

# **Praktikum Messtechnik**

**Aufgabe: Virtueller Versuch V1**

**Praktikum Elektrische Messtechnik**  
Wintersemester 23/24

3. Oktober 2023

**betreut von:**

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dunz M.Sc.  
Dipl.-Ing. Rolf A. Rasenack

**erstellt von:**

Yaman Alsaady,  
Oliver Schmidt, 7023462

## **Versuch V1** **Oszilloskopmesstechnik**

### - Übersicht -

#### **Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**

- |        |  |
|--------|--|
| V1-A1  | Übertragungseigenschaften des Oszilloskops |
| V1-A2  | Messung von Wechselsignalen                |
| V1-A3  | Messung von Mischsignalen                  |
| V1-A4  | Oszilloskop mit passivem Tastkopf          |
| V1-A5  | Passiver Einweggleichrichter               |
| V1-A6  | Messung von verschiedenfrequenten Signalen |
| V1-A7A | Filterglied 1. Ordnung                     |
| V1-A7B | Filterglied 1. Ordnung                     |

#### **Versuch V1 – Reale Versuche (V1-RV)**

- |       |  |
|-------|--|
| V1-B1 | Übertragungseigenschaften des Oszilloskops |
| V1-B2 | Messung von Wechselsignalen                |
| V1-B3 | Messung von Mischsignalen                  |
| V1-B4 | Oszilloskop mit passivem Tastkopf          |
| V1-B5 | Passiver Einweggleichrichter               |
| V1-B6 | Messung von verschiedenfrequenten Signalen |
| V1-B7 | Filterglied 1. Ordnung                     |

#### **Versuch V1 – Sekundäre Unterlagen (V1-SEK)**

- PEM-V1-SEK-FHO-Uebungen-Oszilloskop  
PEM-V1-SEK-FHWF-Analog-Oszilloskop  
PEM-V1-SEK-Tektronix-ABC-Oszilloskope

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

**V1-A1 Übertragungseigenschaften des Oszilloskops**

Das digitale Speicheroszilloskop (DSO) Tektronix TDS 1002B hat zwei Eingangskanäle. Sowohl am Kanal 1 als auch am Kanal 2 ist jeweils eine DC-Eingangskopplung und eine AC-Eingangskopplung vorhanden. Für das DSO sind die technischen Daten gemäß Abbildung A1-1 angegeben.

<b>Tektronix TDS 1002B</b>	
analoge Bandbreite	60 MHz
Anstiegszeit	5,8 ns
untere Grenzfrequenz bei AC-Eingangskopplung	< 10 Hz

Abbildung A1-1: Technische Daten DSO Tektronix TDS 1002B.

***Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:***

- a) Bestimmen Sie unter Verwendung der angegebenen technischen Daten des DSO die Übertragungseigenschaften im Zeitbereich t. Geben Sie sowohl für die DC-Eingangskopplung als auch für die AC-Eingangskopplung der Kanäle die Kenngrößen des DSO im Zeitbereich t an.
- b) Skizzieren Sie die zu erwartende Sprungantwort des DSO sowohl bei der DC-Eingangskopplung als auch bei der AC-Eingangskopplung der Kanäle.
- c) Beschreiben Sie Ihr Vorgehen, wenn Sie durch eine Messung am DSO die Sprungantwort messtechnisch ermitteln wollen. Geben Sie an, welche versuchstechnischen Einrichtungen Sie hierfür benötigen.
- d) Bestimmen Sie unter Verwendung der angegebenen technischen Daten des DSO die Übertragungseigenschaften im Frequenzbereich f. Geben Sie sowohl für die DC-Eingangskopplung als auch für die AC-Eingangskopplung der Kanäle die Kenngrößen des DSO im Frequenzbereich f an.
- e) Skizzieren Sie den Amplitudengang des DSO sowohl bei der DC-Eingangskopplung als auch bei der AC-Eingangskopplung der Kanäle.
- f) Beschreiben Sie Ihr Vorgehen, wenn Sie durch eine Messung am DSO den Amplitudengang messtechnisch ermitteln wollen. Geben Sie an, welche versuchstechnischen Einrichtungen Sie hierfür benötigen.

***Bearbeitungshinweise stichwortartig:***

- DC-Eingangskopplung; AC-Eingangskopplung
- Übertragungsverhalten System 1. Ordnung
- Zeitbereich
- Sprungantwort; Zeitkonstante
- Kenngrößen im Zeitbereich
- Anstiegszeit, Abfallzeit
- Frequenzbereich
- Frequenzgang; Amplitudengang; Phasengang
- Kenngrößen im Frequenzbereich
- Grenzfrequenz; untere Grenzfrequenz; obere Grenzfrequenz; Bandbreite

$$C_T \cdot R_T = R_{O_2} (C_{O_2} + C_K)$$

$$C_T = \frac{R_{O_2} (C_{O_2} + C_K)}{R_T}$$

$$= \frac{1M\Omega (20\text{ pF} + 100\text{ pF})}{9M\Omega}$$

=

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

**V1-A2 Messung von Wechselsignalen**

Ein Funktionsgenerator liefert die Quellenspannung  $u(t)$ . Der zeitliche Signalverlauf  $u(t)$  wird unter Verwendung eines zweikanaligen Oszilloskops visualisiert. Bei allen Messungen liegt die Spannung  $u(t)$  sowohl am Kanal 1 (DC-Eingangskopplung) als auch gleichzeitig parallel am Kanal 2 (AC-Eingangskopplung) des Oszilloskops an. Dabei werden die zeitlichen Verläufe gemäß der Oszillogramme in Abbildung A2-1 bis Abbildung A2-6 gemessen.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

- a) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-1 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Frequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen identisch visualisiert wird.
- b) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-2 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Frequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen unterschiedlich visualisiert wird, und beschreiben Sie die Unterschiede.
- c) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-3 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Grundfrequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen identisch visualisiert wird.
- d) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-4 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Grundfrequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen unterschiedlich visualisiert wird, und beschreiben Sie die Unterschiede.
- e) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-5 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Grundfrequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen identisch visualisiert wird.
- f) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A2-6 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel  
Grundfrequenz  $f$   
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)  
Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen unterschiedlich visualisiert wird, und beschreiben Sie die Unterschiede.

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

**V1-A3 Messung von Mischsignalen**

Ein Funktionsgenerator liefert die Quellenspannung  $u(t)$ . Der zeitliche Signalverlauf  $u(t)$  wird unter Verwendung eines zweikanaligen Oszilloskops visualisiert. Bei allen Messungen liegt die Spannung  $u(t)$  sowohl am Kanal 1 (DC-Eingangskopplung) als auch gleichzeitig parallel am Kanal 2 (AC-Eingangskopplung) des Oszilloskops an. Dabei werden die zeitlichen Verläufe gemäß der Oszillogramme in Abbildung A3-1 bis Abbildung A3-2 gemessen.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

- a) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A3-1 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel
  - Frequenz  $f$
  - arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)
  - Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen unterschiedlich visualisiert wird, und beschreiben Sie die Unterschiede.
- b) Bestimmen Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A3-1 weiterhin folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Maximalwert  $U_{\max}$
  - Minimalwert  $U_{\min}$
  - Spitze-Spitze-Wert  $U_{ss}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{pp}$ )
- c) Ermitteln Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A3-2 den zeitlichen Signalverlauf der Quellenspannung  $u(t)$  und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Signalform und Signalpegel
  - Frequenz  $f$
  - arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)
  - Erklären Sie, weshalb der Signalverlauf am Kanal 1 gemessen und am Kanal 2 gemessen unterschiedlich visualisiert wird, und beschreiben Sie die Unterschiede.
- d) Bestimmen Sie aus dem Oszilloskopogramm gemäß Abbildung A3-2 weiterhin folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :
- Maximalwert  $U_{\max}$
  - Minimalwert  $U_{\min}$
  - Spitze-Spitze-Wert  $U_{ss}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{pp}$ )
- e) Das bei den Messungen verwendete Oszilloskop verfügt über ein Mathematik-Menü. Beschreiben Sie die Vorgehensweise, wie unter Verwendung dieses Mathematik-Menus der arithmetische Mittelwert  $U$  (Gleichanteil) der Quellenspannung  $u(t)$  mit dem Oszilloskop direkt gemessen werden kann. Diskutieren Sie die zu erwartenden Probleme bei der direkten Messung des Gleichanteils von einem Mischsignal mit einem niederfrequenten Wechselanteil.

**Bearbeitungshinweise stichwortartig:**

- DC-Eingangskopplung; AC-Eingangskopplung
- mathematische Verknüpfung; Mathematik-Menü
- Übertragungsverhalten System 1. Ordnung
- Zeitbereich
- Sprungantwort; Zeitkonstante
- Frequenzbereich
- Frequenzgang; Amplitudengang; Phasengang
- Grenzfrequenz; untere Grenzfrequenz; obere Grenzfrequenz; Bandbreite
- Signalform; Signalpegel
- Mischsignal; pulsierendes Gleichsignal; Gleichanteil; Wechselanteil; Grundfrequenz
- Wechselsignal; sinusförmiges Signal; Frequenz;
- Kenngrößen periodischer Signale

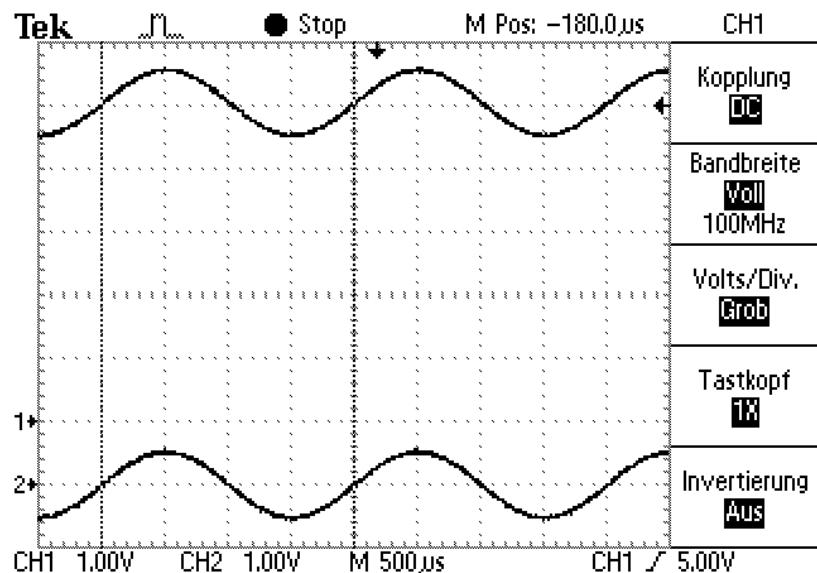


Abbildung A3-1: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

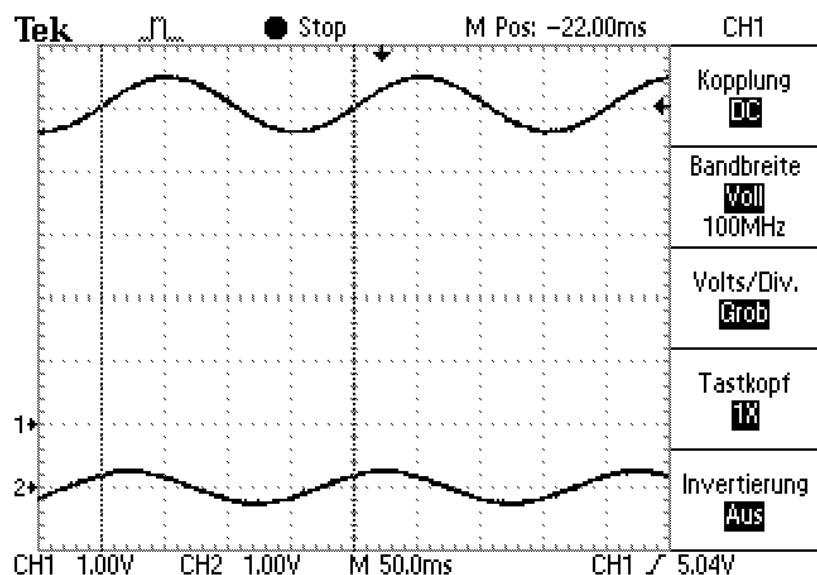


Abbildung A3-2: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

***Bearbeitungshinweise stichwortartig:***

- DC-Eingangskopplung; AC-Eingangskopplung
- Übertragungsverhalten System 1. Ordnung
- Zeitbereich
- Sprungantwort; Zeitkonstante
- Frequenzbereich
- Frequenzgang; Amplitudengang; Phasengang
- Grenzfrequenz; untere Grenzfrequenz; obere Grenzfrequenz; Bandbreite
- Signalform; Signalpegel
- Wechselsignal; sinusförmiges Signal; Frequenz; rechteckförmiges Signal; dreieckförmiges Signal; Grundfrequenz
- Kenngrößen periodischer Signale

