückung verfügen. Diese Sondereinstellungen sind besonders zum Eliminieren von Störgeräuschen aus dem Trigger-Signal von Nutzen, damit falsche Triggerungen vermieden werden.





► **Abbildung 37.** Trigger-Holdoff

## Trigger-Holdoff

Manchmal erfordert es viel Geschick, ein Oszilloskop auf dem richtigen Teil eines Signals triggern zu lassen. Viele Oszilloskope besitzen eine Sonderfunktion zur Vereinfachung dieser Aufgabe.

**Trigger-Holdoff** ist eine einstellbare Zeitperiode nach einem gültigen Trigger, während der das Oszilloskop nicht triggern kann. Dieses Leistungsmerkmal ist von Vorteil, wenn auf komplizierten Signalzügen getriggert wird, damit das Oszilloskop nur auf zulässigen Trigger-Punkten triggert. Abbildung 37 zeigt, wie mit Trigger-Holdoff eine verwendbare Darstellung erzeugt wird.

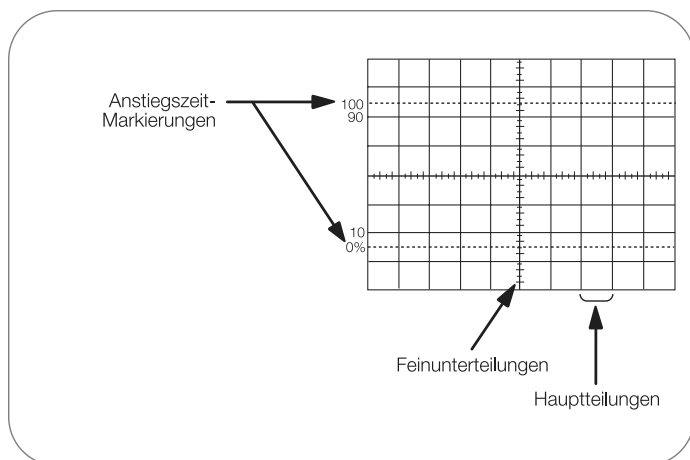
## Darstellungssystem und Bedienelemente

Die Frontplatte eines Oszilloskops umfasst einen Bildschirm und die Knöpfe, Tasten, Schalter und Anzeigen, mit denen die Signalerfassung und -darstellung eingestellt wird. Wie zu Beginn dieses Abschnitts erwähnt, sind die Frontplatten-Bedienelemente in der Regel in die Abschnitte **Vertikal**, **Horizontal** und **Trigger** gegliedert. Die Frontplatte umfasst auch Mess-Signaleingänge.

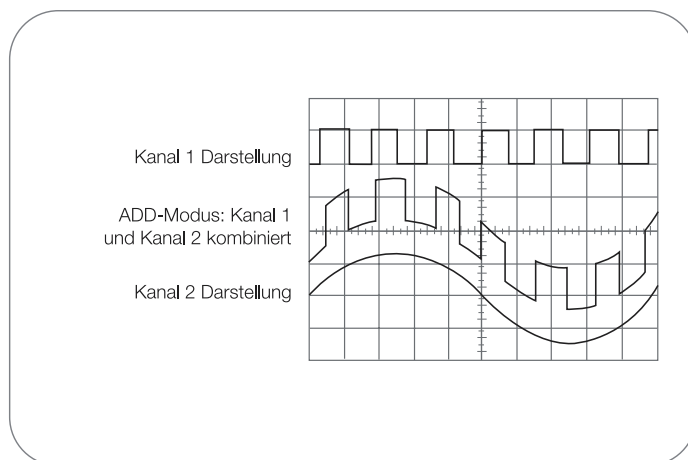
Sehen Sie sich den Oszilloskop-Bildschirm an. Beachten Sie die Rastermarkierungen auf dem Bildschirm – sie erzeugen den **Raster**. Jede vertikale und horizontale Linie stellt einen **Hauptteil** dar. Der Raster ist gewöhnlich mit 8x10-Teilen ausgelegt. Die Beschriftung der Oszilloskop-Bedienelemente (wie Volt/Teil und Sek/Teil) bezieht sich immer auf die Hauptteile. Die Strichmarkierungen auf den mittleren horizontalen und vertikalen Rasterlinien werden als Feinunterteilungen bezeichnet; siehe Abbildung 38 auf der nächsten Seite. Viele Oszilloskope stellen auf dem Bildschirm dar, wie viele Volt jeder vertikale Teil und wie viele Sekunden jeder horizontale Teil darstellt.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 38.** Ein Oszilloskop-Raster



► **Abbildung 39.** Addition zweier Kanäle

Die Darstellungsarten von Analog- und Digital-Oszilloskopen sind unterschiedlich. Übliche Bedienelemente sind u.a.:

- Ein Helligkeits-Bedienelement zum Einstellen der Signalhelligkeit. Bei erhöhter Ablenkgeschwindigkeit eines Analog-Oszilloskops muss auch der Helligkeitspegel erhöht werden.
- Mit einem Fokussier-Bedienelement kann die Signalschärfe eingestellt werden, und mit einer Strahl-Rotations-Steuerung (Trace Rotation) lässt sich der Strahl parallel zur Horizontalachse des Bildschirms ausrichten. Das Magnetfeld der Erde beeinflusst die Signalausrichtung ortsabhängig. Digital-Oszilloskope, die Raster- und LCD-Bildschirme einsetzen, verfügen u.U. nicht über diese Bedienelemente.
- Auf vielen DSOs und auf DPOs dient ein Farbpaletten-Bedienelement zum Auswählen der Signalfarben und der Farbpegel für die helligkeitsmodulierte Darstellung.
- Andere Bildschirm-Bedienelemente ermöglichen die Einstellung der Rasterbeleuchtung und das Ein- und Ausblenden von Bildschirm-Informationen, wie z.B. Menüs.

## Andere Bedienelemente des Oszilloskops

### Mathematik- und Messoperationen

Das Oszilloskop besitzt möglicherweise auch Operationen, mit denen Sie Signale addieren und so eine neue Signaldarstellung erzeugen können. Analog-Oszilloskope kombinieren die Signale, während Digital-Oszilloskope neue Signale auf mathematischem Weg erstellen. Das Subtrahieren von Signalen ist eine weitere mathematische Operation. Die Subtraktion ist bei Analog-Oszilloskopen durch Einsatz der Kanalinvertierungsfunktion auf einem Signal und anschließendem Einsatz der Additionsoperation möglich. Bei Digital-Oszilloskopen ist in der Regel eine Subtraktionsoperation verfügbar. Abbildung 39 illustriert ein drittes Signal, das durch Kombinieren von zwei unterschiedlichen Signalen erstellt wird.

Mit Hilfe ihrer internen Prozessoren bieten Digital-Oszilloskope viele hoch entwickelte Mathematikoperationen: Multiplikation, Division, Integration, Schnelle Fourier-Transformation und mehr.

Wir haben die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente beschrieben, über die Einsteiger Bescheid wissen müssen. Das Oszilloskop kann aber noch weitere Bedienelemente für verschiedene Funktionen haben. Dazu gehören möglicherweise:

- Automatische parametrische Messungen
- Messkursoren
- Tastenfelder für mathematische Operationen oder Dateneingabe
- Druckfähigkeiten
- Schnittstellen zum Anschluss des Oszilloskops an einen Computer oder direkt an das Internet

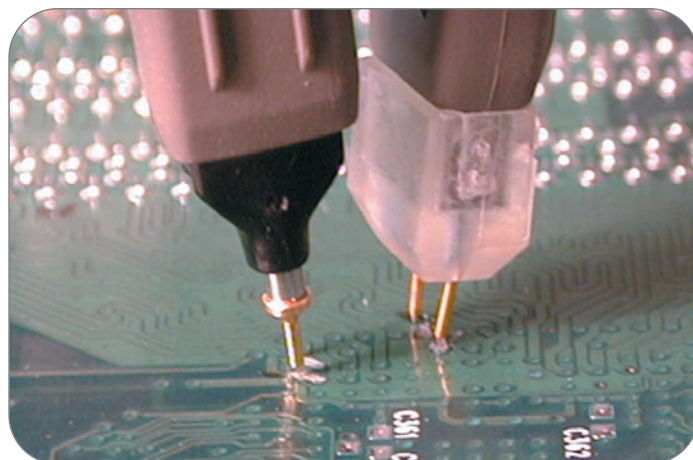
Lesen Sie die Bedienungsanleitung Ihres Oszilloskops, um detaillierte Informationen über die anderen, für Sie verfügbaren Oszilloskop-Bedienelemente zu erhalten.

## Das vollständige Mess-System

### Tastköpfe

Auch das genaueste Messgerät kann nur so genau wie die eingehenden Daten sein. Ein **Tastkopf** arbeitet gemeinsam mit einem Oszilloskop als Teil des Mess-Systems. Präzisionsmessungen beginnen an der Tastkopfspitze. Die richtigen Tastköpfe, abgestimmt auf das Oszilloskop und den Prüfling (das zu prüfende Gerät), ermöglichen nicht nur ein sauberes Einspeisen des Signals in das Oszilloskop, sondern sie verstärken das Signal und verändern es nicht, damit höchste Signalintegrität und Messgenauigkeit gewährleistet ist.

- **Um eine exakte Rekonstruktion des Signals sicherzustellen, sollten Sie einen Tastkopf wählen, der gemeinsam mit dem Oszilloskop die Signalbandbreite um das Fünffache übersteigt.**



► **Abbildung 40.** Dichtgepackte Bauelemente und Systeme erfordern Tastköpfe mit kleinen Abmessungen

Tastköpfe werden ein Teil der Schaltung und erzeugen kapazitive, induktive und Widerstands-**Belastungen**, welche die Messung unvermeidlich ändern. Um die genauesten Ergebnisse zu erhalten, sollte ein Tastkopf mit minimaler Belastung ausgewählt werden. Eine ideale Kombination von Tastkopf und Oszilloskop minimiert diese Belastung und versetzt Sie in die Lage, alle Leistungsmerkmale und Fähigkeiten des Oszilloskops zu nutzen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Auswahl der so kritischen Verbindung mit dem Prüfling sind die Abmessungen des Tastkopfs. Tastköpfe mit kleinen Abmessungen gewähren leichteren Zugriff auf dicht gepackte Schaltungen (siehe Abbildung 40).

Es folgt eine Beschreibung der verschiedenen Tastkopffarten. Weitere Informationen über diese unverzichtbare Komponente des Mess-Systems finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „*ABCs of Probes*“ (ABC der Tastköpfe).

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

### ► Grundlagen



► **Abbildung 41.** Ein üblicher passiver Tastkopf mit Zubehör

### Passive Tastköpfe

Zum Messen üblicher Signal- und Spannungspegel sind **passive** Tastköpfe eine einfach handzuhabende Lösung für viele Anwendungen – und das zu einem vertretbaren Preis. Die Kombination eines passiven Tastkopfs mit einer Stromzange liefert die ideale Lösung für Leistungsmessungen.

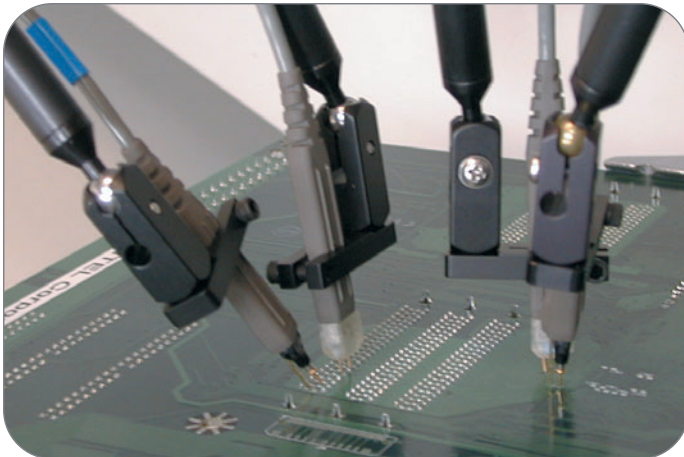
Die meisten passiven Tastköpfe haben einen Dämpfungsfaktor, wie 10X, 100X usw. Dämpfungsfaktoren, wie z.B. der Tastkopf mit 10X-Dämpfung, sind durch den Buchstaben X nach dem Faktor gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu steht der Buchstabe X bei Vergrößerungsfaktoren, wie X10, vor dem Faktor.

Der 10X (ausgesprochen „zehnfach“) gedämpfte Tastkopf reduziert die Schaltungsbelastung im Vergleich zu einem 1X-Tastkopf und ist ein ausgezeichnete passiver Allzweck-Tastkopf. Die Schaltungsbelastung wird bei höheren Frequenzen und/oder Signalquellen mit höherer Impedanz ausgeprägter; Sie müssen daher darauf achten, dass Sie diese Signal-/Tastkopf-Belastungsauswirkungen vor der Auswahl eines Tastkopfs analysieren. Der 10X gedämpfte Tastkopf verbessert die Genauigkeit der Messungen, reduziert aber gleichzeitig die Signalamplitude am Oszilloskop-Eingang um den Faktor 10.

Da das Signal gedämpft wird, erschwert der 10X gedämpfte Tastkopf die Darstellung von Signalen mit weniger als 10 mV Spitze-zu-Spitze. Der 1X-Tastkopf ist dem 10X gedämpften Tastkopf ähnlich, ihm fehlt jedoch die Dämpfungsschaltung. Ohne diese Schaltung wird der Prüfling stärker beeinflusst. Verwenden Sie den 10X gedämpften Tastkopf als Allzweck-Tastkopf, halten Sie jedoch den 1X-Tastkopf griffbereit, um Signale mit langsamer Geschwindigkeit und geringer Amplitude messen zu können. Einige Tastköpfe verfügen über eine praktische Funktion zum Umschalten zwischen 1X- und 10X-Dämpfung an der Tastkopfspitze. Wenn Ihr Tastkopf über diese Funktion verfügt, achten Sie vor Beginn der Messungen darauf, dass Sie die richtige Einstellung vorgenommen haben.

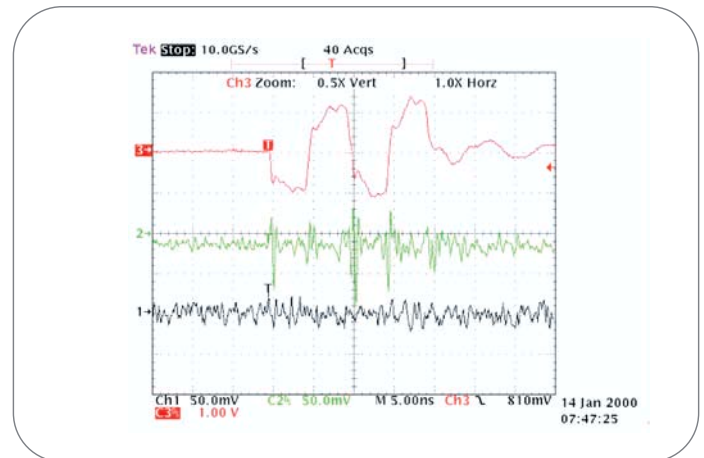
Viele Oszilloskope können feststellen, ob Sie einen 1X- oder einen 10X-Tastkopf verwenden und stellen die Messanzeige dementsprechend ein. Bei einigen Oszilloskopen müssen Sie die verwendete Tastkopffart jedoch einstellen oder an den entsprechenden 1X- oder 10X-Markierungen des Volt/Teil-Bedienelementes ablesen.