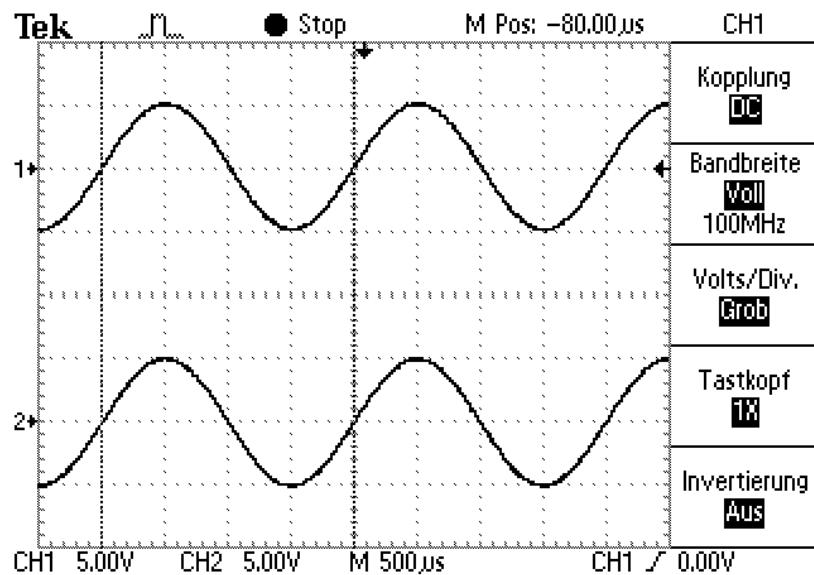


Abbildung A2-1: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

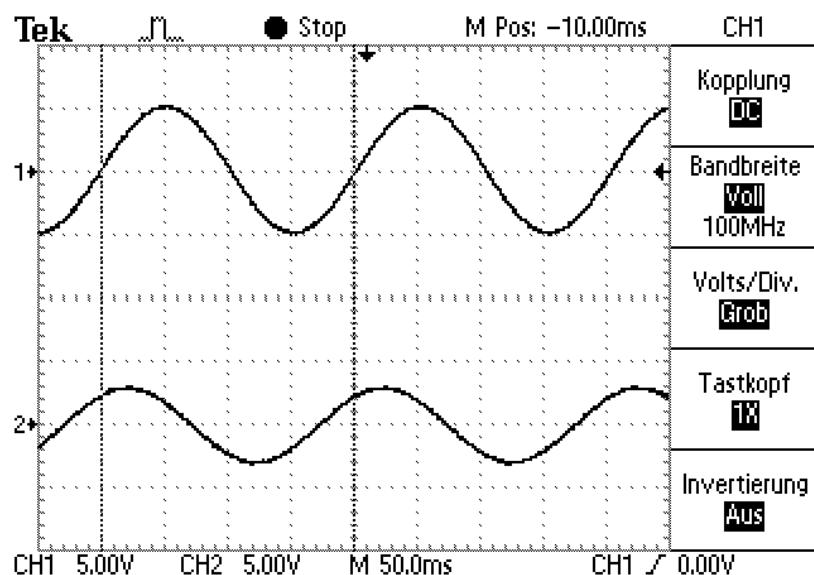


Abbildung A2-2: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

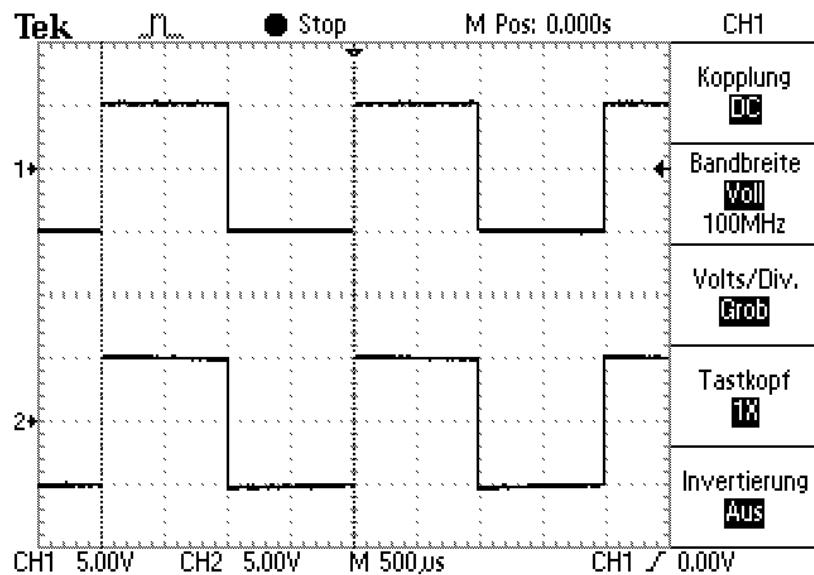


Abbildung A2-3: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

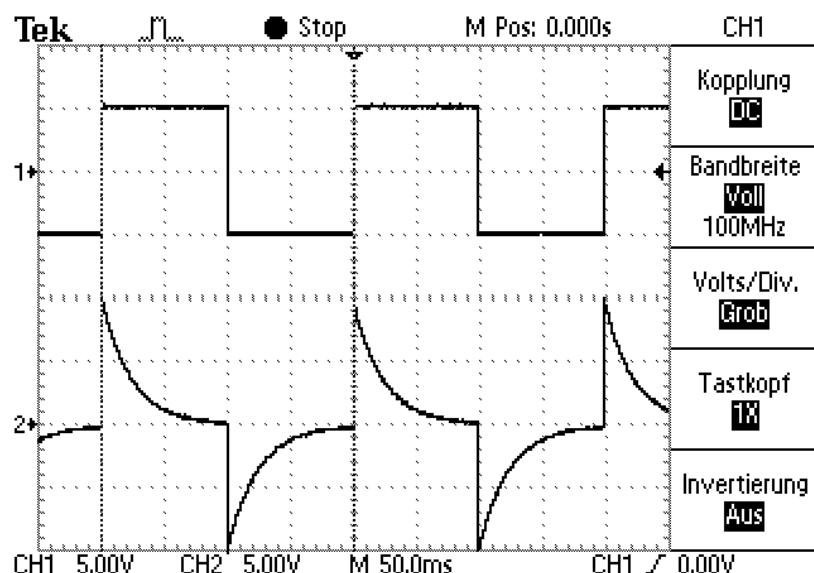


Abbildung A2-4: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

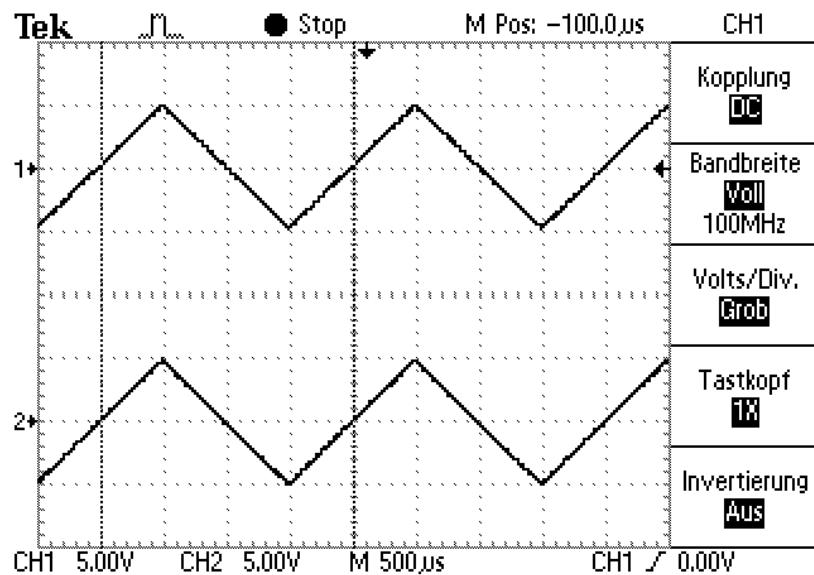


Abbildung A2-5: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

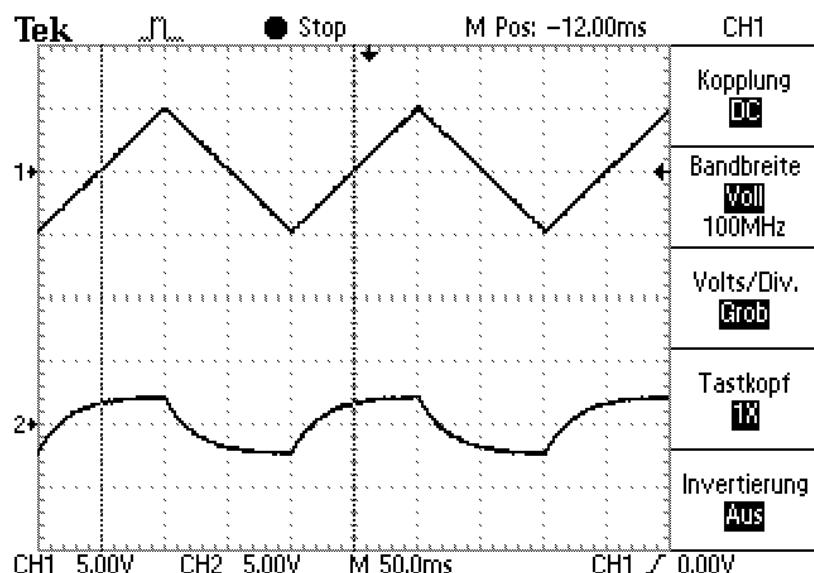


Abbildung A2-6: Quellenspannung  $u(t)$  (Kanal 1 und Kanal 2).

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

**V1-A4 Oszilloskop mit passivem Tastkopf**

Am Eingang eines Oszilloskops wird ein passiver Tastkopf 10:1 angeschlossen. Die Eingangskopplung des Oszilloskops steht auf DC-Eingangskopplung. Die Tastkopfspitze ist an der Abgleichbuchse des Oszilloskops angeschlossen. Es können zwei verschiedene Oszillogramme gemäß Abbildung A4-1 und Abbildung A4-2 für den Messsignalverlauf  $u_{MO}(t)$  am Oszilloskopeingang dargestellt werden, bevor der Tastkopf abgeglichen wurde.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

- a) Was wird in der Abbildung A4-1 und in der Abbildung A4-2 dargestellt? Diskutieren Sie, wie es zu diesen Oszillosrogrammen kommt.
- b) Wie sieht das Oszillosrogramm bei einem richtig abgeglichenen Tastkopfes aus? Zeichnen Sie hierfür den Messsignalverlauf  $u_{M0}(t)$  am Oszilloskopeingang in das vorbereitete Oszillosrogramm der Abbildung A4-b ein.
- c) Ermitteln Sie den Verlauf der Quellenspannung  $u(t)$  an der Abgleichbuchse und geben Sie die Funktion für  $u(t)$  an. Bestimmen Sie hierfür folgende Kenngrößen der Quellenspannung  $u(t)$ :  
Signalform und Signalpegel;  
Grundfrequenz  $f$ ;  
arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil).
- d) Die Eingangskopplung des Oszilloskops steht auf DC-Eingangskopplung. Zeichnen Sie unter Verwendung konzentrierter Bauelemente das elektrische Ersatzschaltbild für den Oszilloskopeingang in Verbindung mit dem angeschlossenen Tastkopf.
- e) Erklären Sie anhand dieses Ersatzschaltbildes das Übertragungsverhalten im Frequenzbereich  $f$  und im Zeitbereich  $t$ .

**Bearbeitungshinweise stichwortartig:**

- passiver Tastkopf
- Abgleich; Unterkompenstation; Überkompenstation
- Sprungantwort
- kapazitives Übersetzungsverhältnis; ohm'sches Übersetzungsverhältnis
- Zeitbereich
- Frequenzbereich
- Signalform; Signalpegel
- Mischsignal; pulsierendes Gleichsignal; Gleichanteil; Wechselanteil; Grundfrequenz
- Wechselsignal; rechteckförmiges Signal; Grundfrequenz;
- Kenngrößen periodischer Signale
- kapazitiver Spannungsteiler; ohm'scher Spannungsteiler
- Leitungskapazität
- Eingangsimpedanz Oszilloskop

**Lösung zu b):**

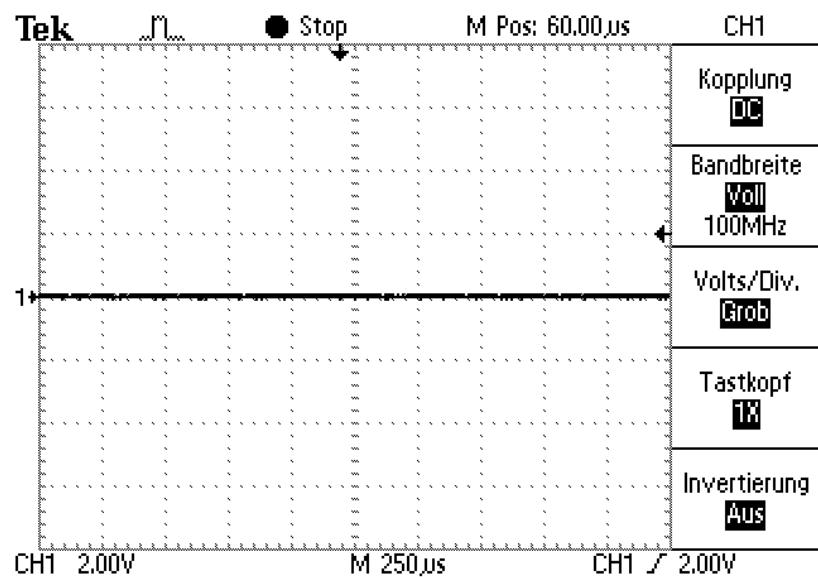


Abbildung A4-b: Oszilloskop mit angeschlossenem Tastkopf; Messsignalverlauf  $u_{MO}(t)$ .

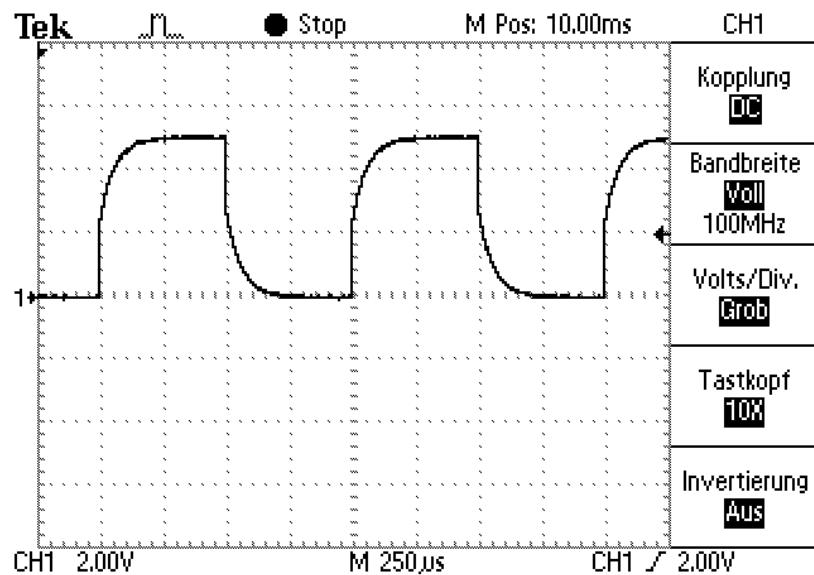


Abbildung A4-1: Oszilloskop mit angeschlossenem Tastkopf; Messsignalverlauf  $u_{MO}(t)$ .

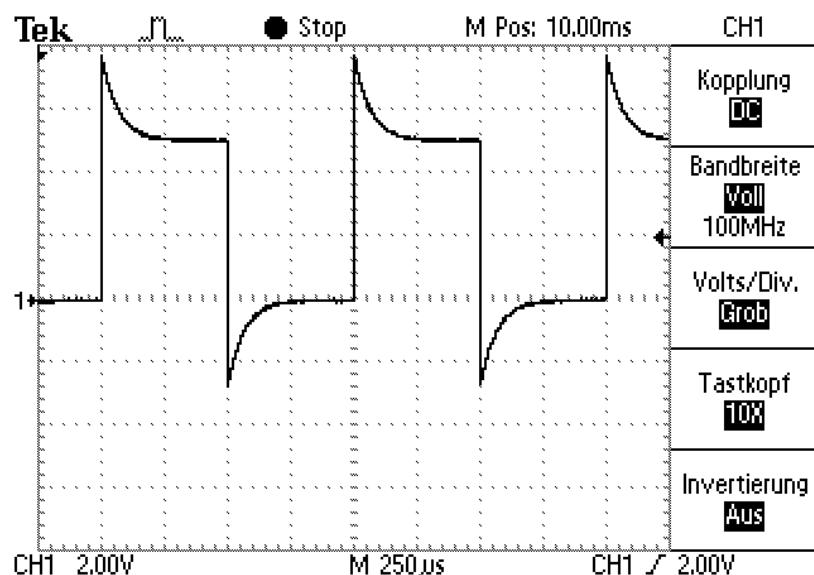


Abbildung A4-2: Oszilloskop mit angeschlossenem Tastkopf; Messsignalverlauf  $u_{MO}(t)$ .

## Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV) Oszilloskopmesstechnik

### V1-A5 Passiver Einweggleichrichter

Ein passiver Einweggleichrichter gemäß Abbildung A5-1 wird mit einer sinusförmigen Eingangsspannung  $u_E(t)$  eingespeist. Die Kapazität  $C$  ist fest vorgegeben und der Widerstand  $R_{var}$  kann variabel eingestellt werden. Am Ausgang des passiven Gleichrichters entsteht die Ausgangsspannung  $u_A(t)$  und über dem Gleichrichterelement (Diode D) die Spannung  $u_D(t)$ . Bei der Messung der Signalverläufe mit einem Oszilloskop liegt die Eingangsspannung  $u_E(t)$  jeweils am Kanal 1 (DC-Eingangskopplung) und die Ausgangsspannung  $u_A(t)$  jeweils am Kanal 2 (DC-Eingangskopplung) an.

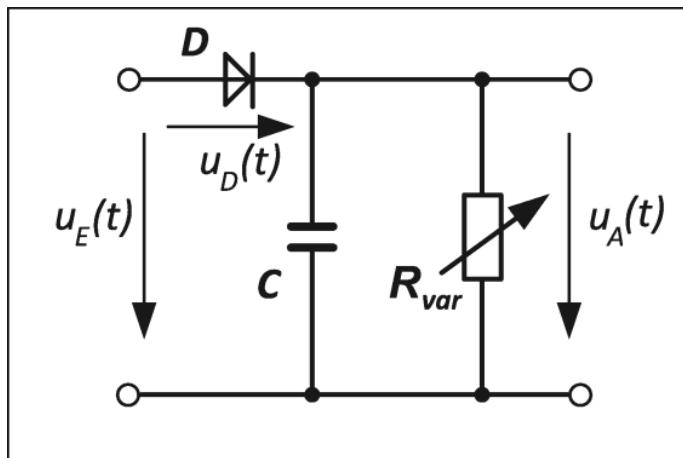


Abbildung A5-1: Elektrisches Ersatzschaltbild eines passiven Einweggleichrichters.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

- a) Diskutieren Sie die beiden Oszillogramme gemäß Abbildung A5-2 und gemäß Abbildung A5-3 und erklären Sie, wodurch die unterschiedlichen Signalverläufe zustande kommen.
- b) Bestimmen Sie aus dem Oszillogramm gemäß Abbildung A5-2 folgende Kenngrößen der Eingangsspannung  $u_E(t)$ :  
Signalform und Signalpegel  
Frequenz  $f_E$   
arithmetischer Mittelwert  $U_E$  (Gleichanteil)  
Maximalwert  $U_{E\max}$   
Minimalwert  $U_{E\min}$   
Spitze-Spitze-Wert  $U_{E\text{ss}}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{E\text{pp}}$ )
- c) Bestimmen Sie aus dem Oszillogramm gemäß Abbildung A5-2 folgende Kenngrößen der Ausgangsspannung  $u_A(t)$ :  
Signalform  
Grundfrequenz  $f_A$   
arithmetischer Mittelwert  $U_A$  (Gleichanteil)  
Maximalwert  $U_{A\max}$   
Minimalwert  $U_{A\min}$   
Spitze-Spitze-Wert  $U_{A\text{ss}}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{A\text{pp}}$ )
- d) Sie haben die Aufgabe, den Gleichanteil der Ausgangsspannung  $u_A(t)$  direkt mit dem Oszilloskop messtechnisch zu erfassen. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen.
- e) In den beiden Oszillogrammen gemäß Abbildung A5-4 und gemäß Abbildung A5-5 ist jeweils ein zusätzlicher Signalverlauf (mit M gekennzeichnet) dargestellt. Erläutern Sie das Zustandekommen dieses Signalverlaufs. Welcher Signalverlauf aus dem Einweggleichrichter wird damit visualisiert?
- f) Über dem Gleichrichterelement (Diode D) tritt die Spannung  $u_D(t)$  auf. Beschreiben Sie, in welchem Zeitfenster die Diode leitet (Durchlassbereich) und wie groß die Durchlassspannung an der Diode (Betrag Maximalwert  $U_{D\max}$ ) dann ist.
- g) Über dem Gleichrichterelement (Diode D) tritt die Spannung  $u_D(t)$  auf. Geben Sie an, in welchem Zeitfenster die Diode sperrt (Sperrbereich). Unter welchen Bedingungen wird die Sperrspannung an der Diode (Betrag Minimalwert  $U_{D\min}$ ) maximal und wie groß ist diese dann.

**Bearbeitungshinweise stichwortartig:**

- Einweggleichrichtung; passiver Einweggleichrichter
- Gleichrichterelement (Diode D); Durchlassbereich; Durchlassspannung; Sperrbereich; Sperrspannung
- Wechselstrom; sinusförmiges Signal; Frequenz
- Mischsignal; pulsierendes Gleichsignal; Grundfrequenz
- Kenngrößen periodischer Signale
- Kirchhoff'sche Maschenregel
- Stromverlauf „oszilloskopieren“
- DC-Eingangskopplung; AC-Eingangskopplung
- mathematische Verknüpfung; Mathematik-Menü