Die elektrischen Eigenschaften des 10X gedämpften Tastkopfs werden den elektrischen Eigenschaften des Oszilloskopeingangs angepasst. Bevor Sie einen 10X gedämpften Tastkopf verwenden, müssen Sie diese Anpassung am Tastkopf für Ihr Oszilloskop einstellen. Diese Einstellung wird als Tastkopfkomensation bezeichnet und ist im Abschnitt „**Die Bedienung des Oszilloskops**“ in diesem Einführungshandbuch genauer beschrieben.



► **Abbildung 42.** Hochleistungstastköpfe sind entscheidend, wenn schnelle Taktraten und -flanken gemessen werden müssen, die in heutigen Computer-Bussystemen und Datenübertragungsleitungen auftreten

Passive Tastköpfe sind ausgezeichnete Mehrzweck-Tastköpfe. Passive Mehrzweck-Tastköpfe können jedoch Signale mit extrem schnellen Anstiegszeiten nicht genau messen und empfindliche Schaltungen übermäßig belasten. Die laufend schneller werdenden Signal-Taktraten und Flankengeschwindigkeiten erfordern Tastköpfe für höhere Geschwindigkeiten mit geringerer Schaltungsbelastung. Schnelle **aktive** und **Differenzial**tastköpfe sind die ideale Lösung zum Messen von Hochgeschwindigkeits- und/oder Differenzialsignalen.



► **Abbildung 43.** Differenzialtastköpfe können in den heutigen schnellen Niederspannungsanwendungen Gleichtakt-Störgeräuschen vom Signalinhalt unterscheiden – das ist besonders wichtig, da Digitalsignale immer häufiger unter übliche Störgeräuschen-Schwellenwerte fallen, die in integrierten Schaltungen zu finden sind

## Aktive und Differenzialtastköpfe

Zunehmende Signalgeschwindigkeiten und Niederspannungs-Logikfamilien erschweren den Erhalt genauer Messergebnisse. Die Signaldarstellgüte und Belastung des Prüflings sind kritische Punkte. Eine vollständige Messlösung bei diesen hohen Geschwindigkeiten umfasst hochfrequente Tastköpflösungen mit hoher Darstellgüte, die mit der Leistungsfähigkeit des Oszilloskops mithalten können (siehe Abbildung 42).

**Aktive** und **Differenzial**tastköpfe verwenden speziell entwickelte integrierte Schaltungen zur Aufrechterhaltung des Signals während der Einspeisung und Übertragung in das Oszilloskop und stellen dadurch die Signalintegrität sicher. Bei der Messung von Signalen mit schnellen Anstiegszeiten liefert ein Hochgeschwindigkeits- oder Differenzialtastkopf genauere Ergebnisse.

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

### ► Grundlagen



► **Abbildung 44.** Die Tektronix TekConnect™-Schnittstelle erhält die Signalintegrität bis zu 10 GHz und darüber aufrecht, damit heutige und zukünftige Bandbreitenanforderungen erfüllt werden

### Tastkopfb Zubehör

Viele moderne Oszilloskope verfügen über spezielle automatisierte Funktionsmerkmale, die in die Eingänge und zugehörigen Tastkopf-Steckverbinder integriert sind. Im Fall der intelligenten Tastkopf-Schnittstellen wird beim Anschließen des Tastkopfs an das Messgerät das Oszilloskop über den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs benachrichtigt; das Oszilloskop wiederum skaliert die Darstellung so, dass die Tastkopfdämpfung in der Messwertanzeige auf dem Bildschirm berücksichtigt wird. Einige Tastkopf-Schnittstellen erkennen auch die Art des Tastkopfs – passiv, aktiv oder Stromzange. Die Schnittstelle kann als Gleichstromversorgung für die Tastköpfe dienen. Aktive Tastköpfe verfügen über ihre eigenen Verstärker- und Pufferschaltungen, die eine Gleichstromversorgung benötigen.

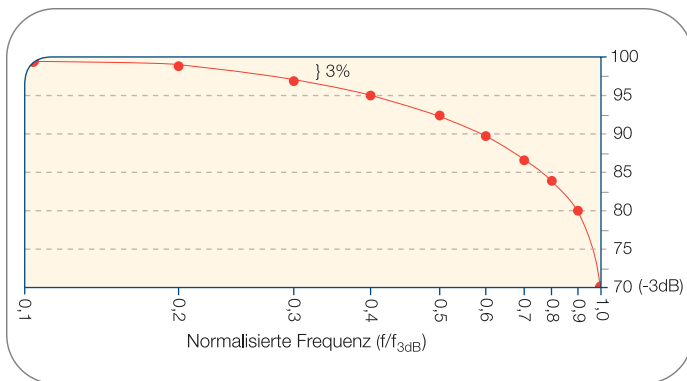


► **Abbildung 45.** Die Tektronix SureFoot™-Adapter der SF200A- und SF500-Serie liefern zuverlässigen und direkten Tastkopfkontakt an einem bestimmten Stift einer integrierten Schaltung ohne lange Anschlussleitungen

Erdungskabel und Tastkopfb Zubehör sind ebenfalls erhältlich, um die Signalintegrität bei der Messung von Hochgeschwindigkeitssignalen zu verbessern. Erdungskabel-Adapter sorgen für räumliche Flexibilität zwischen der Tastkopfspitze und dem Erdungskabelanschluss am Prüfling, während gleichzeitig sehr kurze Kabellängen zwischen Tastkopfspitze und Prüfling beibehalten werden.

Im Tektronix-Einführungshandbuch „ABCs of Probes“ (ABC der Tastköpfe) finden Sie weitere Informationen über Tastkopfb Zubehör.





► **Abbildung 46.** Oszilloskop-Bandbreite ist die Frequenz, bei der ein sinusförmiges Eingangssignal auf 70,7 % der wahren Signalamplitude gedämpft wird – das wird als -3 dB-Punkt bezeichnet

## Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

Wie bereits erwähnt, entspricht ein Oszilloskop in gewissem Sinn einer Kamera, die Signalbilder erfasst, welche anschließend beobachtet und interpretiert werden können. Verschlusszeit, Beleuchtung, Blendenöffnung und DIN/ASA-Lichtempfindlichkeit des Films beeinflussen die Fähigkeit der Kamera, ein Bild klar und genau aufzunehmen. Wie die grundlegenden Systeme eines Oszilloskops beeinflussen die Leistungskriterien eines Oszilloskops dessen Fähigkeit, die erforderliche Signalintegrität zu erreichen.

Das Erwerben neuer Kenntnisse umfasst oft auch das Erlernen eines neuen Vokabulars. Das gilt auch für das Erlernen des Umgangs mit einem Oszilloskop. Dieser Abschnitt beschreibt einige hilfreiche Mess- und Oszilloskop-Leistungsbegriffe. Diese Begriffe dienen zur Beschreibung der Kriterien, mit denen das richtige Oszilloskop für Ihren Anwendungsfall ausgewählt werden kann. Das Verständnis dieser Begriffe hilft Ihnen bei der Bewertung und beim Vergleich Ihres Oszilloskops mit anderen Modellen.

### Bandbreite

Die **Bandbreite** bestimmt die fundamentale Fähigkeit eines Oszilloskops, ein Signal zu messen. Mit ansteigender Signalfrequenz nimmt die Fähigkeit des Oszilloskops ab, das Signal genau darzustellen. Diese Spezifikation gibt den Frequenzbereich an, in dem das Oszilloskop genaue Messungen durchführen kann.

Die Oszilloskop-Bandbreite wird als die Frequenz definiert, bei der ein sinusförmiges Eingangssignal auf 70,7 % der wahren Signalamplitude gedämpft wird – bekannt als -3 dB-Punkt; dies stützt sich auf eine logarithmische Skala (siehe Abbildung 46).



► **Abbildung 47.** Je höher die Bandbreite, desto genauer ist die Reproduktion des Signals; dies wird hier mit einem Signal veranschaulicht, das bei den Bandbreitenwerten 250 MHz, 1 GHz und 4 GHz erfasst wurde

Ohne ausreichende Bandbreite kann das Oszilloskop hochfrequente Änderungen nicht erfassen. Die Amplitude wird verzerrt. Flanken sind schlecht sichtbar. Details gehen verloren. Ohne ausreichende Bandbreite haben alle Leistungsmerkmale, Sonderfunktionen und Extras des Oszilloskops keine Bedeutung.

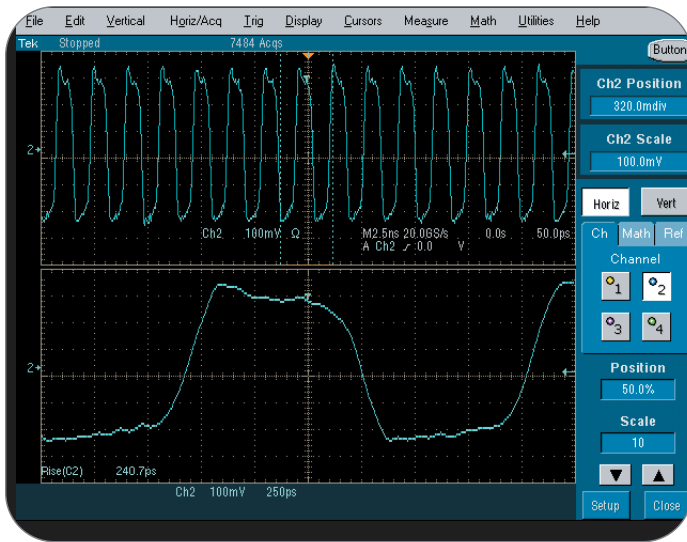
► **Die Fünffach-Regel**  
**Erforderliche Oszilloskop-Bandbreite = Komponente mit der höchsten Frequenz des gemessenen Signals x 5**

Zur Bestimmung der Oszilloskop-Bandbreite, die zur genauen Charakterisierung der Signalamplitude in der vorliegenden Anwendung erforderlich ist, wenden Sie die Fünffach-Regel an.

Ein mit der Fünffach-Regel ausgewähltes Oszilloskop liefert weniger als +/-2 % Fehler in den Messungen – das ist in der Regel für heutige Anwendungen ausreichend. Mit zunehmender Signalgeschwindigkeit kann es jedoch unmöglich werden, diese Faustregel zu erfüllen. Es ist immer zu beachten, dass eine höhere Bandbreite eine genauere Reproduktion des Signals erzielt (siehe Abbildung 47).

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen



► **Abbildung 48.** Anstiegszeit-Charakterisierung eines digitalen Hochgeschwindigkeitssignals

## Anstiegszeit

In Digitalschaltungen sind Anstiegszeitmessungen von kritischer Bedeutung. Die Anstiegszeit kann ein besser geeignetes Leistungskriterium sein, wenn Digitalsignale, wie Impuls- und Treppensignale, gemessen werden müssen. Das Oszilloskop muss ausreichend Anstiegszeit haben, um die Details schneller Transienten genau erfassen zu können.

Die **Anstiegszeit** beschreibt den nutzbaren Frequenzbereich eines Oszilloskops. Zur Berechnung der Oszilloskop-Anstiegszeit, die für die vorliegende Signalart erforderlich ist, kann folgende Gleichung herangezogen werden:

$$\text{Erforderliche Oszilloskop-Anstiegszeit} = \frac{\text{Schnellste Anstiegszeit des gemessenen Signals}}{5}$$

Logik-Familie	Typische Signal-Anstiegszeit	Berechnete Signalbandbreite
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1,5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3,5 GHz
GaAs	40 ps	8,75 GHz

► **Abbildung 49.** Einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere

Es ist zu beachten, dass diese Grundlage für die Auswahl der Oszilloskop-Anstiegszeit der für die Bandbreite ähnlich ist. Wie bei der Bandbreite kann diese Faustregel aufgrund der heutigen extremen Signalgeschwindigkeiten nicht immer eingehalten werden. Denken Sie stets daran, dass ein Oszilloskop mit schnellerer Anstiegszeit die kritischen Details schneller Transienten genauer erfassen kann.

In einigen Anwendungen ist u.U. nur die Anstiegszeit eines Signals bekannt.

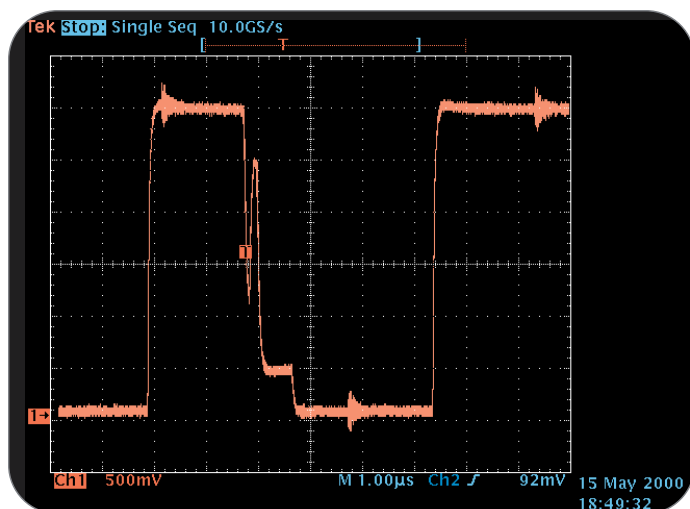
Anhand einer Konstanten und folgender Gleichung können Sie Bandbreite und Anstiegszeit des Oszilloskops miteinander in Bezug setzen:

$$\text{Bandbreite} = \frac{k}{\text{Anstiegszeit}}$$

wobei k je nach Form der Frequenzgangkurve und Impulsanstiegszeitantwort des Oszilloskops ein Wert zwischen 0,35 und 0,45 ist. Oszilloskope mit einer Bandbreite von <1 GHz haben in der Regel einen Wert von 0,35, während Oszilloskope mit einer Bandbreite von >1 GHz in der Regel einen Wert zwischen 0,40 und 0,45 aufweisen.

Einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere; das wird in Abbildung 49 veranschaulicht.