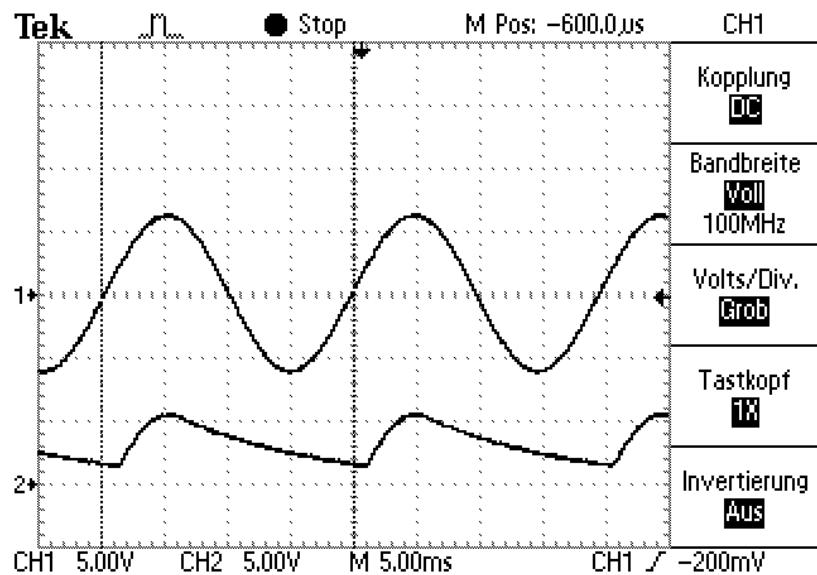


Abbildung A5-2: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

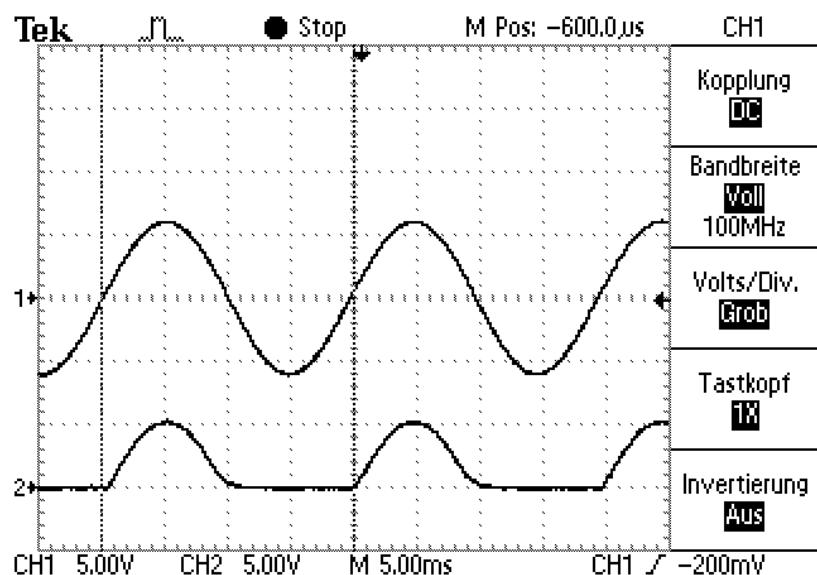


Abbildung A5-3: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

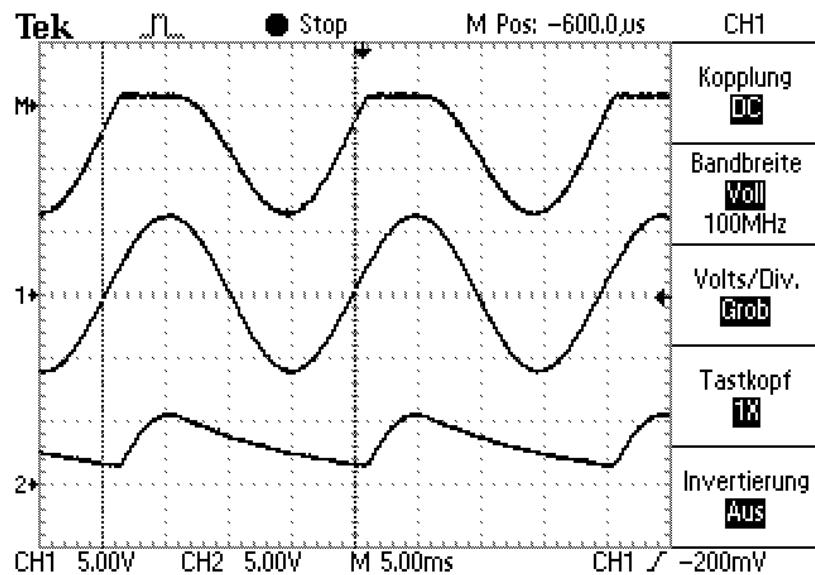


Abbildung A5-4: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1), Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2) und zusätzlicher Signalverlauf (mit M gekennzeichnet).

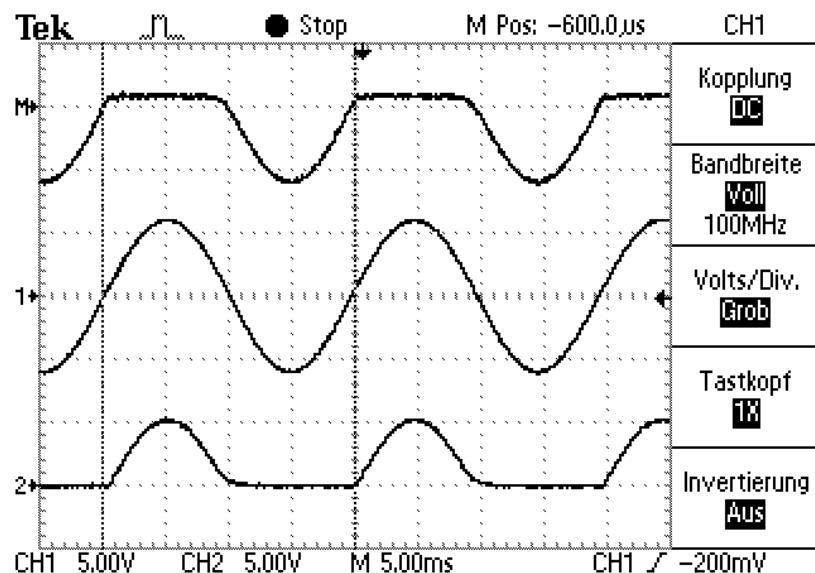


Abbildung A5-5: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1), Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2) und zusätzlicher Signalverlauf (mit M gekennzeichnet).

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

### **V1-A6 Messung von verschiedenfrequenten Signalen**

Mit dem Oszilloskop werden der zeitliche Signalverlauf einer periodischen Spannung  $u_x(t)$  und der einer periodischen Spannung  $u_y(t)$  über der Zeit gemessen. Die gemessenen Signale gemäß Abbildung A6-1 bis Abbildung A6-8 (jeweils  $u_x(t)$  auf Kanal 1 bei einer DC-Eingangskopplung und jeweils  $u_y(t)$  auf Kanal 2 bei einer DC-Eingangskopplung) zeigen unterschiedliche Signalverläufe der beiden periodischen Spannungen.

Bei einer zweiten Messung wird das Oszilloskop im x-y-Betrieb betrieben. Die jeweilige Spannung  $u_x(t)$  liegt an der x-Ablenkung und die jeweilige Spannung  $u_y(t)$  an der y-Ablenkung des Oszilloskops an. Dabei entstehen Signalverläufe in x-y-Darstellung, wie sie den Oszillogrammen gemäß Abbildung A6-9 bis Abbildung A6-16 (Lissajous-Figuren) zu entnehmen sind.

***Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:***

- a) Wählen Sie aus den gemessenen Signalverläufen der beiden Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  gemäß Abbildung A6-1 bis Abbildung A6-8 ein Beispiel aus. Konstruieren Sie für dieses Beispiel die Lissajous-Figur, die sich unter Verwendung dieser Signalverläufe beim x-y-Betrieb des Oszilloskops ergibt. Zeichnen Sie Ihre Lösung in Abbildung A6-a ein.
- b) Wählen Sie aus den Lissajous-Figuren (x-y-Darstellung des Oszilloskops) gemäß Abbildung A6-9 bis Abbildung A6-16 ein Beispiel aus. Konstruieren Sie für dieses Beispiel sowohl den zeitlichen Verlauf der Spannung  $u_x(t)$  als auch den zeitlichen Verlauf der Spannung  $u_y(t)$ . Zeichnen Sie Ihre Lösung in Abbildung A6-b ein. Welche Aussage können Sie zur Frequenz  $f_x$  der periodischen Spannung  $u_x(t)$  und zur Frequenz  $f_y$  der periodischen Spannung  $u_y(t)$  machen? Diskutieren Sie Ihre Erkenntnisse.
- c) Geben Sie für alle Signalverläufe der beiden Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  gemäß Abbildung A6-1 bis Abbildung A6-8 die zugehörige Lissajous-Figur (Abbildung A6-9 bis Abbildung A6-16) an, die bei Verwendung dieser Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  bei einem x-y-Betrieb des Oszilloskops entsteht.

***Bearbeitungshinweise stichwortartig:***

- x-y-Betrieb
- Lissajous-Figur
- Signalamplituden; Signalfrequenzen
- Frequenzverhältnis
- Phasenverschiebung

**Lösung zu a); ausgewähltes Beispiel:**

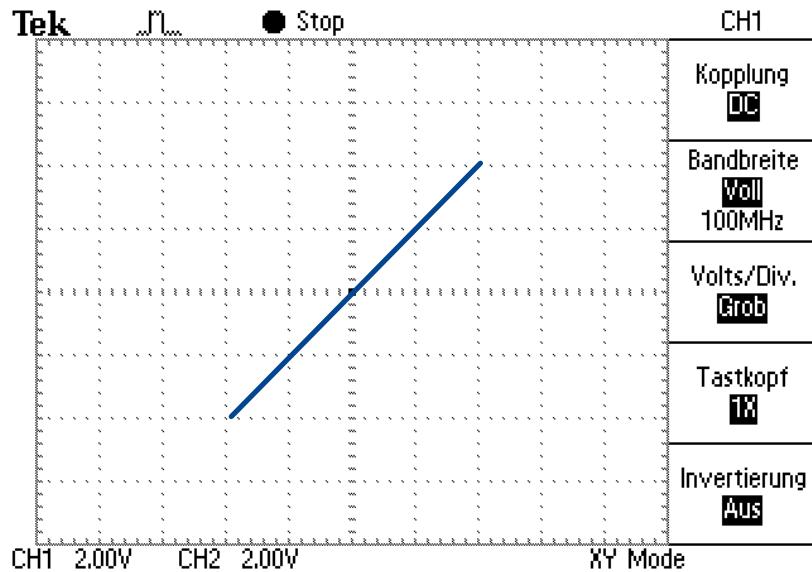


Abbildung A6-a: konstruierte Lissajous-Figur für die ausgewählten Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  beim x-y-Betrieb des Oszilloskops.

**Lösung zu b); ausgewähltes Beispiel:**

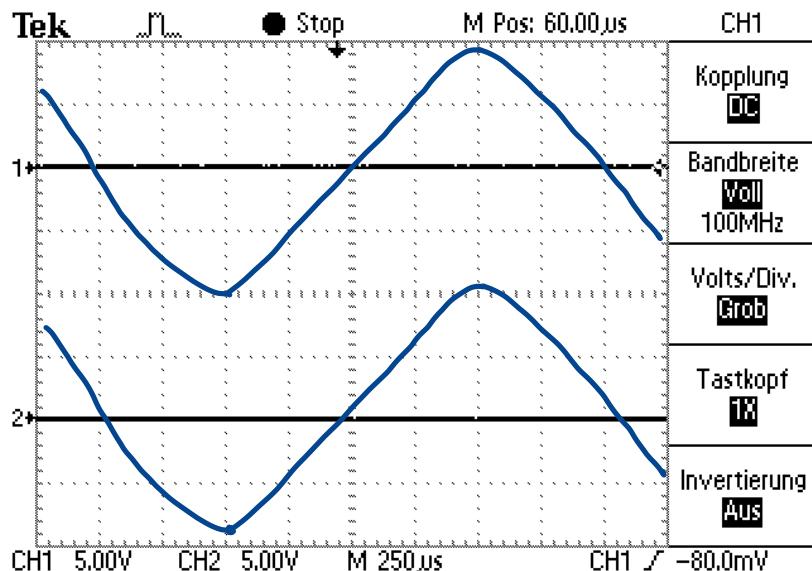


Abbildung A6-b: konstruierte zeitliche Verläufe Spannung  $u_x(t)$  und Spannung  $u_y(t)$ .