► **Abbildung 50.** Eine höhere Abtastrate liefert eine bessere Signalauflösung und stellt sicher, dass Sie intermittierende Ereignisse darstellen können

## Abtastrate

Die **Abtastrate** – angegeben als Sample pro Sekunde (S/s) – bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein Digital-Oszilloskop einen Schnappschuss oder eine Abtastung des Signals durchführt; dies entspricht den Frames einer Filmkamera. Je schneller ein Oszilloskop abtastet (bzw. je höher die Abtastrate ist), desto höher ist die Auflösung, desto mehr Details des dargestellten Signals werden erhalten und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass kritische Informationen oder Ereignisse verloren gehen (siehe Abbildung 50). Die minimale Abtastrate kann auch wichtig sein, wenn sich langsam ändernde Signale über einen langen Zeitraum hinweg untersucht werden müssen. In der Regel ändert sich die dargestellte Abtastrate mit den Änderungen, die mit dem Bedienelement für die Horizontalskala durchgeführt werden, um eine konstante Anzahl von Signalpunkten im dargestellten Signaldatensatz beizubehalten.

Wie berechnen Sie Ihre Anforderungen für die Abtastrate? Die verwendete Methode hängt von der Art des gemessenen Signals und der vom Oszilloskop verwendeten Signalaufbaumethode ab. Gemäß dem Nyquist-Theorem muss ein Signal mindestens zwei Mal so schnell wie seine höchste Frequenzkomponente abgetastet werden, damit es ohne Aliasing und exakt aufgebaut werden kann. Dieses Theorem setzt jedoch eine unbegrenzte Speichertiefe und ein kontinuierliches Signal voraus. Da kein Oszilloskop unbegrenzte Speichertiefe hat und Glitche laut Definition nicht kontinuierlich sind, ist die Abtastung mit nur der doppelten Rate der höchsten Frequenzkomponente gewöhnlich unzureichend.

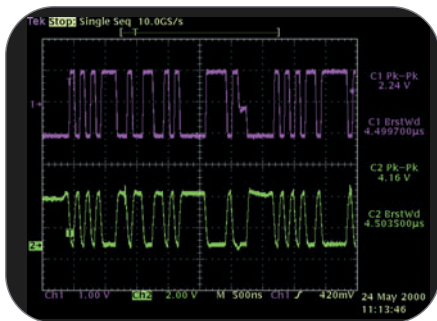
In der Praxis hängt ein genauer Signalaufbau sowohl von der Abtastrate als auch der Interpolationsmethode ab, mit der die Leerräume zwischen den Abtastpunkten aufgefüllt werden. Bei einigen Oszilloskopen können Sie entweder die  $\text{Sinx}/x$ -Interpolation zum Messen sinusförmiger Signale oder die lineare Interpolation für rechteckförmige Signale, Impulse und andere Signalarten auswählen.

- **Zur genauen Rekonstruktion anhand der  $\text{Sinx}/x$ -Interpolation sollte das Oszilloskop eine Abtastrate haben, die um das 2,5-Fache höher als die höchste Frequenzkomponente des Signals ist. Bei der linearen Interpolation muss die Abtastrate mindestens das 10-Fache der höchsten Frequenzkomponente des Signals betragen.**

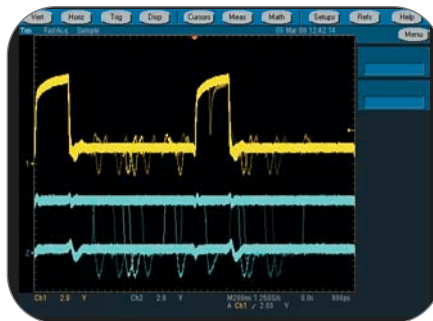
Einige Mess-Systeme mit Abtastraten von bis zu 20 GS/s und Bandbreiten von bis zu 4 GHz wurden für das Erfassen sehr schneller, transienter Einzelschuss-Ereignisse optimiert; dazu wird Oversampling mit dem bis zu 5-Fachen der Bandbreite angewendet.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

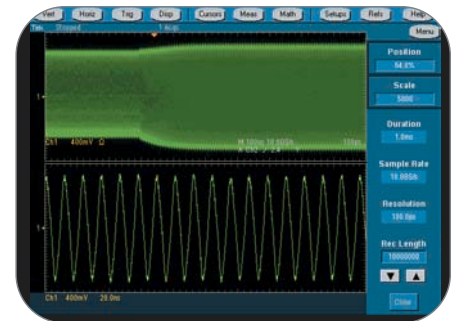
## ► Grundlagen



► **Abbildung 51.** Ein DSO eignet sich ideal für nicht repetierende Hochgeschwindigkeits- und Mehrkanalanwendungen bei Digitalschaltungen



► **Abbildung 52.** Ein DPO ermöglicht ausgezeichnete Einsicht in das Signalverhalten; es liefert beachtlich schnellere Signalerfassungsraten und dreidimensionale Darstellung, wodurch es das beste Allzweck-Design- und Fehlersuchwerkzeug für einen breiten Anwendungsbereich ist



► **Abbildung 53.** Das Erfassen des hochfrequenten Details dieses modulierten 85-MHz-Trägersignals erfordert eine Abtasttechnik mit hoher Auflösung (100 ps). Zur Darstellung der vollständigen Modulationshüllkurve des Signals ist eine lange Zeitperiode erforderlich (1 ms). Durch die große Speichertiefe (10 MB) kann das Oszilloskop beide darstellen

### Signalerfassungsrate

Alle Oszilloskope „blinken“. Sie öffnen „ihre Augen“ eine bestimmte Anzahl pro Sekunde, um das Signal zu erfassen – dazwischen sind die Augen geschlossen. Das ist die **Signalerfassungsrate**, ausgedrückt in Signalen pro Sekunde. Während die Abtastrate angibt, wie oft das Oszilloskop das Eingangssignal innerhalb eines Signalzugs oder Zyklus abtastet, bezieht sich die Signalerfassungsrate auf die Geschwindigkeit, mit der ein Oszilloskop komplette Signalzüge erfasst.

Die Signalerfassungsrate kann stark variieren, und zwar abhängig von der Art und Leistungsfähigkeit des Oszilloskops. Oszilloskope mit einer hohen Signalerfassungsrate liefern wesentlich bessere Einsicht in das Signalverhalten und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass das Oszilloskop einmalige Anomalien, wie Jitter, Runt-Impulse, Glitche und Flankenfehler schnell erfassen kann (siehe Abbildungen 51 und 52).

Digitalspeicher-Oszilloskope (DSOs) verwenden zur Erfassung zwischen 10 und 5000 Signalen pro Sekunde eine serielle Verarbeitungsarchitektur. Einige DSOs verfügen über einen speziellen Modus, der eine schnelle Erfassung in einzelne Segmente eines langen Speichers bietet, und dadurch kurzzeitig eine höhere Signalerfassungsrate gefolgt von langen Verarbeitungstotzeiten erzeugt; dadurch sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass seltene intermittierende Ereignisse erfasst werden.

Die meisten Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) verwenden eine parallele Verarbeitungsarchitektur, die wesentlich höhere Signalerfassungsraten ermöglicht. Einige DPOs können Millionen von Signalen in nur Sekunden erfassen und dadurch die Wahrscheinlichkeit beachtlich erhöhen, dass intermittierende und seltene Ereignisse erfasst und dadurch Probleme im Signal schneller erkannt werden. Die Fähigkeit des DPOs, drei Dimensionen an Signalinformationen in Echtzeit erfassen und darstellen zu können – Amplitude, Zeit und Verteilung der Amplitude über Zeit – bietet eine ausgezeichnete Einsicht in das Signalverhalten.

### Speichertiefe

Die Speichertiefe, angegeben als Anzahl der Punkte, aus denen ein vollständiger Signaldatensatz bestehen kann, bestimmt die Datenmenge, die über jeden Kanal erfasst werden kann. Da ein Oszilloskop nur eine begrenzte Anzahl von Abtastungen speichern kann, ist die Signaldauer (Zeit) umgekehrt proportional zur Abtastrate des Oszilloskops.

$$\text{Zeitintervall} = \frac{\text{Speichertiefe}}{\text{Abtastrate}}$$

Moderne Oszilloskope ermöglichen das Auswählen der Speichertiefe, um die Detailerfassung für die vorliegende Anwendung optimieren zu können. Wenn Sie ein extrem stabiles sinusförmiges Signal analysieren, benötigen Sie u.U. nur eine Speichertiefe von 500 Punkten. Wenn Sie jedoch die Ursache von Timing-Anomalien in einem komplizierten digitalen Datenstrom isolieren möchten, sind u.U. Millionen Punkte als Speichertiefe erforderlich.

## Trigger-Möglichkeiten

Die **Trigger**-Funktion eines Oszilloskops synchronisiert die horizontale Ablenkung an der richtigen Signalstelle, was für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend ist. Die Trigger-Bedienelemente dienen zum Stabilisieren repetierender Signale und Erfassen von Einzelschuss-Signalen.

Im Abschnitt „**Trigger**“ unter „**Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien**“ finden Sie weitere Informationen über die Trigger-Möglichkeiten.

## Effektive Bits

Effektive Bits sind ein Maß für die Fähigkeit eines Digital-Oszilloskops, einen sinusförmigen Signalzug genau wiederzugeben. Diese Messung vergleicht den Ist-Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers. Da Ist-Fehler Störärauschen und Verzerrungen enthalten, müssen Frequenz und Amplitude des Signals angegeben werden.

## Frequenzgang

Bandbreite allein reicht nicht aus, um sicherzustellen, dass ein Oszilloskop ein hochfrequentes Signal genau erfassen kann. Das Ziel bei der Auslegung eines Oszilloskops ist eine bestimmte Art des Frequenzgangs: **MFED (Maximally Flat Envelope Delay)**. Ein Frequenzgang dieser Art liefert ausgezeichnete Impuls-Darstellgüte mit minimalem Überschwängen und „Klingeln“. Da ein Digital-Oszilloskop aus echten Verstärkern, Dämpfungsgliedern und Relais besteht, ist MFED-Antwort ein Ziel, das nur annäherungsweise erreicht werden kann. Die Impuls-Darstellgüte variiert in großem Maße von Modell zu Modell und Hersteller zu Hersteller. (Abbildung 46 veranschaulicht dieses Konzept.)

## Vertikale Empfindlichkeit

Die **vertikale Empfindlichkeit** gibt an, wie stark der Vertikalverstärker ein schwaches Signal verstärken kann – gewöhnlich gemessen in Millivolt (mV) pro Teil. Die kleinste Spannung, die von einem Mehrzweck-Oszilloskop erkannt werden kann, beträgt in der Regel etwa 1 mV pro vertikalem Bildschirmteil.

## Ablenkgeschwindigkeit

Die **Ablenkgeschwindigkeit** gibt an, wie schnell die Strahlspur über den Oszilloskop-Bildschirm geführt werden kann, damit Sie feine Details darstellen können. Die Ablenkgeschwindigkeit eines Oszilloskops wird in Zeit (Sekunden) pro Teil gemessen.

## Verstärkungsgenauigkeit

Die **Verstärkungsgenauigkeit** gibt an, wie genau das Vertikalsystem ein Signal dämpft oder verstärkt; in der Regel wird dies als prozentueller Fehler ausgedrückt..

## Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)

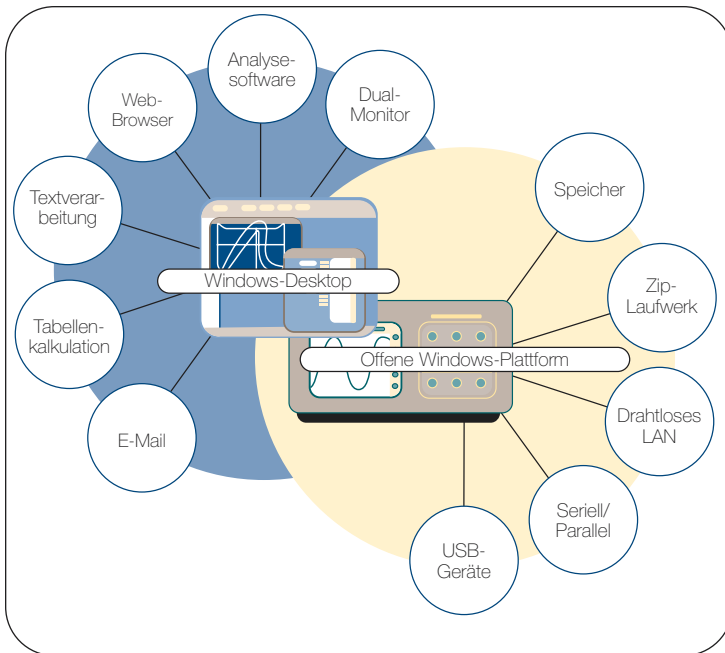
Die **horizontale Genauigkeit** (oder **Zeitbasis-Genauigkeit**) gibt an, wie genau das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann; in der Regel wird dies als prozentueller Fehler ausgedrückt.

## Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)

Die vertikale Auflösung des AD-Wandlers und damit des Digital-Oszilloskops gibt an, wie genau Eingangsspannungen in Digitalwerte umgewandelt werden können. Die vertikale Auflösung wird in Bits gemessen. Berechnungsmethoden können die effektive Auflösung verbessern; ein Beispiel dafür ist der Hi-Res-Erfassungsmodus. Schlagen Sie dazu im Abschnitt „**Horizontalsystem und Bedienelemente**“ unter „**Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops**“ nach.

## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

### ► Grundlagen

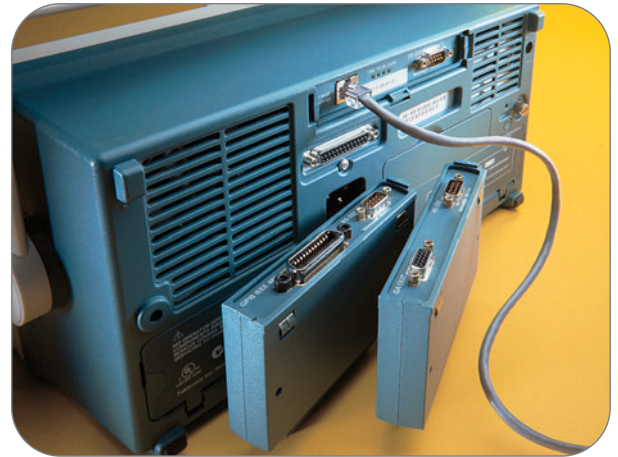


► **Abbildung 54.** Ein Oszilloskop der TDS7000-Serie verbindet Menschen und Messgeräte – das spart Zeit und erhöht die Produktivität der gesamten Arbeitsgruppe

### Konnektivität

Die Fähigkeit, Messergebnisse zu analysieren, ist von höchster Bedeutung. Zudem wird es immer wichtiger, Informationen und Messergebnisse auch einfach und häufig dokumentieren und über Hochgeschwindigkeitsnetze mit anderen austauschen zu können.

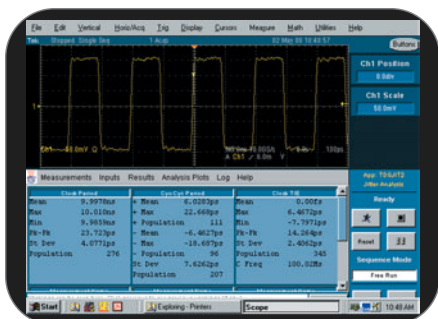
Die Konnektivität eines Oszilloskops liefert hoch entwickelte Analysefähigkeiten und vereinfacht die Dokumentation und die Weitergabe der Ergebnisse. Über standardmäßige Schnittstellen (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) und Netzwerkkommunikations-Module können einige Oszilloskope eine Vielfalt an Funktionen und Bedienungsmöglichkeiten bieten.



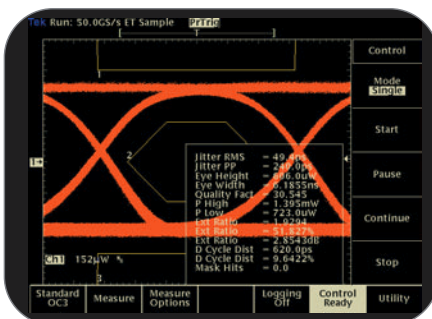
► **Abbildung 55.** Ein Oszilloskop der TDS3000-Serie bietet ein breites Angebot an Datenübertragungsschnittstellen, wie einen standardmäßigen Centronics-Anschluss und optionale Ethernet/RS-232-, GPIB/RS-232- und VGA/RS-232-Module

Mit einigen hoch entwickelten Oszilloskopen können Sie auch folgende Aufgaben ausführen:

- Das Erstellen, Bearbeiten und Verteilen von Unterlagen direkt mit dem Oszilloskop – während Sie mit dem Messgerät an Ihrem jeweiligen Arbeitsplatz arbeiten.
- Das Zugreifen auf Netzwerk-Ressourcen für Druckfunktionalität und gemeinsamer Dateizugriff.
- Das Zugreifen auf den Windows™-Desktop.
- Das Ausführen von Analyse- und Dokumentationssoftware anderer Hersteller.
- Die Verbindungsaufnahme mit Netzwerken.
- Das Zugreifen auf das Internet.
- Das Senden und Empfangen von E-Mail.



► **Abbildung 56.** Das wahlweise erhältliche Software-Paket TDSJIT2 für die Oszilloskope der TDS7000-Serie ist speziell für die Anforderungen der Jitter-Messungen bei modernen Hochgeschwindigkeits-Digitalschaltungen vorgesehen



► **Abbildung 57.** Rüsten Sie das Oszilloskop der TDS700-Serie mit dem Telekom-Maskenprüf-Anwendungsmodul TDSCM1 für Konformitätsprüfungen aus



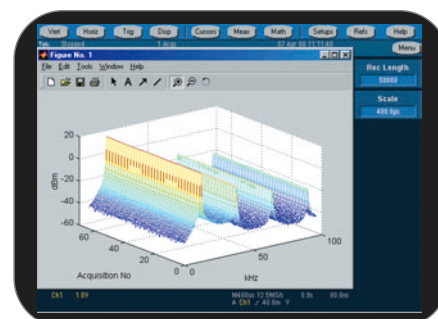
► **Abbildung 58.** Das Videomodul TDS3SDI macht das Oszilloskop der TDS3000-Serie zu einem schnellen, vielseitigen Gerät für die Video-Fehlersuche

## Flexibilität (Erweiterbarkeit)

Ein Oszilloskop sollte Ihre Anforderungen auch dann erfüllen können, wenn sich diese ändern. Mit einigen Oszilloskopen können Sie folgende Aufgaben ausführen:

- Erfassungsspeicher hinzufügen, um größere Speichertiefen zu analysieren.
- Anwendungsspezifische Messfähigkeiten hinzufügen.
- Die Leistungsfähigkeit des Oszilloskops durch eine umfassende Auswahl an Tastköpfen und Modulen erweitern.
- Mit gängiger, Windows-kompatibler Analyse- und Produktivitätssoftware von anderen Herstellern arbeiten.
- Zubehör, wie Akku und 19-Zoll-Adapter, hinzufügen.

Mit Anwendungsmodulen und Software können Sie das Oszilloskop in ein stark spezialisiertes Analysegerät verwandeln, das Funktionen wie Jitter- und Timing-Analyse, Mikroprozessor-Speichersystemverifizierung, Telekom-Standardprüfungen, Festplatten-Laufwerksmessungen, Videomessungen, Leistungsmessungen und vieles mehr durchführen kann.

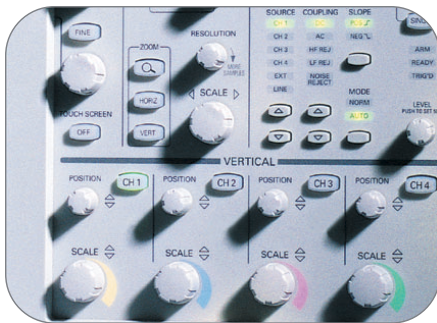


► **Abbildung 59.** Hoch entwickelte Analyse- und Produktivitätssoftware, wie MATLAB®, kann in Oszilloskopen der TDS7000-Serie installiert werden, um lokale Signalanalysen durchzuführen

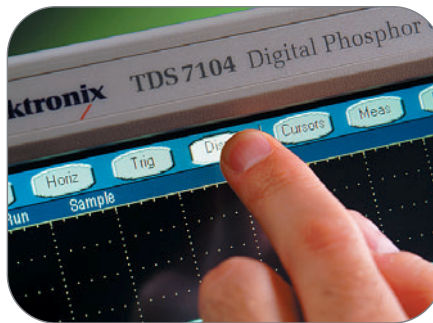


## Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

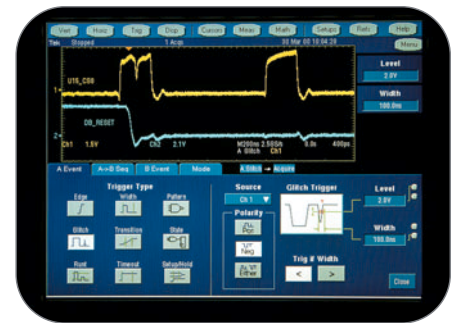
### ► Grundlagen



► **Abbildung 60.** Konventionelle klassische Analog-Bedienelemente zum Einstellen von Position, Skalierung, Helligkeit usw. – genau so, wie Sie das erwarten



► **Abbildung 61.** Berührungssensitiver Bildschirm löst Probleme überladener Labortische und -wagen und bietet gleichzeitig Zugriff auf eindeutige Bildschirmtasten



► **Abbildung 62.** Über die grafischen Bedienfenster können Sie sogar auf die anspruchvollsten Funktionen einfach und zuverlässig zugreifen

### Einfache Bedienung

Oszilloskope sollten einfach zu erlernen und zu verwenden sein, damit Sie Ihre Arbeitsaufgaben mit höchster Effizienz und Produktivität bewältigen können. Genauso wie es keinen typischen Autofahrer gibt, gibt es auch keinen typischen Oszilloskop-Benutzer. Es gibt Benutzer, die klassische Analog-Bedienelemente vorziehen, und solche, die im Zeitalter von Windows™/Internet aufgewachsen sind. Um den Anforderungen dieser breit gefächerten Benutzergruppe gerecht zu werden, muss eine flexible Oszilloskopbedienung sichergestellt sein.

Viele Oszilloskope bieten einen Kompromiss zwischen Leistung und Einfachheit, indem der Benutzer das Messgerät auf vielerlei Weise bedienen kann. Ein Frontplatten-Layout enthält eigene vertikale, horizontale und Trigger-Bedienelemente. Eine grafische Benutzeroberfläche mit zahlreichen Symbolen erleichtert das Verständnis und die intuitive Verwendung hoch entwickelter Funktionen. Ein berührungssensitiver Bildschirm löst Probleme überladener Labortische und -wagen und bietet gleichzeitig Zugriff auf eindeutige Bildschirmtasten. Die Online-Hilfe enthält eine praktische Referenzanleitung. Die intuitiven Bedienelemente geben auch dem gelegentlichen Oszilloskop-Benutzer das nötige Selbstvertrauen, und häufige Oszilloskop-Benutzer erhalten gleichzeitig einfachen Zugriff auf die hoch entwickelten Funktionen des Oszilloskops. Außerdem sind viele Oszilloskope portabel, damit sie auch in unterschiedlichen Arbeitsumgebungen – im Labor und im Feld – effizient eingesetzt werden können.

### Tastköpfe

Ein Tastkopf ist eine wichtige Komponente des Mess-Systems, welche die Signalintegrität sicherstellt und Sie in die Lage versetzt, die gesamte Leistung und alle Funktionen des Oszilloskops zu nutzen. Weitere Informationen finden Sie unter „Das vollständige Mess-System“ im Abschnitt „Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops“ oder im Tektronix-Einführungshandbuch „ABCs of Probes“ (ABC der Tastköpfe).



► **Abbildung 63.** Die Portabilität vieler Oszilloskope sorgt auch in unterschiedlichen Arbeitsumgebungen für eine effiziente Arbeitsweise

## Die Bedienung des Oszilloskops

### Geräteeinstellung

Dieser Abschnitt umreißt in groben Zügen die Vorbereitung und anfängliche Bedienung eines Oszilloskops – speziell das Erden des Oszilloskops, Einstellen der Bedienelemente auf die Standardwerte und Kompensieren des Tastkopfs.

Die korrekte Erdung ist ein wichtiger Schritt, wenn Messungen an einer Schaltung vorgenommen werden sollen. Die korrekte Erdung des Oszilloskops schützt Sie vor gefährlichen Stromschlägen. Gleichmaßen wichtig ist Ihre eigene Erdung, um die Schaltung selbst vor Schäden zu schützen.

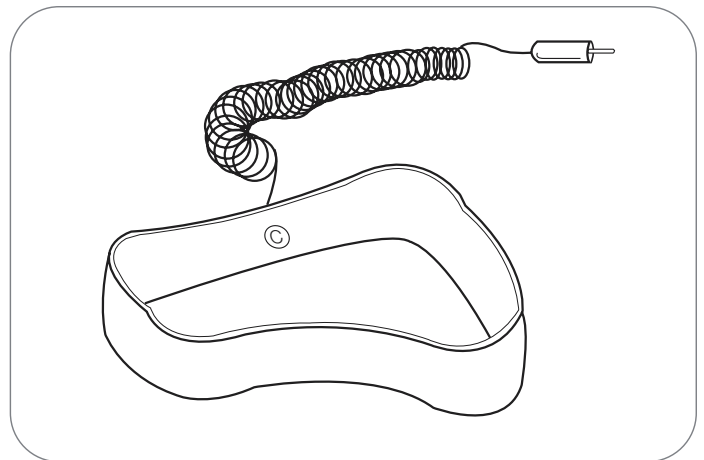
### Erdung des Oszilloskops

Erdung des Oszilloskops bedeutet, es an einen elektrisch neutralen Bezugspunkt anzuschließen, wie z.B. an Erde (Masse). Erden Sie das Oszilloskop, indem Sie das Netzkabel an eine geerdete Steckdose anschließen.

Die Erdung des Oszilloskops ist aus Sicherheitsgründen erforderlich. Wenn das Gehäuse – beliebige Teile, einschließlich scheinbar isolierter Tasten – eines nicht geerdeten Oszilloskops mit Hochspannung in Kontakt kommt, können Sie Stromschlägen ausgesetzt werden. Bei einem sachgerecht geerdeten Oszilloskop wird der Strom durch den Erdungsleiter an den Erdboden abgeleitet und nicht durch Ihren Körper.

Die Erdung ist auch notwendig, um mit dem Oszilloskop genaue Messungen durchführen zu können. Das Oszilloskop muss auf gleichem Potenzial liegen wie die zu prüfenden Schaltungen.

Einige Oszilloskope erfordern keinen separaten Anschluss an Masse (bzw. an Erde). Diese Oszilloskope verfügen über isolierte Gehäuse und Bedienelemente, die den Benutzer vor möglichen Stromschlägen schützen.



► **Abbildung 64.** Typische Erdungsschleife zur Anbringung am Handgelenk

### Erdung der eigenen Person

Wenn Sie mit integrierten Schaltungen (ICs) arbeiten, müssen Sie sich auch selbst erden. Integrierte Schaltungen haben winzige Stromleiter, die durch statische Elektrizität beschädigt werden können, die sich an Ihrem Körper aufbaut. Sie können teure ICs zerstören, indem Sie einfach über einen Teppichboden laufen oder einen Pullover ausziehen und dann die Drähte des IC berühren. Zur Lösung dieses Problems sollten Sie eine Erdungsschleife tragen (siehe Abbildung 64). Diese Schleife leitet statische Elektrizität von Ihrem Körper sicher ab.



# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen

### Einstellen der Bedienelemente

Nach dem Anschließen des Oszilloskops an der Steckdose sollten Sie sich die Frontplatte ansehen. Wie bereits beschrieben, ist die Frontplatte eines Oszilloskops in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als Vertikal, Horizontal und Trigger bezeichnet werden. Das Oszilloskop kann je nach Modell und Art (analog oder digital) auch noch über andere Abschnitte verfügen.

Beachten Sie die Eingangs-Steckverbinder auf dem Oszilloskop – dort werden die Tastköpfe angeschlossen. Die meisten Oszilloskope verfügen über mindestens zwei Eingangskanäle, und jeder Kanal kann ein Signal auf dem Bildschirm darstellen. Mehrere Kanäle sind zum Vergleichen von Signalen von Vorteil.

Einige Oszilloskope verfügen über AUTO-SETUP- und/oder STANDARD (DEFAULT)-Tasten, mit denen die Bedienelemente in einem Schritt für ein Signal vorbereitet werden können. Wenn Ihr Oszilloskop diese Funktion nicht hat, sollten Sie die Bedienelemente vor Beginn der Messungen in die Standardstellungen bringen.

Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zur Einstellung des Oszilloskops auf Standardwerte/-positionen:

- Schalten Sie Kanal 1 am Oszilloskop ein
- Stellen Sie die Volt/Teil-Skala und die Positions-Bedienelemente in die Mittelbereich-Stellungen
- Schalten Sie variable Volt/Teil aus
- Schalten Sie alle Vergrößerungseinstellungen (z.B. Zoom) aus
- Stellen Sie die Eingangskopplung für Kanal 1 auf DC ein
- Stellen Sie den Trigger-Modus auf Automatisch ein
- Stellen Sie die Trigger-Quelle auf Kanal 1 ein
- Stellen Sie Trigger-Holdoff auf den Minimalwert ein oder auf aus
- Stellen Sie die Helligkeit auf einen nominellen Darstellwert ein, sofern dies verfügbar ist
- Stellen Sie das Fokussier-Bedienelement auf eine scharfe Darstellung ein, sofern dies verfügbar ist
- Stellen Sie horizontale Zeit/Teil- und die Positions-Bedienelemente in die Mittelbereich-Stellungen

Schlagen Sie in der Bedienungsanleitung des Oszilloskops detaillierte Anweisungen nach. Der Abschnitt „**Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops**“ in diesem Einführungshandbuch beschreibt die Oszilloskop-Bedienelemente ausführlicher.