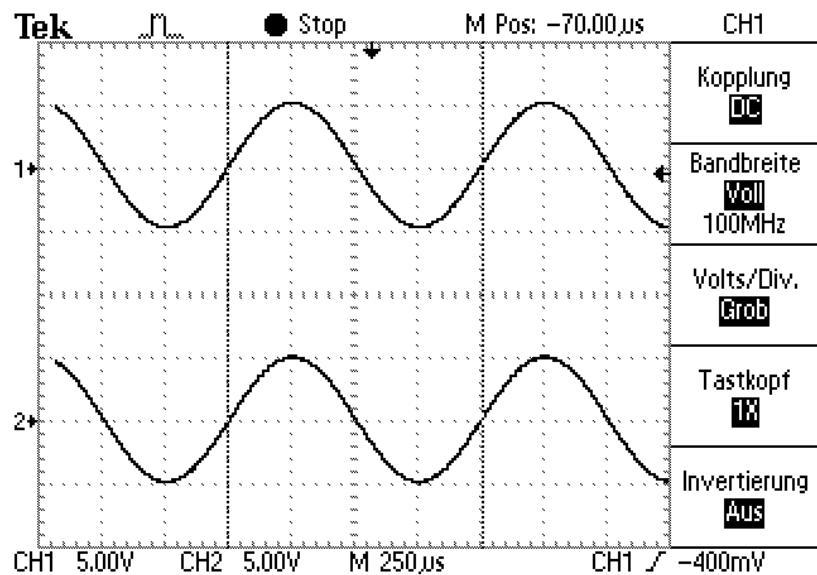


Abbildung A6-1: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

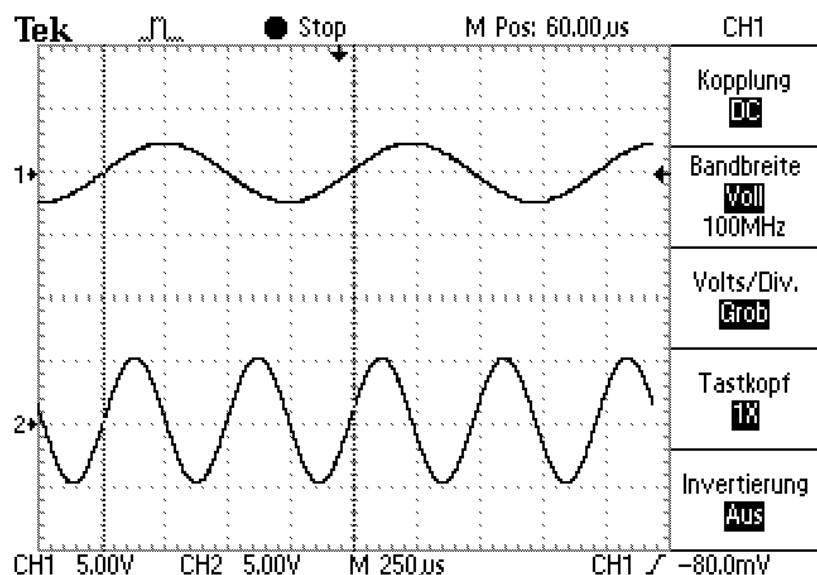


Abbildung A6-2: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

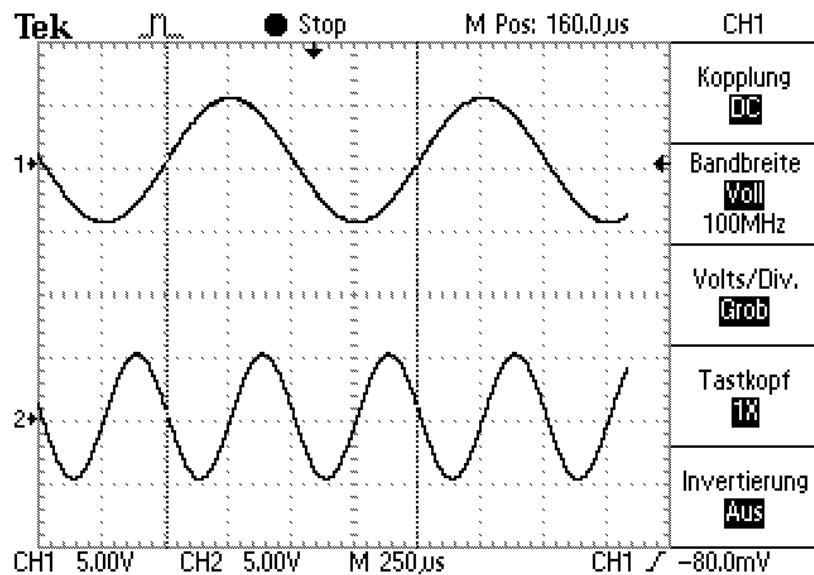


Abbildung A6-3: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

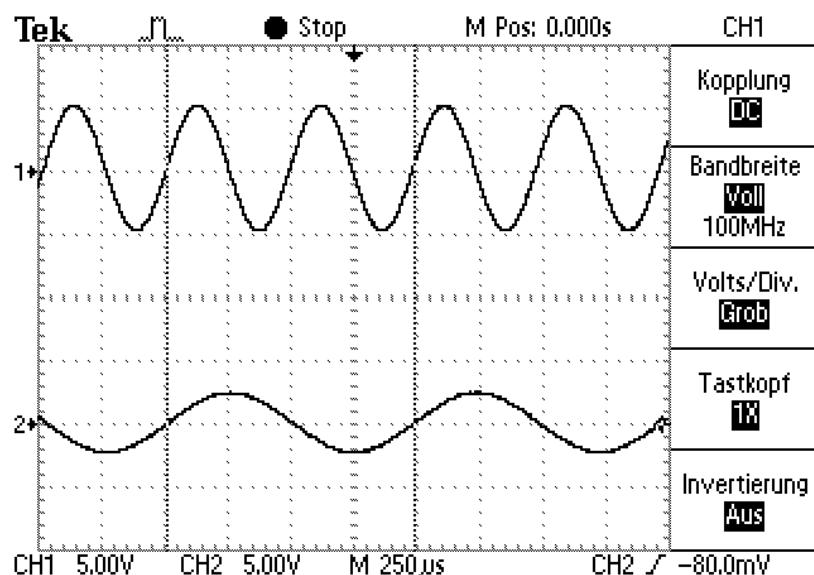


Abbildung A6-4: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

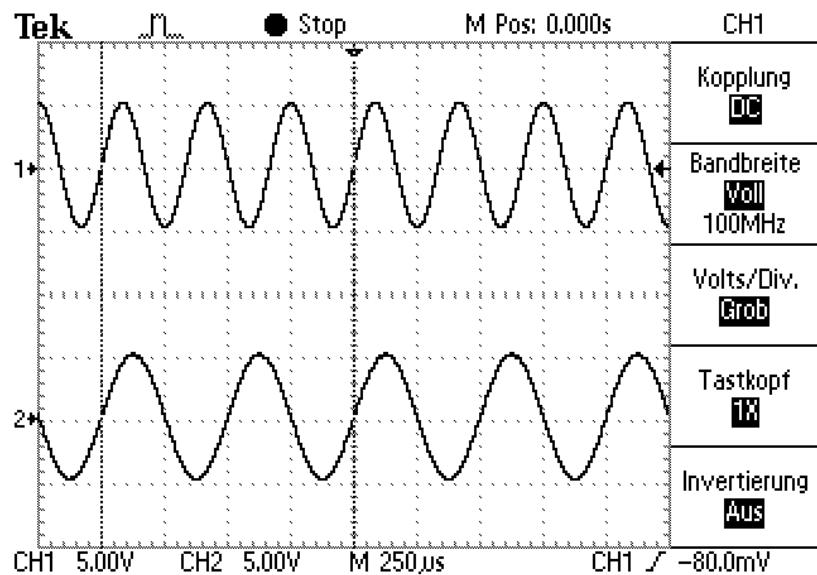


Abbildung A6-5: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

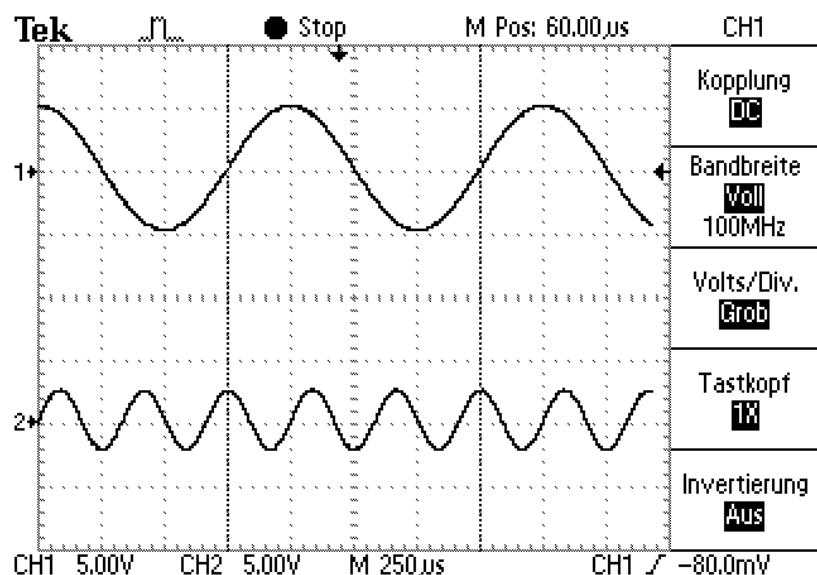


Abbildung A6-6: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

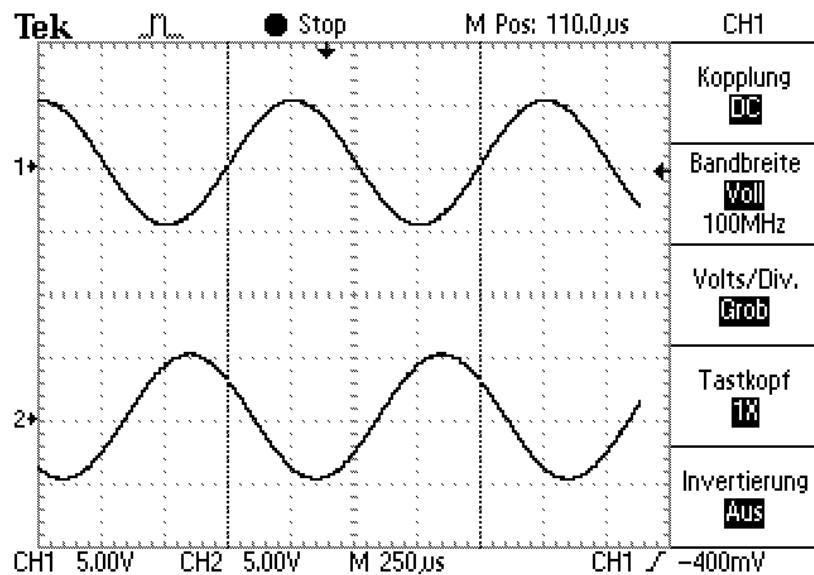


Abbildung A6-7: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

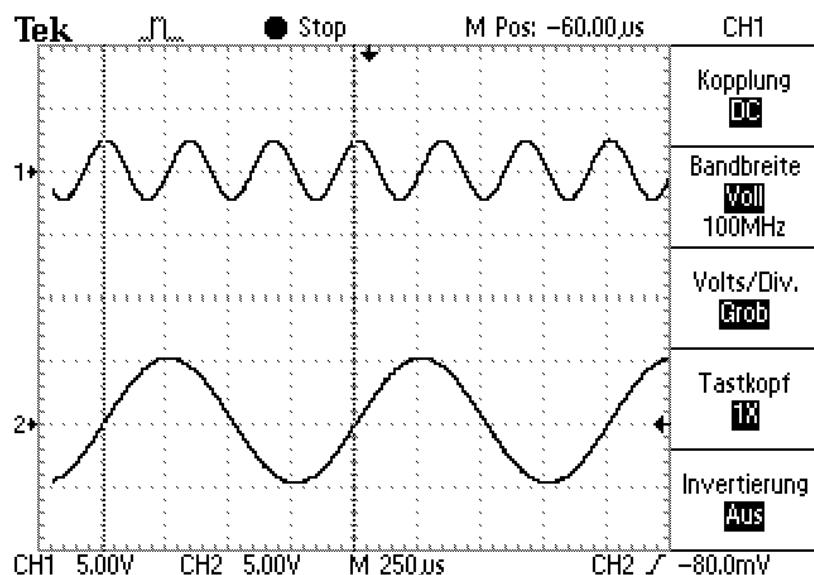


Abbildung A6-8: Spannung  $u_x(t)$  (Kanal 1) und Spannung  $u_y(t)$  (Kanal 2).