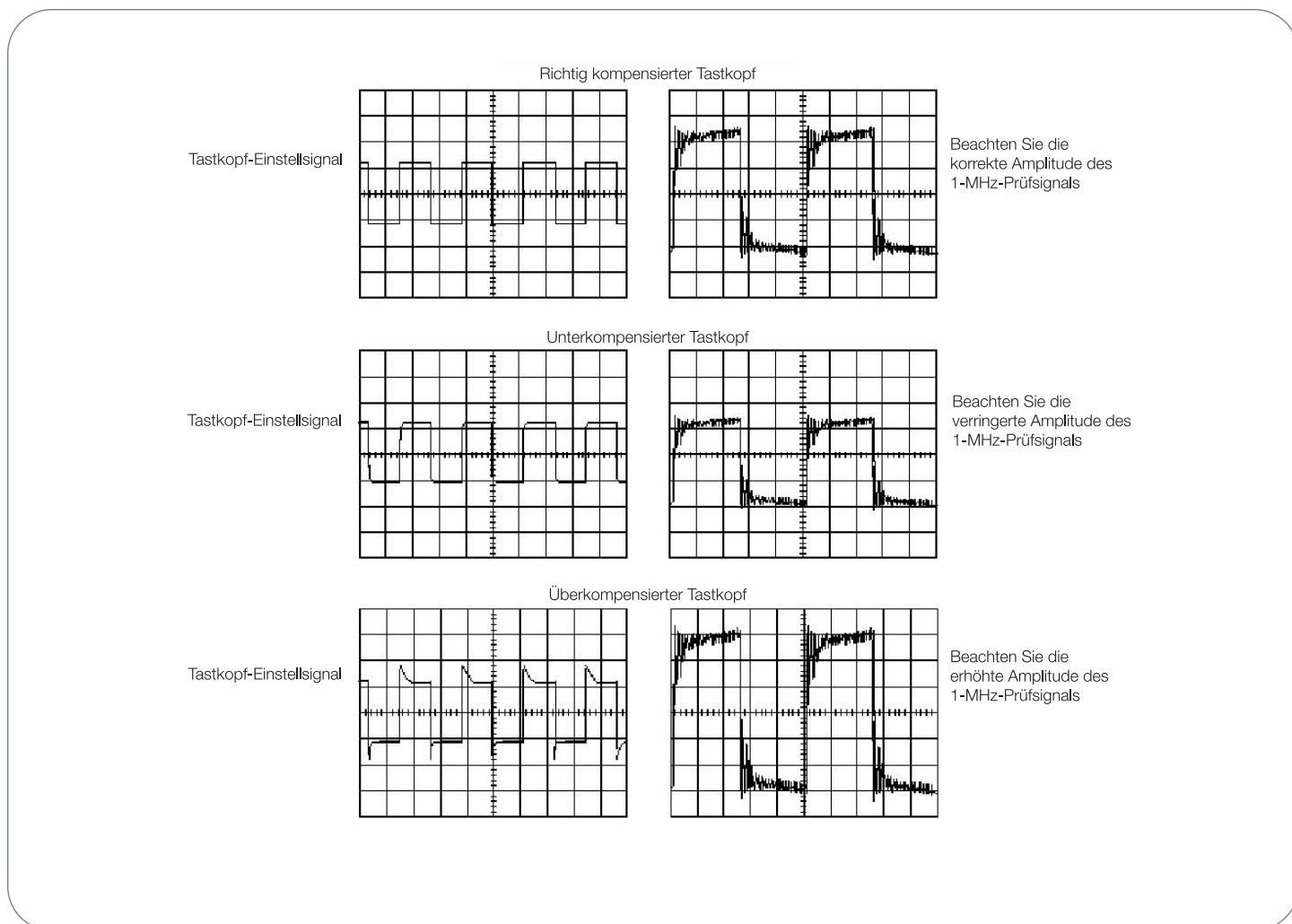
### Gebrauch von Tastköpfen

Nun können Sie einen Tastkopf an das Oszilloskop anschließen. Wenn ein Tastkopf gut auf das Oszilloskop abgestimmt ist, können Sie die gesamte Leistungsfähigkeit und alle Funktionen des Oszilloskops nutzen; außerdem stellt der Tastkopf die Integrität des gemessenen Signals sicher.

Weitere Informationen finden Sie unter „**Das vollständige Mess-System**“ im Abschnitt „**Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops**“ oder im Tektronix-Einführungshandbuch „*ABCs of Probes*“ (ABC der Tastköpfe).

### Anschließen der Erdungsklemme

Das Messen eines Signals erfordert zwei Anschlüsse: Den Anschluss an der Tastkopfspitze und den Erdungsanschluss. Der Tastkopf wird mit einer Krokodilklemme zur Erdung des Tastkopfs am Prüfling geliefert. In der Praxis befestigen Sie die Erdungsklemme an einem bekannten Erdungspunkt in der Schaltung, wie z.B. dem Metallgehäuse einer Stereoanlage, die Sie reparieren; danach berühren Sie mit der Tastkopfspitze einen Prüfpunkt in der Schaltung.



► **Abbildung 65.** Die Auswirkungen ungenauer Tastkopf-Kompensation

## Kompensation des Tastkopfs

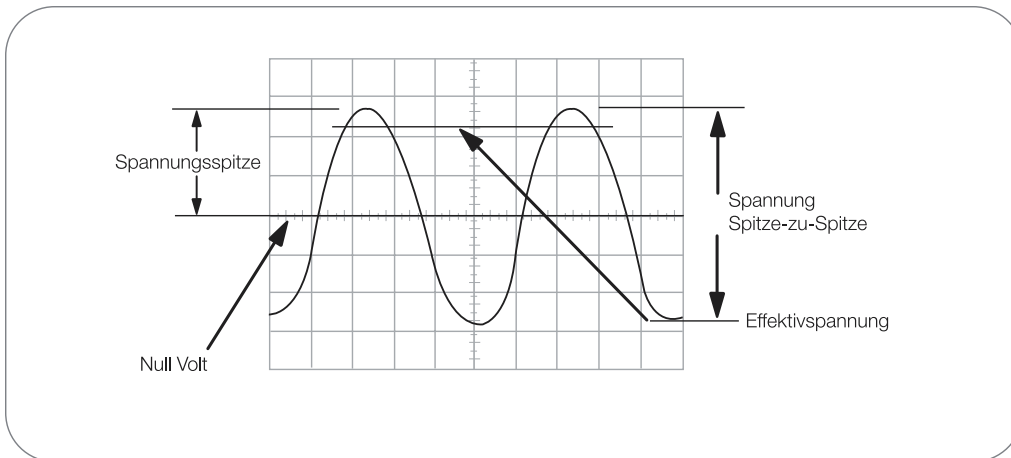
Passive, dämpfende Spannungstastköpfe müssen mit dem Oszilloskop abgeglichen (kompensiert) werden. Bevor Sie einen passiven Tastkopf verwenden, müssen Sie diesen kompensieren – d.h. seine elektrischen Eigenschaften mit einem bestimmten Oszilloskop abgleichen. Sie sollten es sich zur Gewohnheit machen, den Tastkopf immer zu kompensieren, wenn Sie das Oszilloskop vorbereiten. Ein schlecht eingestellter Tastkopf kann zu ungenauen Messungen führen. Abbildung 65 veranschaulicht die Auswirkungen auf ein 1-MHz-Prüfsignal, wenn ein schlecht kompensierter Tastkopf verwendet wird.

Die meisten Oszilloskope weisen an einer Anschlussklemme auf der Frontplatte ein Bezugssignal auf, mit dem der Tastkopf kompensiert werden kann. Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zum Kompensieren des Tastkopfs:

- Verbinden Sie den Tastkopf mit einem Vertikalkanal
- Verbinden Sie die Tastkopfspitze mit dem Tastkopf-Kompensationssignal (d.h. dem Bezugssignal)
- Befestigen Sie die Erdungsklemme des Tastkopfs an der Erdung
- Betrachten Sie das rechteckförmige Bezugssignal
- Nehmen Sie die entsprechenden Einstellungen am Tastkopf vor, damit die Ecken des Rechtecksignals tatsächlich einen rechten Winkel bilden

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen



► **Abbildung 66.** Spannungsspitze (V<sub>p</sub>) und Spitze-zu-Spitze-Spannung (V<sub>p-p</sub>)

Beim Kompensieren des Tastkopfs müssen Sie stets alle Zuhörspitzen, die später verwendet werden sollen, anbringen und den Tastkopf an den Vertikalkanal anschließen, den Sie verwenden werden. Damit wird sichergestellt, dass das Oszilloskop die gleichen elektrischen Eigenschaften wie bei der Durchführung der Messung haben wird.

### Oszilloskop-Messtechniken

Dieser Abschnitt erläutert grundlegende Messtechniken. Die zwei einfachsten Messungen sind Spannungs- und Zeitmessungen. Nahezu alle anderen Messungen stützen sich auf diese beiden fundamentalen Techniken.

Dieser Abschnitt beschreibt die Methoden zur visuellen Durchführung von Messungen auf dem Oszilloskop-Bildschirm. Das ist eine bei Analog-Messgeräten übliche Technik, die auch bei einer „Schnellinterpretation“ von DSO- und DPO-Darstellungen hilfreich sein kann.

Beachten Sie, dass die meisten Digital-Oszilloskope über automatisierte Messhilfsmittel verfügen. Wenn Sie wissen, wie Messungen von Hand durchgeführt werden (wie hier beschrieben), erleichtert das auch das Verständnis und die Prüfung von automatischen Messungen mit DSOs und DPOs. Automatisierte Messungen werden später in diesem Abschnitt beschrieben.

### Spannungsmessungen

Spannung ist die Differenz des elektrischen Potentials – angegeben in Volt – zwischen zwei Punkten in einer Schaltung. In der Regel ist einer dieser Punkte Masse (Null Volt); aber das ist nicht immer der Fall. Spannungen können auch von Spitze zu Spitze gemessen werden – vom Maximum des Signalzuges zum Minimum. Sie müssen genau festlegen, welche Spannung Sie messen möchten.

Das Oszilloskop ist in erster Linie ein Spannungsmessgerät. Nachdem Sie die Spannung gemessen haben, können andere Messwerte leicht errechnet werden. Das Ohmsche Gesetz besagt beispielsweise, dass die Spannung zwischen zwei Punkten in einer Schaltung gleich der Stromstärke mal dem Widerstand ist. Demnach kann anhand der folgenden Formel aus zwei dieser Größen die dritte berechnet werden:

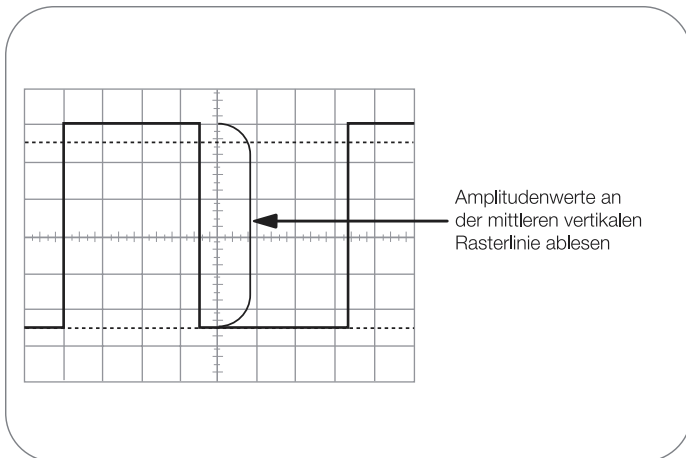
► **Spannung = Stromstärke x Widerstand**

**Stromstärke =  $\frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$**

**Widerstand =  $\frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}}$**

**Leistungsgleichung: Leistung = Spannung x Stromstärke**

Eine weitere hilfreiche Formel ist die Leistungsgleichung. Die Leistung eines Gleichstromsignals ist gleich der Spannung mal der Stromstärke. Bei Wechselstromsignalen sind die Berechnungen etwas komplizierter; die Hauptsache ist hier jedoch, dass der erste Schritt zur Berechnung anderer Größen die Spannungsmessung ist. Abbildung 70 zeigt die Spannung einer Spitze (V<sub>p</sub>) und die Spitze-zu-Spitze-Spannung (V<sub>p-p</sub>).



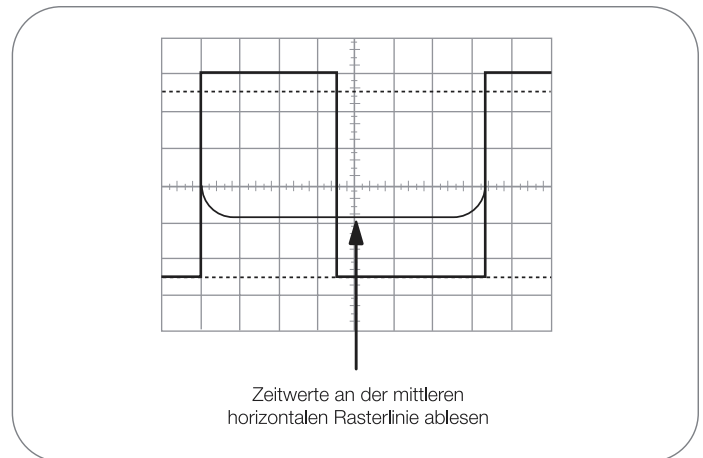
► **Abbildung 67.** Zeitmessung an der mittleren horizontalen Rasterlinie

Die einfachste Methode der Spannungsmessung ist das Zählen der Teile, über die sich ein Signalzug auf der vertikalen Skala des Oszilloskops erstreckt. Wenn das Signal so eingestellt wird, dass es in vertikaler Richtung den Großteil des Bildschirms einnimmt, erhält man die besten Spannungsmessungen (siehe Abbildung 67). Je mehr Bildschirmfläche Sie verwenden, desto genauer können Sie auf vom Bildschirm ablesen.

Viele Oszilloskope verfügen über Bildschirm-**Cursoren**, mit denen Signalmessungen auf dem Bildschirm automatisch durchgeführt werden können, ohne dass Rasterstriche gezählt werden müssen. Ein Cursor ist einfach eine Linie, die Sie über den Bildschirm verschieben können. Zwei horizontale Cursorlinien können nach oben und unten verschoben werden, um die Amplitude eines Signals für Spannungsmessungen einzugrenzen; zwei vertikale Linien lassen sich für Zeitmessungen nach links und rechts verschieben. Eine Messwertanzeige zeigt die Spannung oder Zeit an den Cursorpositionen.

## Zeit- und Frequenzmessungen

Sie können Zeitmessungen anhand der horizontalen Skala des Oszilloskops vornehmen. Zeitmessungen umfassen das Messen der Periode und Impulsbreite von Impulsen. Frequenz ist der Reziprokwert der Periode, d.h. sobald Sie die Periode kennen, erhalten Sie die Frequenz, indem Sie Eins durch die Periode dividieren. Wie Spannungsmessungen sind Zeitmessungen genauer, wenn Sie den Teil des Signals, der gemessen werden soll, so einstellen, dass er auf dem Bildschirm eine möglichst große Fläche einnimmt (siehe Abbildung 68).



► **Abbildung 68.** Zeitmessung an der mittleren horizontalen Rasterlinie

## Impulsbreiten- und Anstiegszeit-Messungen

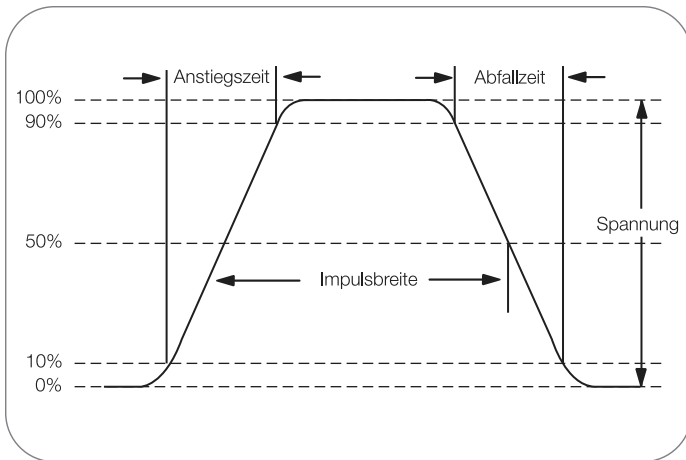
In vielen Anwendungen sind die Details einer Impulsform wichtig. Impulse können verzerrt werden und zum Ausfall einer Digitalschaltung führen; außerdem ist das Timing von Impulsen in einer Impulsfolge oft von großer Bedeutung.

Das Messen der **Impulsbreite** und der **Impulsanstiegszeit** sind standardmäßige Impulsmessungen. Die **Anstiegszeit** ist die Zeit, in der ein Impuls von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel wechselt. Gemäß Definition wird die Anstiegszeit zwischen 10 % und 90 % der vollen Spannung des Impulses gemessen. Das eliminiert Unregelmäßigkeiten an den Impulsflanken. Die Impulsbreite ist die Zeit, in der ein Impuls von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel und wieder zurück wechselt. Gemäß Definition wird die Impulsbreite bei 50 % der vollen Spannung gemessen. Abbildung 69 (siehe nächste Seite) veranschaulicht diese Messpunkte.

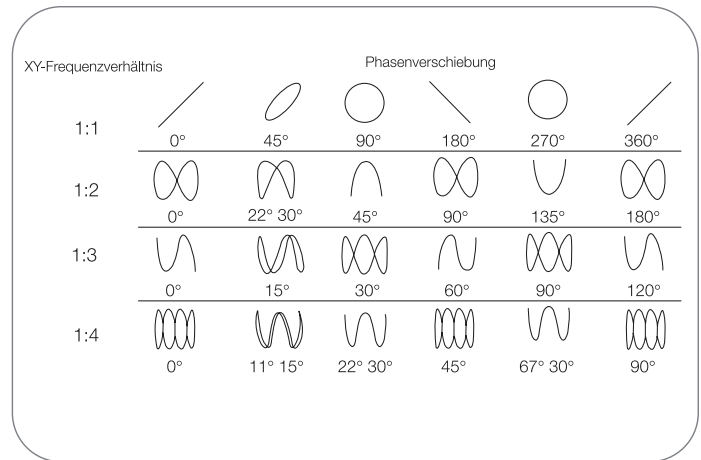
Impulsmessungen erfordern häufig eine Feineinstellung des Triggers. Wenn Sie ein Experte bei der Erfassung von Impulsen werden möchten, sollten Sie lernen, wie Trigger-Holdoff verwendet und wie das Digital-Oszilloskop zum Erfassen von Pretrigger-Daten eingestellt wird; dies wurde im Abschnitt „**Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops**“ beschrieben. Die horizontale Vergrößerung (z.B. Zoom) ist eine weitere hilfreiche Funktion zum Messen von Impulsen, da damit feine Details eines schnellen Impulses sichtbar gemacht werden können.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen



► **Abbildung 69.** Anstiegszeit- und Impulsbreiten-Messpunkte



► **Abbildung 70.** Lissajous-Figuren

## Phasenverschiebungsmessungen

Eine Methode zur Messung von Phasenverschiebungen – dem Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten identischen periodischen Signalen – ist die Verwendung des XY-Modus. Bei dieser Messtechnik wird ein Signal wie gewöhnlich in das Vertikalsystem eingespeist; anschließend wird ein zweites Signal in das Horizontalsystem eingespeist – dies wird als XY-Messung bezeichnet, da sowohl die X- als auch die Y-Achse Spannungen verfolgen. Der bei dieser Anordnung erzeugte Kurvenzug wird Lissajous-Figur genannt (benannt nach dem französischen Physiker Jules Antoine Lissajous). Aus der Form der Lissajous-Figur können Sie den Phasenunterschied zwischen zwei Signalen ablesen. Sie können auch deren Frequenzverhältnis ablesen. Abbildung 70 zeigt Lissajous-Figuren für verschiedene Frequenzverhältnisse und Phasenverschiebungen.

Die XY-Messtechnik hat ihren Ursprung bei den Analog-Oszilloskopen. DSOs haben u.U. Probleme, Echtzeit-XY-Darstellungen zu erzeugen. Einige DSOs erzeugen ein XY-Bild, indem sie getriggerte Datenpunkte über einen Zeitraum sammeln und anschließend zwei Kanäle als XY-Darstellung ausgegeben.

DPOs können andererseits echte XY-Modus-Bilder in Echtzeit erfassen und darstellen; dazu wird ein fortlaufender Strom digitalisierter Daten verwendet. DPOs können auch ein XYZ-Bild mit Helligkeitsmodulierten Flächen darstellen. Im Unterschied zu XY-Darstellungen auf DSOs und DPOs sind diese Darstellungen bei Analog-Oszilloskopen gewöhnlich auf einige wenige Megahertz Bandbreite beschränkt.

## Andere Messtechniken

Dieser Abschnitt erläuterte die grundlegende Messtechniken. Andere Messtechniken umfassen das Vorbereiten des Oszilloskops zum Prüfen elektrischer Komponenten in einer Fertigungsstraße, das Erfassen seltener Transienten und vieles mehr. Die von Ihnen verwendeten Messtechniken hängen von Ihrem Anwendungsfall ab; Sie haben hier jedoch ausreichende Grundlagen erhalten, um mit den Messungen beginnen zu können. Üben Sie den Umgang mit Ihrem Oszilloskop und lesen Sie weitere Informationen darüber. Bald wird die Bedienung zum Kinderspiel.

## Schriftliche Übungen

Dieser Abschnitt enthält schriftliche Übungen, die die Informationen in diesem Einführungshandbuch abdecken. Die Übungen sind in zwei Teile gegliedert, Teil I und Teil II.

▶ Teil I behandelt die Informationen aus folgenden Abschnitten:

### Das Oszilloskop

#### Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

▶ Teil II behandelt die Informationen aus folgenden Abschnitten:

### Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops

#### Die Bedienung des Oszilloskops

#### Messtechniken

Die folgenden Übungen beschäftigen sich mit Vokabular und Anwendungsinformationen.

Prüfen Sie, wie gut Sie sich die Informationen in diesen Abschnitten gemerkt haben, indem Sie diesen kurzen Test durchführen. Antworten sind ab Seite 55 zu finden.

### Teil I

- ▶ Das Oszilloskop
- ▶ Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

**Vokabularübungen – Schreiben Sie die Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben die korrekten Begriffe in der linken Spalte.**

Begriff	Definition
1. __ Erfassung	A Die Einheit des elektrischen Potenzialunterschieds.
2. __ Analog	B Ein Leistungskriterium, das die Präzision eines AD-Wandlers gemessen in Bits angibt.
3. __ Bandbreite	C Ein Begriff, der sich auf Gradangaben innerhalb der Periode eines Signals bezieht.
4. __ Digital-Phosphor-Oszilloskop	D Die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde.
5. __ Frequenz	E Die Zeitdauer, in der ein Signalzug einen Zyklus vervollständigt.
6. __ Glitch	F Ein gespeicherter Digitalwert, der die Spannung eines Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt anzeigt.
7. __ Periode	G Eine gängige Signalform mit einer ansteigenden Flanke, einer Breite und einer abfallenden Flanke.
8. __ Phase	H Eine Leistungskriterium, das die Geschwindigkeit der ansteigenden Flanke eines Impulses angibt.
9. __ Impuls	I Oszilloskop-Schaltung, die den Zeitablenkteil steuert.
10. __ Signalpunkt	J Eine intermittierende Spitze in einer Schaltung.
11. __ Anstiegszeit	K Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt.
12. __ Abtastpunkt	L Der Oszilloskop-Vorgang zum Sammeln von Abtastpunkten aus dem AD-Wandler, deren Verarbeitung und Speicherung im Oszilloskop-Speicher.
13. __ Digitalspeicher-Oszilloskop	M Etwas, das mit kontinuierlichen Werten arbeitet.
14. __ Zeitbasis	N Digital-Oszilloskope, die 3 Dimensionen an Signalinformationen in Echtzeit erfassen.
15. __ Transienten	O Digital-Oszilloskope mit serieller Verarbeitung.
16. __ AD-Wandler-Auflösung	P Die Frequenz, bei der ein Sinussignal den -3 dB-Punkt erreicht.
17. __ Volt	Q Die unbearbeiteten Daten aus einem AD-Wandler, aus denen Signalpunkte berechnet und dargestellt werden.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen

### Teil I

#### ► Das Oszilloskop

#### ► Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

### Anwendungsübungen

Kreisen Sie die besten Antworten für die einzelnen Aussagen ein. Einige Aussagen haben mehr als eine gültige Antwort.

#### 1. Mit einem Oszilloskop können Sie:

- Die Frequenz eines Signals berechnen.
- Fehlerhafte elektrische Komponenten finden.
- Signaldetails analysieren.
- Alle obigen Aussagen.

#### 2. Der Unterschied zwischen Analog- und Digital-Oszilloskopen ist:

- Analog-Oszilloskope verfügen nicht über Bildschirmmenüs.
- Analog-Oszilloskope tragen die Mess-Spannung direkt auf das Anzeigesystem auf, während Digital-Oszilloskope erst die Spannung in Digitalwerte umwandeln.
- Analog-Oszilloskope messen „Analogwerte“, Digital-Oszilloskope messen „Ziffern“.
- Analog-Oszilloskope haben kein Erfassungssystem.

#### 3. Das Vertikalsystem eines Oszilloskops dient Folgendem:

- Erfasst Abtastpunkte mit einem AD-Wandler.
- Startet eine horizontale Ablenkung.
- Dient zum Einstellen der Helligkeit der Anzeige.
- Dämpft oder verstärkt das Eingangssignal.

#### 4. Die Zeitbasissteuerung des Oszilloskops dient Folgendem:

- Stellt die vertikale Skala ein.
- Zeigt die aktuelle Tageszeit an.
- Stellt die Zeitdauer ein, die auf der horizontalen Breite des Bildschirms dargestellt wird.
- Sendet einen Taktimpuls an den Tastkopf.

#### 5. Auf einem Oszilloskop-Bildschirm:

- Die Spannung wird auf der vertikalen Achse und die Zeit auf der horizontalen Achse aufgetragen.
- Ein gerader diagonaler Strahl bedeutet, dass sich die Spannung mit konstanter Rate ändert.
- Ein horizontaler Strahl bedeutet, dass die Spannung konstant ist.
- Alle obigen Aussagen.

#### 6. Alle repetierenden Signalzüge haben folgende Eigenschaften:

- Eine in Hertz gemessene Frequenz.
- Eine in Sekunden gemessene Periode.
- Eine in Hertz gemessene Bandbreite.
- Alle obigen Aussagen.

#### 7. Wenn Sie das Computerinnere mit einem Oszilloskop prüfen, finden Sie wahrscheinlich folgende Signalarten:

- Impulsfolgen.
- Rampen.
- Sinussignale.
- Alle obigen Aussagen.

#### 8. Bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit eines Analog-Oszilloskops sollten Sie folgende Punkte berücksichtigen:

- Die Bandbreite.
- Die vertikale Empfindlichkeit.
- Die Auflösung des AD-Wandlers.
- Die Ablenkgeschwindigkeit.

#### 9. Der Unterschied zwischen Digitalspeicher-Oszilloskopen (DSOs) und Digital-Phosphor-Oszilloskopen (DPOs) ist:

- Das DSO hat eine höhere Bandbreite.
- Das DPO erfasst drei Dimensionen an Signalinformationen in Echtzeit.
- Das DSO hat eine Farbdarstellung.
- Das DSO erfasst mehr Signaldetails.



## Teil II

- ▶ Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops
- ▶ Die Bedienung des Oszilloskops
- ▶ Messtechniken

Vokabularübungen – Schreiben Sie die Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben die korrekten Begriffe in der linken Spalte.

Begriff	Definition
1. __Mittelwert-Modus	A Das ungewollte Aufeinanderwirken von Tastkopf, Oszilloskop und Schaltung, wodurch ein Signal verzerrt wird.
2. __Schaltungsbelastung	B Ein Leiter, der elektrischen Strom mit Masse (Erde) verbindet.
3. __Kompensation	C Ein Abtastmodus, bei dem das Digital-Oszilloskop so viele Abtastungen sammelt wie es kann – während sich das Signal ereignet-, und danach bei Bedarf mit Hilfe von Interpolation ein Bild konstruiert.
4. __Kopplung	D Ein Abtastmodus, bei dem das Digital-Oszilloskop ein Bild eines repetierenden Signals konstruiert, indem es von jeder Wiederholung einen Bruchteil an Informationen erfasst.
5. __Erdungsleiter	E Eine Vorrichtung, die spezielle physikalische Größen, wie Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität in ein elektrisches Signal umwandelt.
6. __Äquivalenzzeit	F Ein Testgerät zum Einleiten eines Signals in einen Schaltungseingang.
7. __Raster	G Eine Verarbeitungstechnik, die von Digital-Oszilloskopen zum Herausfiltern von Störgeräuschen in einem Signal verwendet wird.
8. __Interpolation	H Die Methode zum Zusammenschließen zweier Schaltungen.
9. __Echtzeit	I Eine Verarbeitungstechnik, mit der durch „Verbinden der Punkte“ abgeschätzt wird, wie ein schnelles Signal auf Basis einiger weniger Abtastpunkte aussieht.
10. __Signalgenerator	J Die Rasterlinien auf einem Bildschirm zum Messen der Signalabbilder.
11. __Einzelschuss	K Ein Trigger-Modus, der die Ablenkung einmal auslöst; er muss zurückgesetzt werden, um ein weiteres Trigger-Ereignis aufnehmen zu können.
12. __Messwandler	L Eine Tastkopfeinstellung für 10X gedämpfte Tastköpfe, welche die elektrischen Eigenschaften des Tastkopfs mit denen des Oszilloskops abgleicht.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen

## Teil II

- Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops
- Die Bedienung des Oszilloskops
- Messtechniken Teil II
- Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops
- Die Bedienung des Oszilloskops
- Messtechniken

## Anwendungsübungen

Kreisen Sie die besten Antworten für die einzelnen Aussagen ein. Einige Aussagen haben mehr als eine gültige Antwort.