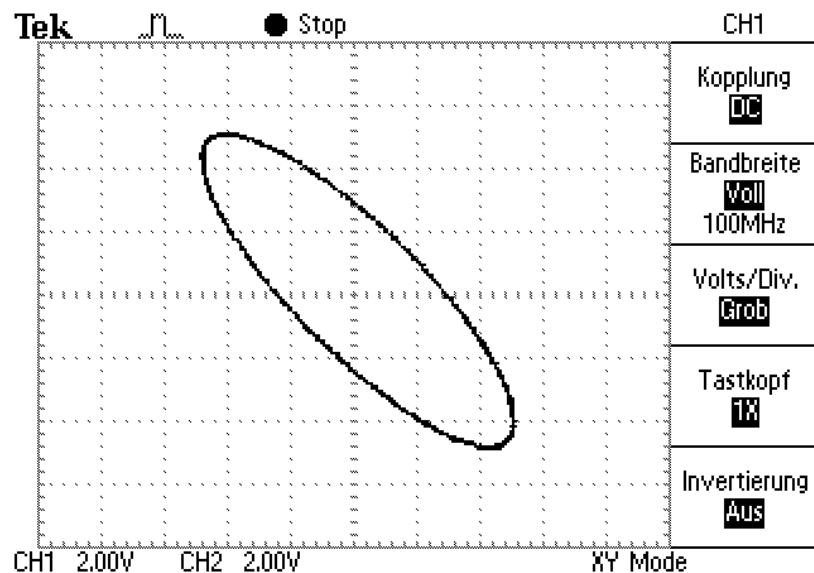


Abbildung A6-9: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

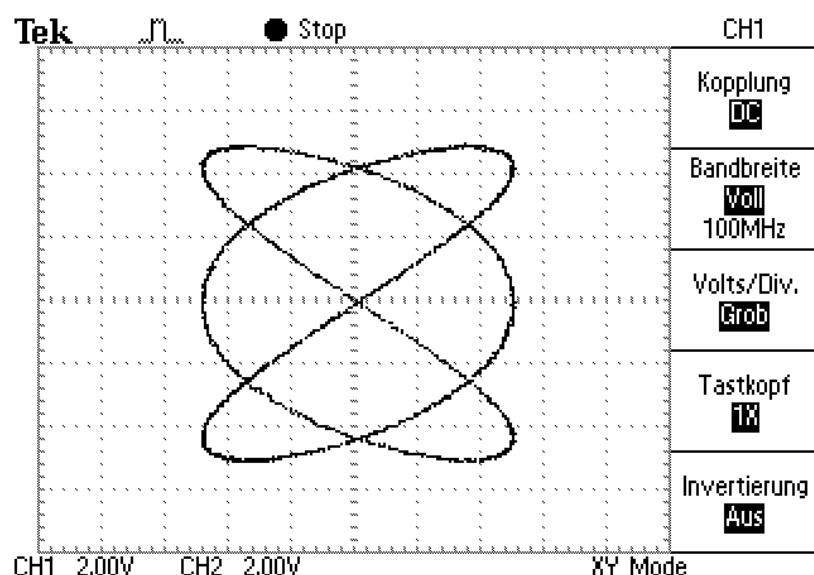


Abbildung A6-10: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

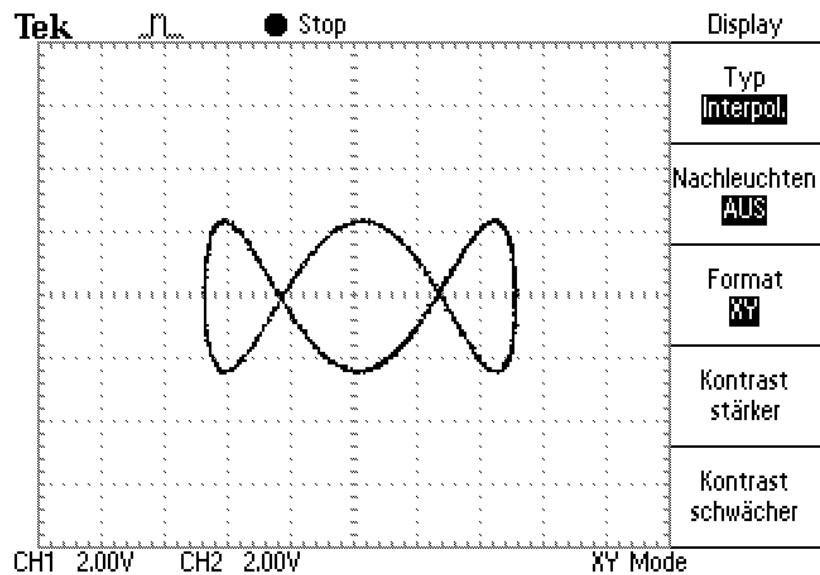


Abbildung A6-11: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

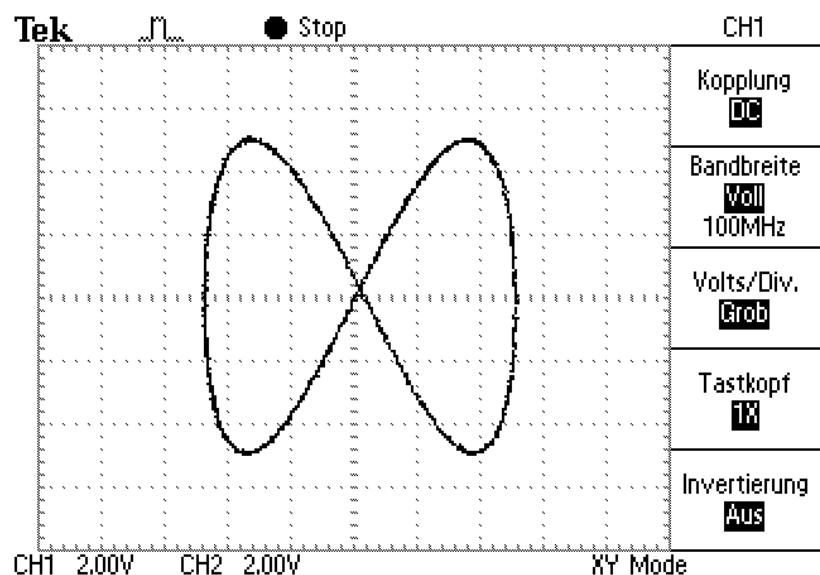


Abbildung A6-12: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

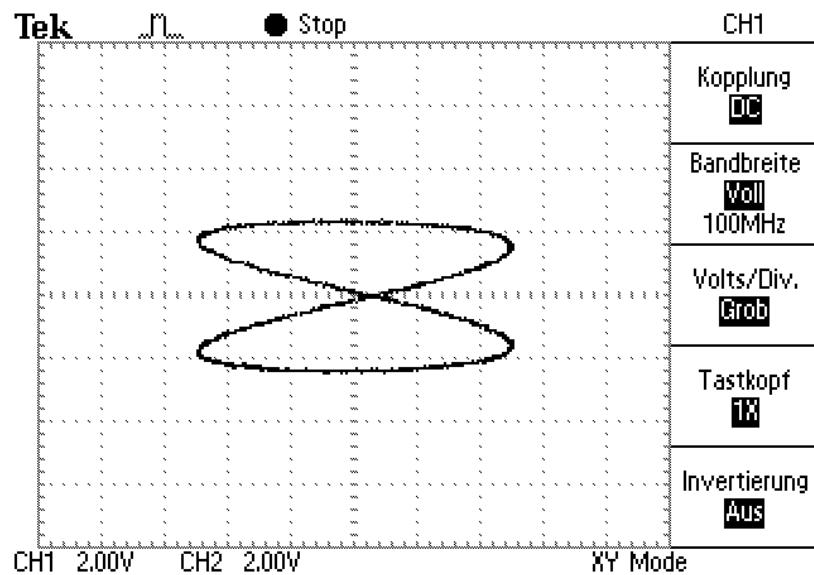


Abbildung A6-13: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

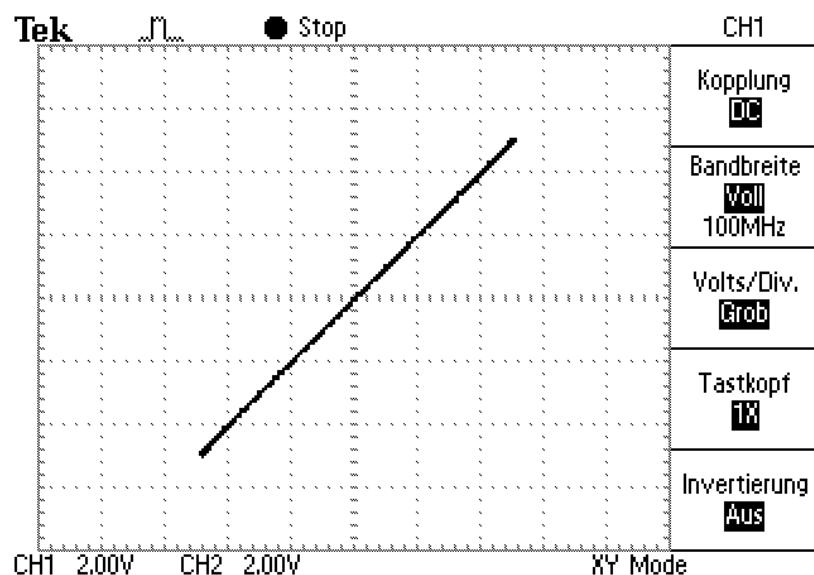


Abbildung A6-14: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

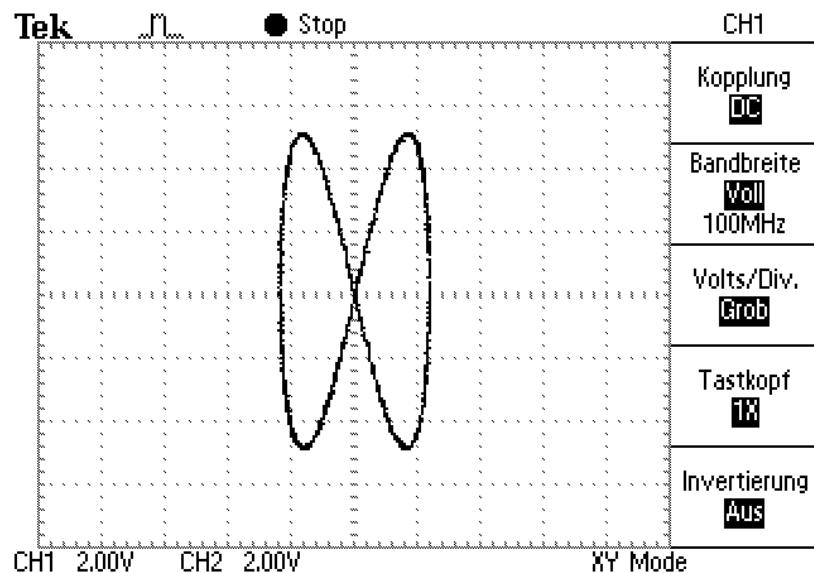


Abbildung A6-15: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

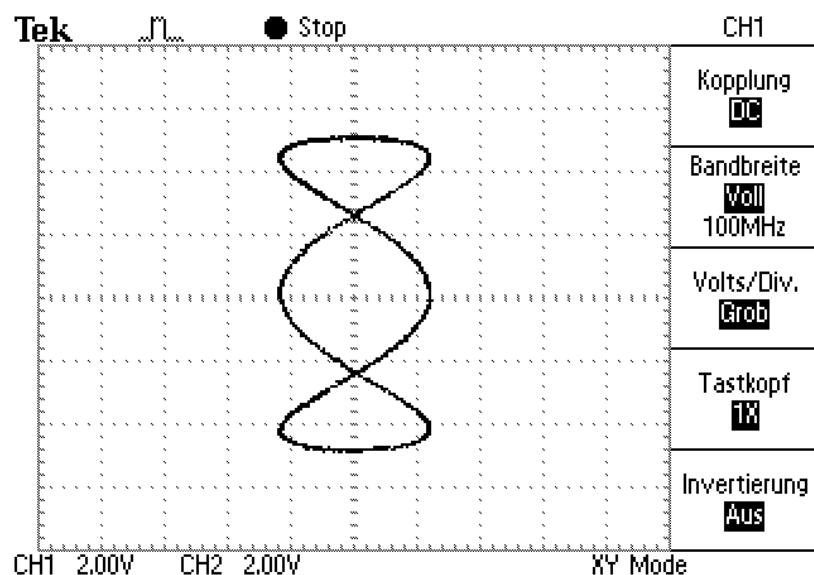


Abbildung A6-16: Signalverläufe in x-y-Darstellung (Lissajous-Figuren).

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

### **V1-A7A Filterglied 1. Ordnung**

$u_E(t)$  ist die Eingangsspannung und  $u_A(t)$  ist die Ausgangsspannung eines Filtergliedes 1. Ordnung. Die Übertragungseigenschaften des Filtergliedes können sowohl im Zeitbereich  $t$  als auch im Frequenzbereich  $f$  ermittelt werden. An dem Filterglied werden die Signalverläufe gemäß Abbildung A7A-1 bis Abbildung A7A-8 gemessen. Dabei liegt die Eingangsspannung  $u_E(t)$  jeweils am Kanal 1 (DC-Eingangskopplung) und die Ausgangsspannung  $u_A(t)$  jeweils am Kanal 2 (DC-Eingangskopplung) an.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

**Zeitbereich t:**

- a) Die Übertragungseigenschaften sollen im Zeitbereich  $t$  ermittelt werden. Beschreiben Sie die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Sprungantwort  $h(t)$  im Zeitbereich  $t$ . Erläutern Sie, was unter der Anstiegszeit  $T_a$  (charakteristische Kenngröße im Zeitbereich  $t$ ) zu verstehen ist und wie diese zu bestimmen ist.
- b) Wählen Sie aus den verschiedenen Signalverläufen gemäß Abbildung A7A-1 bis Abbildung A7A-8 den Signalverlauf aus, der sich für die Bestimmung der Anstiegszeit  $T_a$  eignet. Begründen Sie Ihre Auswahl und bestimmen Sie dann die Anstiegszeit  $T_a$ .

**Frequenzbereich f:**

- c) Die Übertragungseigenschaften sollen im Frequenzbereich  $f$  ermittelt werden. Beschreiben Sie die Vorgehensweise bei der Bestimmung des komplexen Frequenzganges  $\underline{G}(f)$  mit dem Amplitudengang  $G(f)$  und dem Phasengang  $\varphi(f)$  im Frequenzbereich  $f$ . Erläutern Sie, was unter der Grenzfrequenz  $f_g$  (charakteristische Kenngröße im Frequenzbereich  $f$ ) zu verstehen ist und wie diese zu bestimmen ist.
- d) Wählen Sie aus den verschiedenen Signalverläufen gemäß Abbildung A7A-1 bis Abbildung A7A-8 den Signalverlauf aus, der sich für die Bestimmung der Grenzfrequenz  $f_g$  eignet. Begründen Sie Ihre Auswahl und bestimmen Sie dann die Grenzfrequenz  $f_g$ .
- e) Ermitteln Sie unter Verwendung der mit dem Oszilloskop gemessenen Signalverläufe gemäß Abbildung A7A-1 bis Abbildung A7A-8 den Amplitudengang  $G(f)$  und stellen Sie seinen Verlauf in einem doppeltlogarithmischen Maßstab dar.
- f) Ermitteln Sie unter Verwendung der mit dem Oszilloskop gemessenen Signalverläufe gemäß Abbildung A7A-1 bis Abbildung A7A-8 den Phasengang  $\varphi(f)$  und stellen Sie seinen Verlauf in einem einfachlogarithmischen Maßstab dar.

**Diskussion der Filtereigenschaften:**

- g) Erörtern Sie den Zusammenhang zwischen der Anstiegszeit  $T_a$  als Kenngröße im Zeitbereich  $t$  und der Grenzfrequenz  $f_g$  als Kenngröße im Frequenzbereich  $f$ . Bewerten Sie unter Beachtung dieses Zusammenhangs die aus den Signalverläufen ermittelten Werte für  $T_a$  und für  $f_g$ .
- h) Diskutieren Sie die aus den Messungen abzuleitenden Filtereigenschaften. Entwerfen Sie ein elektrisches Netzwerk mit passiven Bauelementen (verfügbar: R, L, C), das das beobachtete Übertragungsverhalten 1. Ordnung aufzeigt. Dimensionieren Sie die einzelnen Bauelemente.
- i) Bestimmen Sie für das von Ihnen entworfene elektrische Netzwerk den mathematischen Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung  $u_E(t)$  und der Ausgangsspannung  $u_A(t)$  im Zeitbereich  $t$ .
- j) Bestimmen Sie für das von Ihnen entworfene elektrische Netzwerk den komplexen Frequenzgang  $\underline{G}(f)$  im Frequenzbereich  $f$ .

***Bearbeitungshinweise stichwortartig:***

- Übertragungsverhalten System 1. Ordnung
- Zeitbereich
- Sprungantwort; Zeitkonstante; Anstiegszeit; Abfallzeit
- Kenngrößen im Zeitbereich
- Anstiegszeit, Abfallzeit
- Differentialgleichung (DGL) 1. Ordnung; Zeitkonstante
- Frequenzbereich
- Frequenzgang; Amplitudengang; Phasengang
- Kenngrößen im Frequenzbereich
- Grenzfrequenz; untere Grenzfrequenz; obere Grenzfrequenz; Bandbreite
- komplexer Spannungsteiler; Grenzkreisfrequenz