### 1. Um ein Oszilloskop sicher zu bedienen, sollten Sie:

- a. Das Oszilloskop durch das entsprechende Netzkabel erden.
- b. Lernen, eventuell gefährliche elektrische Komponenten zu erkennen
- c. Keine freiliegenden Anschlüsse in einem Prüfling berühren – auch bei ausgeschalteter Stromversorgung.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 2. Das Erden eines Oszilloskops ist aus folgenden Gründen erforderlich:

- a. Aus Sicherheitsgründen.
- b. Um einen Bezugspunkt für die Messungen zu erhalten.
- c. Um den Strahl auf der horizontalen Achse des Bildschirms auszurichten.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 3. Schaltungsbelastung wird verursacht durch:

- a. Ein Eingangssignal mit zu großer Spannung.
- b. Das Einwirken des Tastkopfs und des Oszilloskops auf den Prüfling.
- c. Einen unkompensierten 10X gedämpften Tastkopf.
- d. Zu starke Gewichtsbelastung der Schaltung.

### 4. Die Kompensation eines Tastkopfs ist aus folgenden Gründen erforderlich:

- a. Abgleichen der elektrischen Eigenschaften des 10X gedämpften Tastkopfs mit dem Oszilloskop.
- b. Verhinderung von Schäden am Prüfling.
- c. Verbesserung der Genauigkeit Ihrer Messungen.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 5. Die Strahl-Rotations-Steuerung (Trace Rotation) dient für folgende Aufgaben:

- a. Skalieren von Signalen auf dem Bildschirm.
- b. Erfassen von Sinussignalen.
- c. Ausrichten des Strahls mit der horizontalen Achse des Bildschirms bei einem Analog-Oszilloskop.
- d. Messen der Impulsbreite.

### 6. Das Bedienelement für Volt/Teil dient für folgende Aufgaben:

- a. Vertikales Skalieren eines Signals.
- b. Vertikales Positionieren eines Signals.
- c. Dämpfen oder Verstärken eines Eingangssignals.
- d. Einstellen der Voltzahl, die jeder Teil darstellt.

### 7. Die Einstellung der vertikalen Eingangskopplung auf Masse bewirkt Folgendes:

- a. Trennt das Eingangssignal vom Oszilloskop.
- b. Erzeugt die Anzeige einer horizontalen Linie mit automatischer Triggerung.
- c. Dient zur Darstellung der Null-Volt-Position auf dem Bildschirm.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 8. Der Trigger dient zum:

- a. Stabilisieren sich wiederholender Signale auf dem Bildschirm.
- b. Erfassen von Einzelschuss-Signalen.
- c. Markieren eines bestimmten Punktes einer Erfassung.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 9. Der Unterschied zwischen automatischem und normalem Trigger-Modus ist:

- a. Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur eine Ablenkung und hält dann an.
- b. Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur dann eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den Trigger-Punkt erreicht, ansonsten ist der Bildschirm leer.
- c. Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop laufend eine Ablenkung, auch wenn kein Trigger anliegt.
- d. Alle obigen Aussagen.

### 10. Der Erfassungsmodus, der Störgeräusche in einem repetierenden Signal am besten unterdrückt, ist der:

- a. Abtastmodus.
- b. Spitzenwerterfassungsmodus.
- c. Hüllkurvenmodus.
- d. Mittelungsmodus.

11. Die zwei grundlegendsten Messungen, die mit einem Oszilloskop durchgeführt werden können, sind.

- Zeit- und Frequenzmessungen.
- Zeit- und Spannungsmessungen.
- Spannungs- und Impulsbreitenmessungen.
- Impulsbreiten- und Phasenverschiebungsmessungen.

12. Wenn Volt/Teil auf 0,5 eingestellt ist, ist das größte Signal, das auf dem Bildschirm Platz hat (unter Voraussetzung eines Bildschirms mit 8X10 Teilen), wie folgt:

- 62,5 Millivolt Spitze-zu-Spitze.
- 8 Volt Spitze-zu-Spitze.
- 4 Volt Spitze-zu-Spitze.
- 0,5 Volt Spitze-zu-Spitze.

13. Wenn Sek/Teil auf 0,1 ms eingestellt ist, beträgt die über die gesamte Bildschirmbreite dargestellte Zeit folgenden Wert:

- 0,1 ms.
- 1 ms.
- 1 Sekunde.
- 0,1 kHz.

14. Gemäß Definition wird die Impulsbreite gemessen bei.

- 10 % der Spitze-zu-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ) des Impulses.
- 50 % der Spitze-zu-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ) des Impulses.
- 90 % der Spitze-zu-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ) des Impulses.
- 10 % und 90% der Spitze-zu-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ) des Impulses.

15. Sie schließen den Tastkopf an den Prüfling an, aber der Bildschirm ist leer. Sie sollten folgende Schritte ausführen:

- Sich vergewissern, dass die Bildschirm-Helligkeit im oberen Bereich der Skala liegt.
- Sich vergewissern, dass das Oszilloskop so eingestellt ist, dass es den Kanal zeigt, an den der Tastkopf angeschlossen ist.
- Den Trigger-Modus auf Auto einstellen, da im Normal-Modus der Bildschirm leer bleiben könnte.
- Die vertikale Eingangskopplung auf AC und Volt/Teil auf den größten Wert einstellen, da ein großes DC-Signal über den Bildschirmrand (oben/unten) verschwinden kann.
- Prüfen, ob der Tastkopf nicht kurzgeschlossen ist, und sicherstellen, dass er sachgerecht geerdet ist.
- Prüfen, ob das Oszilloskop zur Triggerung auf dem verwendeten Eingangskanal eingestellt ist.
- Alle obigen Aussagen.

## Antworten

Dieser Abschnitt enthält die Antworten zu allen schriftlichen Übungen in den vorherigen Abschnitten.

### Teil I: Vokabularübungen – Antworten

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

### Teil I: Oszilloskop-Anwendungsübungen – Antworten

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

### Teil II: Vokabularübungen – Antworten

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

### Teil II: Oszilloskop-Anwendungsübungen – Antworten

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A,B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A,C	8. D	12. C	

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

► Grundlagen

## Glossar

**Ablenkgeschwindigkeit** – Entspricht der Definition für Zeitbasis.

**Ablenkung** – Eine horizontale Schwenkung des Oszilloskop-Elektronenstrahls von links nach rechts über die Kathodenstrahl-Bildröhre.

**Abtastpunkt** – Die unbearbeiteten Daten aus einem AD-Wandler, aus denen die Signalpunkte berechnet werden.

**Abtastrate** – Bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein Digital-Oszilloskop eine Abtastung des Signals durchführt; angegeben als Sample pro Sekunde (S/s).

**Abtastung** – Das ist der Vorgang, bei dem ein Teil eines Eingangssignals in eine Anzahl diskrete elektrische Werte umgewandelt wird, damit diese in einem Oszilloskop gespeichert, verarbeitet und/oder dargestellt werden können. Es gibt zwei Arten: Echtzeit-Abtastung und Äquivalentzeit-Abtastung.

**AD-Wandler (Analog-Digital-Wandler)** – Eine Elektronikkomponente, die ein analoges elektrisches Signal in diskrete Binärwerte umwandelt.

**Alternierender (Alternate) Modus** – Ein Darstellmodus, bei dem das Oszilloskop abwechselnd zuerst den ersten und dann den zweiten Kanal aufnimmt.

**Amplitude** – Die Stärke eines Signals (oder Größe der Spannung). In der Elektronik bezieht sich die Amplitude in der Regel auf Spannung oder Leistung.

**Analog-Oszilloskop** – Ein Messgerät, das eine Signaldarstellung durch Auftragen des Eingangssignals (aufbereitet und verstärkt) auf die vertikale Achse eines Elektronenstrahls erzeugt, der sich von links nach rechts horizontal über eine Kathodenstrahl-Bildröhre bewegt. Eine chemische Leuchtphosphor-Schicht auf einer Bildröhre erzeugt beim Auftreffen des Elektronenstrahls eine Leuchtspur.

**Analogsignal** – Ein Signal mit kontinuierlich ändernder Spannung.

**Anstiegszeit** – Die Zeitdauer der ansteigenden Flanke eines Impulses vom niedrigsten zum höchsten Wert; gewöhnlich gemessen zwischen 10 % und 90 %.

**Äquivalentzeit-Abtastung** – Eine Abtasttechnik, bei der das Oszilloskop ein Bild eines repetierenden Signals erstellt, indem in jeder Signalwiederholung ein kleiner Informationsanteil erfasst wird. Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastmethoden: zufällig und sequenziell.

**Bandbreite** – Ein Frequenzbereich, gewöhnlich begrenzt durch -3 dB.

**Belastung (der Schaltung)** – Die unbeabsichtigte Zusammenwirkung des Tastkopfs und Oszilloskops mit dem Prüfling, die das Signal verzerrt.

**Bildschirm** – Die Oberfläche der Kathodenstrahlröhre bzw. des TFT-Displays. Dies ist der Darstellbereich, auf dem auch Signale abgebildet werden.

**Chop-Modus** – Ein Darstellmodus, bei dem kurze Zeitabschnitte auf allen Kanälen sequenziell nachgezeichnet werden, damit auf dem Bildschirm gleichzeitig mehrere Signale dargestellt werden können.

**Cursor** – Eine Bildschirm-Markierung, die Sie auf einem Signal ausrichten können, um genauere Messungen durchzuführen.

**Dämpfung** – Eine gewollte Verringerung der Signalamplitude auf einem Signalweg von A nach B.

**Digitalisieren** – Der Vorgang, mit dem ein AD-Wandler im Horizontalsystem ein Signal zu diskreten Zeitpunkten abtastet und die Spannung des Signals an diesen Punkten, die als Abtastpunkte bezeichnet werden, in digitale Werte umwandelt.

**Digital-Oszilloskop** – Eine Oszilloskop-Art, die einen Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) zur Umwandlung der gemessenen Spannung in digitale Informationen verwendet. Es gibt drei Arten: Digitalspeicher-, Digital-Phosphor- und Digital-Sampling-Oszilloskope.

**Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO)** – Ein Digital-Oszilloskop, das im wesentlichen die Darstelleigenschaften eines Analog-Oszilloskops aufweist und gleichzeitig die Vorteile konventioneller Digital-Oszilloskope bietet (Signalspeicherung, automatisierte Messungen usw.) Das DPO verwendet eine parallele Verarbeitungsarchitektur zur Weiterleitung des Signals an das Darstellsystem, das eine Helligkeitsmodulierte Darstellung der Signalcharakteristiken in Echtzeit bietet. Das DPO stellt Signale in drei Dimensionen dar: Amplitude, Zeit und Verteilung der Amplitude über Zeit.

**Digital-Sampling-Oszilloskop** – Ein Digital-Oszilloskop, das die Äquivalentzeit-Abtasttechnik zum Erfassen und Darstellen der Abtastpunkte eines Signals benutzt; es eignet sich ideal für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzkomponenten wesentlich höher als die Abtastrate des Oszilloskops sind.

**Digitalsignal** – Ein Signal, dessen Spannungsabtastpunkte aus diskreten Binärziffern besteht.

**Digitalspeicher-Oszilloskop (DSO)** – Ein Digital-Oszilloskop, das Signale über digitales Sampling (mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers) erfasst. Es verwendet eine serielle Verarbeitungsarchitektur zur Steuerung der Erfassung, Benutzeroberfläche und Darstellung.

**Echtzeit-Abtastung** – Eine Abtastmethode, bei der das Oszilloskop in einer einzelnen getriggerten Erfassung so viele Abtastpunkte wie möglich erfasst. Sie eignet sich ideal für Signale, deren Frequenzbereich kleiner als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ist.

**Effektive Bits** – Ein Maß für die Fähigkeit eines Digital-Oszilloskops, einen sinusförmigen Kurvenzug genau wiederzugeben. Diese Messung vergleicht den Ist-Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers.

**Einzelablenkung** – Ein Trigger-Modus, bei dem die Anzeige eines Signals nur einmal erfolgt und dann angehalten wird.

**Einzelschuss** – Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt (auch als Transient bezeichnet).

**Erdung** –

1. Eine leitende Verbindung, durch die eine elektrische Schaltung oder Vorrichtung mit Masse verbunden ist, um einen Bezugsspannungspegel einzustellen und aufrecht zu erhalten.
2. Der Spannungsbezugspunkt in einer Schaltung.

**Erdungsleiter** – Ein Leiter, der elektrischen Strom mit Masse verbindet.

**Erfassungsmodus** – Modi, die festlegen, wie Signalpunkte aus den Abtastpunkten erzeugt werden. Es gibt z.B. folgende Arten: Abtastung, Spitzenwerterfassung, Hi-Res, Hüllkurve und Mittelung.

**Flanke** – In einer Grafik oder auf einem Oszilloskop-Bildschirm ist dies das Verhältnis eines vertikalen zu einem horizontalen Differenz. Eine positive Flanke steigt von links nach rechts an, während eine negative Flanke von links nach rechts abfällt.

**Fokus** – Das Oszilloskop-Bedienelement, das die Schärfe der Darstellung über den Elektronenstrahl der Kathodenstrahl-Bildröhre einstellt.

**Frequenz** – Die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde, gemessen in Hertz (Zyklen pro Sekunde). Die Frequenz ist  $1/\text{Periode}$ .

**Frequenzgang** – Ein Bode-Diagramm des Übertragungsverhaltens eines Verstärkers bzw. Abschwächers für Sinuswellen mit konstanten Amplituden bei unterschiedlichen Frequenzen über einen Frequenzbereich.

**Gigahertz (GHz)** – 1.000.000.000 Hertz; Einheit der Frequenz.

**Gleichstrom (DC)** – Ein Signal mit einer konstanten Spannung und/oder Stromstärke. Dient auch zur Angabe der Signal-Kopplungsart.

**Glitch** – Ein intermittierender Fehler mit hoher Geschwindigkeit in einer Schaltung.

**Helligkeitsmodulation** – Liefert Informationen über die Häufigkeitsverteilung von Signalteilen, die zum Verständnis des tatsächlichen Signalverhaltens entscheidend sind.

**Hertz (Hz)** – Ein Zyklus pro Sekunde; Einheit der Frequenz.

**Horizontale Ablenkung** – Die Aktion des Horizontalsystems, die das Signal auf dem Bildschirm zeichnet.

**Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)** – Gibt an, wie genau das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann; in der Regel wird dies als prozentueller Fehler ausgedrückt.

**Hüllkurve** – Der Umriss der höchsten und tiefsten Punkte eines Signals, der über zahlreiche dargestellte Signalwiederholungen erfasst wurde.

**Impuls** – Eine übliche Signalform mit einer schnell ansteigenden Flanke, einer Breite und einer schnell abfallenden Flanke.

**Impulsbreite** – Das ist die Zeit, in der ein Impuls von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel und wieder zurück wechselt (gemessen bei 50 % der vollen Spannung).

**Impulsfolge** – Eine Folge von Impulsen, die gemeinsam auftreten.

**Interpolation** – Eine Verarbeitungstechnik („Verbinden der Punkte“) zur Annäherung an die wirkliche Signalform schneller Signale auf Basis von wenigen Abtastpunkten.

**Kathodenstrahlröhre** – Eine Elektronenstrahlröhre, in der der Strahl auf einem Leuchtphosphor-Bildschirm fokussiert und in seiner Position und Helligkeit verändert werden kann, um ein sichtbares Bild zu erzeugen. Die Bildröhre eines Fernsehgerätes ist eine Kathodenstrahlröhre.

**Kilohertz (kHz)** – 1000 Hertz; Einheit der Frequenz.

**Kompensation** – Eine Tastkopf-Einstellung für passive gedämpfte Tastköpfe, die die Kapazität des Tastkopfs mit der Kapazität des Oszilloskops abgleicht.

**Kopplung** – Die Methode zum Zusammenschließen zweier Schaltungen. Durch einen Draht verbundene Schaltungen sind direkt gekoppelt (DC); über einen Kondensator oder Trafo verbundene Schaltungen sind indirekt gekoppelt (AC).

**Logikanalysator** – Ein Messgerät, mit dem Logikzustände vieler Digitalsignale über eine Zeitdauer sichtbar gemacht werden können. Es analysiert Digitaldaten und kann die Daten als Echtzeit-Software-Ausführung, Datenstromwerte, State-Folgen usw. darstellen.

**Megahertz (MHz)** – 1.000.000 Hertz; Einheit der Frequenz.

# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

## ► Grundlagen

**Megasample pro Sekunde (MS/s)** – Eine Einheit der Abtastrate, die einer Million Abtastungen pro Sekunde entspricht.

**Messwandler** – Ein Gerät, das eine spezielle physikalische Größe, wie Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität in ein elektrisches Signal umwandelt.

**Mikrosekunden ( $\mu\text{s}$ )** – Zeiteinheit, die 0,000001 Sekunden entspricht.

**Millisekunden (ms)** – Zeiteinheit, die 0,001 Sekunden entspricht.

**Mittelung** – Eine Verarbeitungstechnik, die von Digital-Oszilloskopen zum Verringern von Störrauschen in einem dargestellten Signal verwendet wird.

**Nanosekunden (ns)** – Zeiteinheit, die 0,000000001 Sekunden entspricht.

**Oszilloskop** – Ein Messgerät, mit dem Spannung gegen die Zeit aufgetragen werden kann. Der Begriff Oszilloskop stammt von „oszillieren“ (schwingen), da Oszilloskope meistens zum Messen schwingender Spannungen eingesetzt werden.

**Periode** – Die Zeitdauer, in der ein Kurvenzug einen Zyklus vervollständigt. Die Periode ist  $1/\text{Frequenz}$ .

**Phase** – Die Zeitdauer vom Anfang eines Zyklus zum Anfang des nächsten Zyklus, gemessen in Grad.

**Phasenverschiebung** – Das ist die Timing-Differenz zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen, gemessen in Grad.

**Pretrigger-Darstellung** – Die Fähigkeit eines Digital-Oszilloskops, das Signal vor einem Trigger-Ereignis zu erfassen. Der Pretrigger bestimmt die Länge des darstellbaren Signals vor und nach einem Trigger-Punkt.

**Rampen** – Die Übergänge zwischen Spannungspegeln von Sinussignalen, die sich mit einer konstanten Rate ändern.

**Raster** – Die Gitterlinien auf einem Bildschirm zur Messung von Oszilloskopaufzeichnungen.

**Raster** – Die Rasterlinien auf einem Bildschirm zum Ausmessen der erfassten Signale.

**Rechtecksignal** – Eine übliche Signalform, die sich aus periodisch auftretenden Impulsen zusammensetzt.

**Schaltungsbelastung** – Die unbeabsichtigte Zusammenwirkung des Tastkopfs und Oszilloskops mit dem Prüfling, die das Signal verzerrt.

**Schreibgeschwindigkeit** – Die Fähigkeit eines Analog-Oszilloskops, eine sichtbare Spur der Signalbewegung von einem Punkt zum nächsten aufzuzeichnen. Diese Fähigkeit ist bei Signalen mit geringer Wiederholung

und schnell bewegten Details eingeschränkt, wie z.B. bei digitalen Logiksignalen.

**Signal (Welle)** – Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich mit der Zeit wiederholt. Übliche Signalarten sind: Sinus, Rechteck, Sägezahn, Dreieck, Treppe, Impuls, Periodisch, Nicht periodisch, Synchron, Asynchron.

**Signalerfassungsrate** – Gibt die Geschwindigkeit an, mit der ein Oszilloskop komplette Signale erfassen kann, angegeben in Kurvenzügen pro Sekunde.

**Signalintegrität** – Die genaue Rekonstruktion eines Signals, festgelegt durch die Systeme und Leistungskriterien eines Oszilloskops, sowie durch den zur Erfassung des Signals verwendeten Tastkopf.

**Signalpunkt** – Ein Digitalwert, der die Spannung eines Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt. Signalpunkte werden aus den Abtastpunkten berechnet und im Speicher gespeichert.

**Signalquelle** – Ein Prüfgerät, mit dem ein Signal in einen Schaltungseingang eingeleitet wird; der Ausgang der Schaltung wird dann von einem Oszilloskop aufgezeichnet und ausgewertet. Ist auch unter der Bezeichnung Signalgenerator bekannt.

**Signalzug (oder Kurvenzug)** – Eine grafische Darstellung einer Spannung, die sich mit der Zeit ändert.

**Sinussignal** – Eine übliche harmonische Schwingung, die mathematisch definiert ist.

**Spannung** – Der Unterschied des elektrischen Potentials – angegeben in Volt – zwischen zwei Punkten.

**Speichertiefe** – Die Anzahl der Signalpunkte, die zum Erstellen einer Signalaufzeichnung benutzt werden.

**Spitze ( $V_p$ )** – Der maximale Spannungspegel, gemessen von einem Null-Bezugspunkt.

**Spitzenwerterfassung** – Ein Erfassungsmodus, der bei Digital-Oszilloskopen verfügbar ist und die Darstellung von Signaldetails ermöglicht, die ansonsten übersehen werden; Spitzenwerterfassung ist besonders zur Darstellung schmaler Impulse in großem zeitlichen Abstand von Nutzen.

**Spitze-zu-Spitze ( $V_{p-p}$ )** – Die Spannung zwischen Maximum und Minimum eines Kurvenzuges.

**Störrauschen** – Eine unerwünschte Spannung oder Stromstärke in einer elektrischen Schaltung.

**Strahlspur** – Die sichtbare Spur, die durch die Bewegung des Elektronenstrahls auf der Kathodenstrahl-Bildröhre gezeichnet wird.

**Tastkopf** – Ein Oszilloskop-Zubehör zum Anschluss eines Signals an den Oszilloskopeingang, gewöhnlich mit einer Metallspitze, mit dem ein elektrischer Kontakt zwischen einem Schaltungs-Bauelement hergestellt wird, einem Kabel zur Verbindung mit der Bezugserdung der Schaltung und einem Kabel zur Übertragung des Signals und der Erdung an das Oszilloskop.

**Teil** – Messmarkierungen auf dem Raster der Kathodenstrahl-Bildröhre des Oszilloskops.

**Trigger** – Die Schaltung, die eine horizontale Ablenkung auslöst und den Anfangspunkt für das Signalabbild bestimmt.

**Trigger-Flanke** – Die Flanke, die das Trigger-Quellensignal haben muss, bevor die Trigger-Schaltung eine Ablenkung auslöst.

**Trigger-Holdoff** – Ein Bedienelement, mit dem die Zeitperiode nach einem gültigen Trigger eingestellt werden kann, während der das Oszilloskop nicht triggern kann.

**Trigger-Modus** – Ein Modus, der bestimmt, ob das Oszilloskop ein Signal aufnimmt oder nicht, wenn es keinen Trigger erkennt. Übliche Trigger-Modi sind Normal und Auto.

**Trigger-Pegel** – Der Spannungspegel, den das Trigger-Quellensignal erreichen muss, bevor die Trigger-Schaltung eine Ablenkung auslöst.

**Verstärkung** – Eine gewollte Erhöhung der Signalamplitude auf einem Signalweg von A nach B.

**Verstärkungsgenauigkeit** – Gibt an, wie genau das Vertikalsystem ein Signal dämpft oder verstärkt; in der Regel wird dies als prozentueller Fehler ausgedrückt.

**Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)** – Zeigt an, wie genau ein Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) in einem Digital-Oszilloskop Eingangsspannungen in Digitalwerte (gemessen in Bits) umwandeln kann. Berechnungsmethoden, wie der Hi-Res-Erfassungsmodus, können die effektive Auflösung verbessern.

**Vertikale Empfindlichkeit** – Gibt an, wie stark der Vertikalverstärker ein schwaches Signal verstärken kann – gewöhnlich gemessen in Millivolt (mV) pro Teil.

**Verzögerte Zeitbasis** – Eine Zeitbasis mit einer Ablenkung, die relativ zu einer vorbestimmten Zeit während der Hauptzeitbasis-Ablenkung gestartet (oder deren Start getriggert) werden kann. Damit können Ereignisse deutlicher dargestellt werden; außerdem können Ereignisse sichtbar gemacht werden, die mit der Hauptzeitbasis-Ablenkung allein nicht dargestellt werden können.

**Volt** – Die Einheit des elektrischen Potenzialunterschieds.

**Wechselstrom (AC, ~)** – Ein Signal, in dem sich Stromstärke und Spannung in zeitlich periodischen Abständen ändern. Dient auch zur Angabe der Signal-Kopplungsart.

**Z-Achse** – Das Darstellattribut eines Oszilloskops, das die Helligkeitsvariationen beim Aufbau der Kurvenzüge zeigt.

**Zeitbasis** – Eine Oszilloskop-Schaltung, die das Timing der Ablenkung steuert. Die Zeitbasis wird durch das Sekunden/Teil-Bedienelement eingestellt.



# Das XYZ der Analog- und Digitaloszilloskope

▶ Grundlagen

**Notizen:**



## Andere von Tektronix erhältliche Einführungshandbücher:

An Overview of Signal Source Technology and Applications (Ein Überblick über die Signalquellen-Technik und –Anwendungen)

ABCs of Probes (ABC der Tastköpfe)

Introduction to Logic Analysis: A Hardware Debug Tutorial (Einführung zu Logikanalysatoren: Übungshandbuch zum Austesten von Hardware)

XYZs of Logic Analyzers (ABC der Logikanalysatoren)

UMTS Protocols and Protocol Testing (UMTS-Protokolle und -Protokoll-Prüfungen)

GPRS Protocol Testing in the Wireless World (GPRS-Protokollprüfungen in der drahtlosen Praxis)

Troubleshooting cdmaOne™ BTS Transmitters in the Field (Fehlersuche bei cdmaOne™ BTS-Sendern im Außendienst)

Interference Testing (Störungsprüfung)

SDH Telecommunications Standards (SDH-Telekommunikationsstandards)

SONET Telecommunications Standards (SONET-Telekommunikationsstandards)

DWDM Performance and Conformance Testing (DWDM-Leistungs- und –Konformitätsprüfungen)

A Guide to Picture Quality Measurements (Anleitung zur Messung der Bildqualität)

A Guide to MPEG Fundamentals (Anleitung zu den MPEG-Grundlagen)

A Guide to Standard and High-definition Digital Video Measurements (Anleitung zu Standard- und High-Definition-Digitalvideo-Messungen)

Customer Service Traceability (Kundendienst-Rückführbarkeit)

## Telefonkontakt zu Tektronix:

**ASEAN-Staaten/Australien/Pakistan** (65) 6356-3900

**Belgien** +32 (2) 715 89 70

**Brasilien und Südamerika** 55 (11) 3741-8360

**Dänemark** +45 44 850 700

**Deutschland** +49 (221) 94 77 400

**Finnland** +358 (9) 4783 400

**Frankreich und Nordafrika** +33 (0) 1 69 86 80 34

**Großbritannien und Irland** +44 (0) 1344 392400

**Hongkong** (852) 2585-6688

**Indien** (91) 80-22275577

**Italien** +39 (02) 25086 1

**Japan** 81 (3) 6714-3010

**Kanada** 1 (800) 661-5625

**Mexiko, Mittelamerika und Karibik** 52 (55) 56666-333

**Mittelosteuropa und Griechenland** +43 2236 8092 301

**Niederlande** +31 (0) 23 569 5555

**Norwegen** +47 22 07 07 00

**Österreich** +43 2236 8092 262

**Polen** +48 (0) 22 521 53 40

**Republik Korea** 82 (2) 528-5299

**Russland, GUS, Baltikum** +358 (9) 4783 400

**Schweden** +46 8 477 6503/4

**Spanien** +34 (91) 372 6055

**Südafrika** +27 11 254 8360

**Taiwan** 886 (2) 2722-9622

**USA** 1 (800) 426-2200

**USA (Auslandsvertrieb)** 1 (503) 627-1916

**Volksrepublik China** 86 (10) 6235 1230

Für andere Regionen wenden Sie sich an  
Tektronix, Inc. unter: 1 (503) 627 7111

Updated March 01, 2004

► [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)

Oszilloskope

Logikanalysatoren

Signalquellen

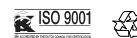
Kommunikationsprüfgeräte

TV-Prüfgeräte

Tastköpfe

Zubehör

Andere Prüf- und Messgeräte



Copyright © 2001 Tektronix, Inc. Alle Rechte vorbehalten. Tektronix-Produkte sind durch in den USA und anderen Ländern ausgestellte und angemeldete Patente geschützt. Die Informationen in dieser Publikation ersetzen die Informationen in zuvor veröffentlichten Materialien. Änderungen an technischen Daten und Preisen vorbehalten. TEKTRONIX und TEK sind eingetragene Warenzeichen von Tektronix, Inc. Alle anderen Servicezeichen, Warenzeichen oder eingetragenen Warenzeichen sind im Besitz der jeweiligen Firmen.

05/01 HB/WWW 03G-8605-2

**Tektronix**