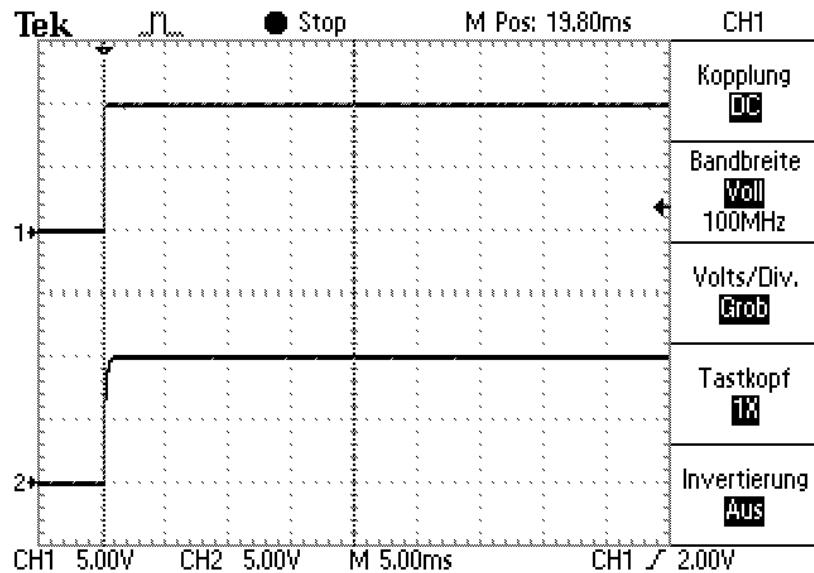


Abbildung A7A-1: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

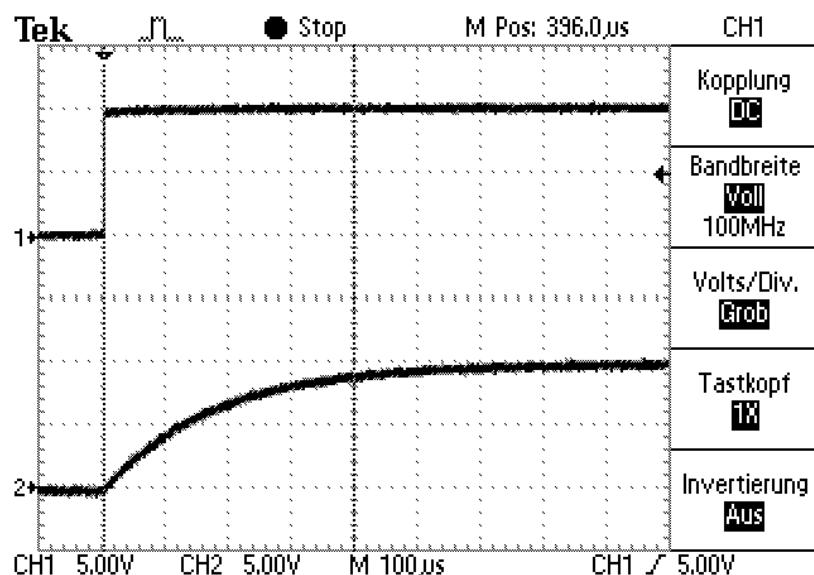


Abbildung A7A-2: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

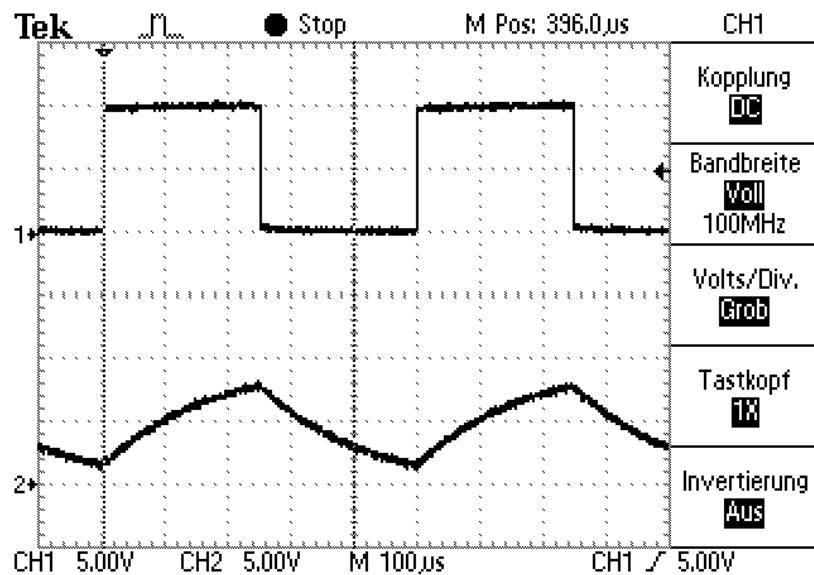


Abbildung A7A-3: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

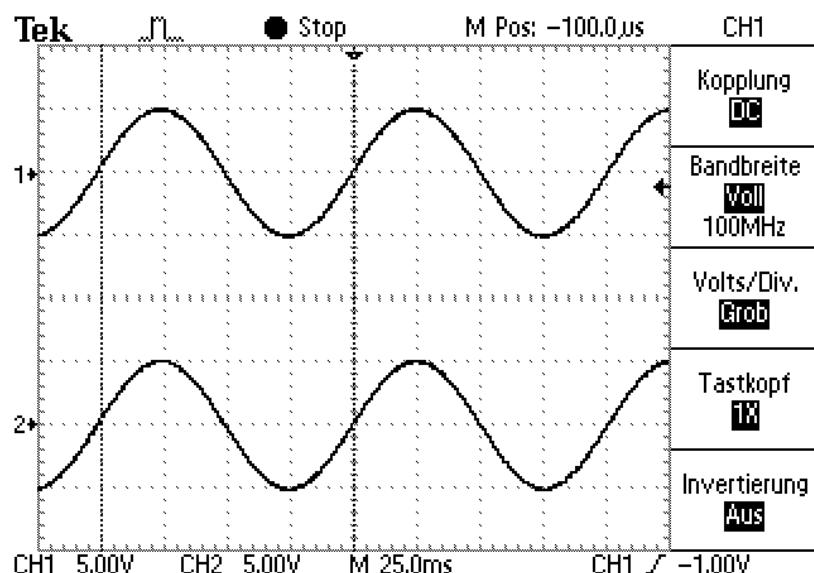


Abbildung A7A-4: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

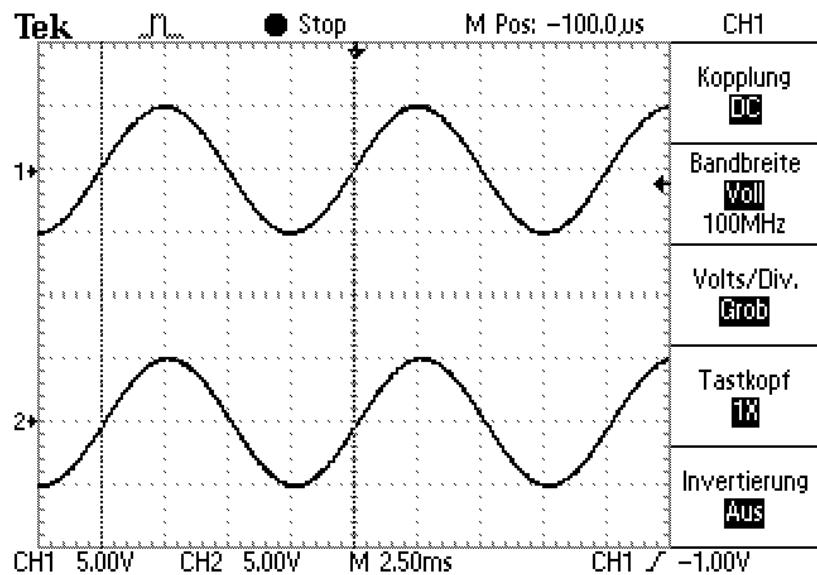


Abbildung A7A-5: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

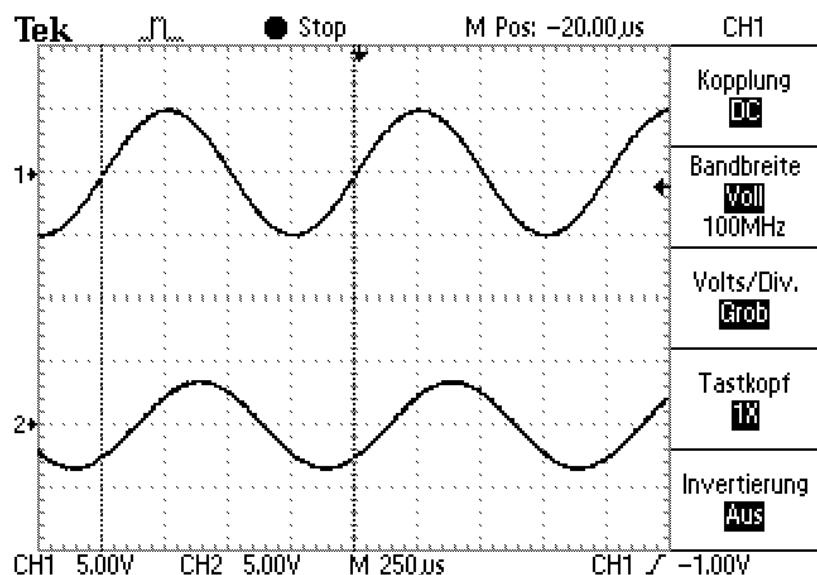


Abbildung A7A-6: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

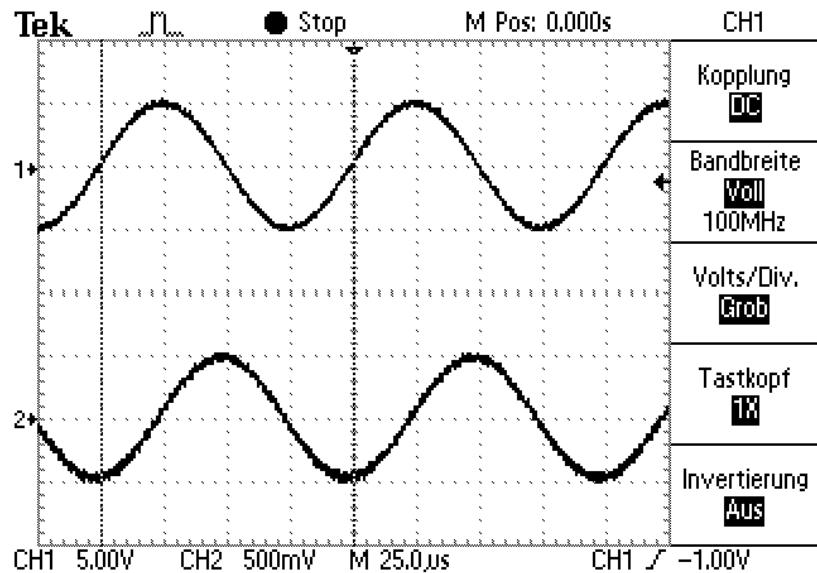


Abbildung A7A-7: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

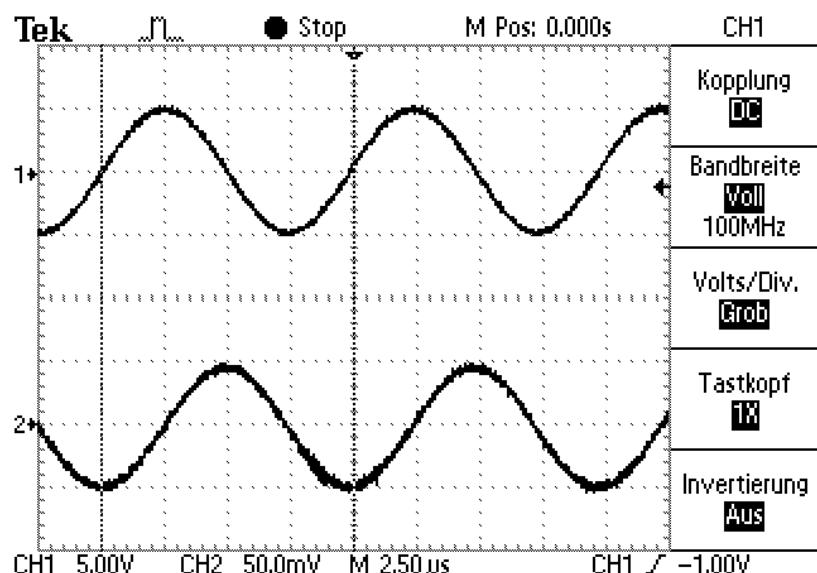


Abbildung A7A-8: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

**Versuch V1 – Virtuelle Versuche (V1-VV)**  
**Oszilloskopmesstechnik**

**V1-A7B Filterglied 1. Ordnung**

$u_E(t)$  ist die Eingangsspannung und  $u_A(t)$  ist die Ausgangsspannung eines Filtergliedes 1. Ordnung. Die Übertragungseigenschaften des Filtergliedes können sowohl im Zeitbereich  $t$  als auch im Frequenzbereich  $f$  ermittelt werden. An dem Filterglied werden die Signalverläufe gemäß Abbildung A7B-1 bis Abbildung A7B-8 gemessen. Dabei liegt die Eingangsspannung  $u_E(t)$  jeweils am Kanal 1 (DC-Eingangskopplung) und die Ausgangsspannung  $u_A(t)$  jeweils am Kanal 2 (DC-Eingangskopplung) an.

**Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:**

**Zeitbereich t:**

- a) Die Übertragungseigenschaften sollen im Zeitbereich  $t$  ermittelt werden. Beschreiben Sie die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Sprungantwort  $h(t)$  im Zeitbereich  $t$ . Erläutern Sie, was unter der Abfallzeit  $T_a$  (charakteristische Kenngröße im Zeitbereich  $t$ ) zu verstehen ist und wie diese zu bestimmen ist.
- b) Wählen Sie aus den verschiedenen Signalverläufen gemäß Abbildung A7B-1 bis Abbildung A7B-8 den Signalverlauf aus, der sich für die Bestimmung der Abfallzeit  $T_a$  eignet. Begründen Sie Ihre Auswahl und bestimmen Sie dann die Abfallzeit  $T_a$ .

**Frequenzbereich f:**

- c) Die Übertragungseigenschaften sollen im Frequenzbereich  $f$  ermittelt werden. Beschreiben Sie die Vorgehensweise bei der Bestimmung des komplexen Frequenzganges  $\underline{G}(f)$  mit dem Amplitudengang  $G(f)$  und dem Phasengang  $\varphi(f)$  im Frequenzbereich  $f$ . Erläutern Sie, was unter der Grenzfrequenz  $f_g$  (charakteristische Kenngröße im Frequenzbereich  $f$ ) zu verstehen ist und wie diese zu bestimmen ist.
- d) Wählen Sie aus den verschiedenen Signalverläufen gemäß Abbildung A7B-1 bis Abbildung A7B-8 den Signalverlauf aus, der sich für die Bestimmung der Grenzfrequenz  $f_g$  eignet. Begründen Sie Ihre Auswahl und bestimmen Sie dann die Grenzfrequenz  $f_g$ .
- e) Ermitteln Sie unter Verwendung der mit dem Oszilloskop gemessenen Signalverläufe gemäß Abbildung A7B-1 bis Abbildung A7B-8 den Amplitudengang  $G(f)$  und stellen Sie seinen Verlauf in einem doppeltlogarithmischen Maßstab dar.
- f) Ermitteln Sie unter Verwendung der mit dem Oszilloskop gemessenen Signalverläufe gemäß Abbildung A7B-1 bis Abbildung A7B-8 den Phasengang  $\varphi(f)$  und stellen Sie seinen Verlauf in einem einfachlogarithmischen Maßstab dar.

**Diskussion der Filtereigenschaften:**

- g) Erörtern Sie den Zusammenhang zwischen der Abfallzeit  $T_a$  als Kenngröße im Zeitbereich  $t$  und der Grenzfrequenz  $f_g$  als Kenngröße im Frequenzbereich  $f$ . Bewerten Sie unter Beachtung dieses Zusammenhangs die aus den Signalverläufen ermittelten Werte für  $T_a$  und für  $f_g$ .
- h) Diskutieren Sie die aus den Messungen abzuleitenden Filtereigenschaften. Entwerfen Sie ein elektrisches Netzwerk mit passiven Bauelementen (verfügbar: R, L, C), das das beobachtete Übertragungsverhalten 1. Ordnung aufzeigt. Dimensionieren Sie die einzelnen Bauelemente.
- i) Bestimmen Sie für das von Ihnen entworfene elektrische Netzwerk den mathematischen Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung  $u_E(t)$  und der Ausgangsspannung  $u_A(t)$  im Zeitbereich  $t$ .
- j) Bestimmen Sie für das von Ihnen entworfene elektrische Netzwerk den komplexen Frequenzgang  $\underline{G}(f)$  im Frequenzbereich  $f$ .

***Bearbeitungshinweise stichwortartig:***

- Übertragungsverhalten System 1. Ordnung
- Zeitbereich
- Sprungantwort; Zeitkonstante; Anstiegszeit; Abfallzeit
- Kenngrößen im Zeitbereich
- Anstiegszeit, Abfallzeit
- Differentialgleichung (DGL) 1. Ordnung; Zeitkonstante
- Frequenzbereich
- Frequenzgang; Amplitudengang; Phasengang
- Kenngrößen im Frequenzbereich
- Grenzfrequenz; untere Grenzfrequenz; obere Grenzfrequenz; Bandbreite
- komplexer Spannungsteiler; Grenzkreisfrequenz

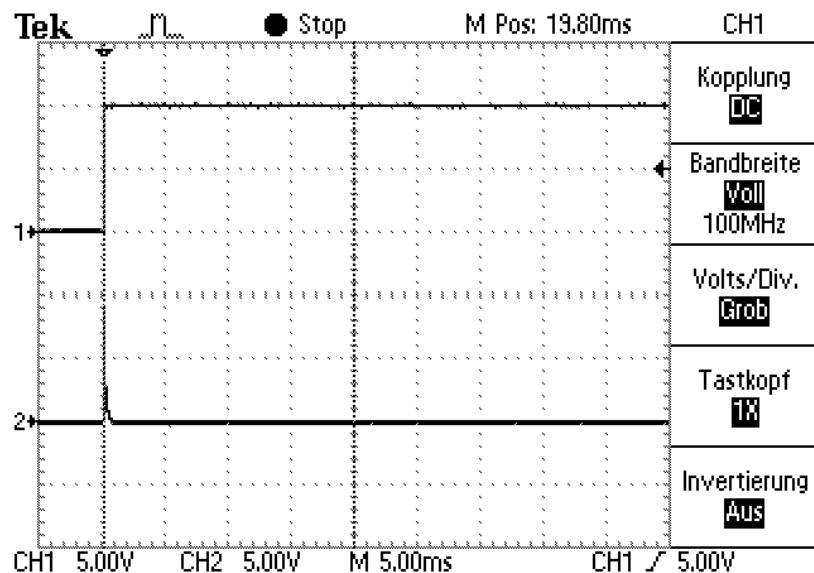


Abbildung A7B-1: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

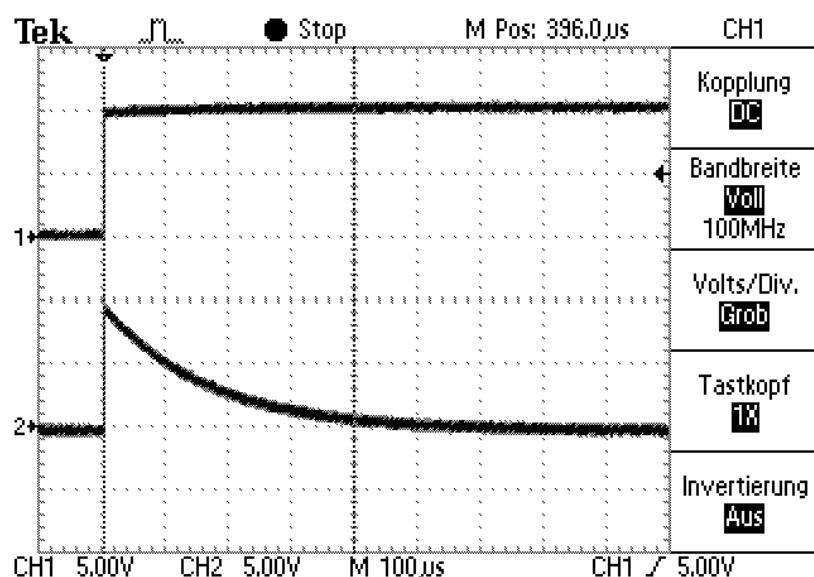


Abbildung A7B-2: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

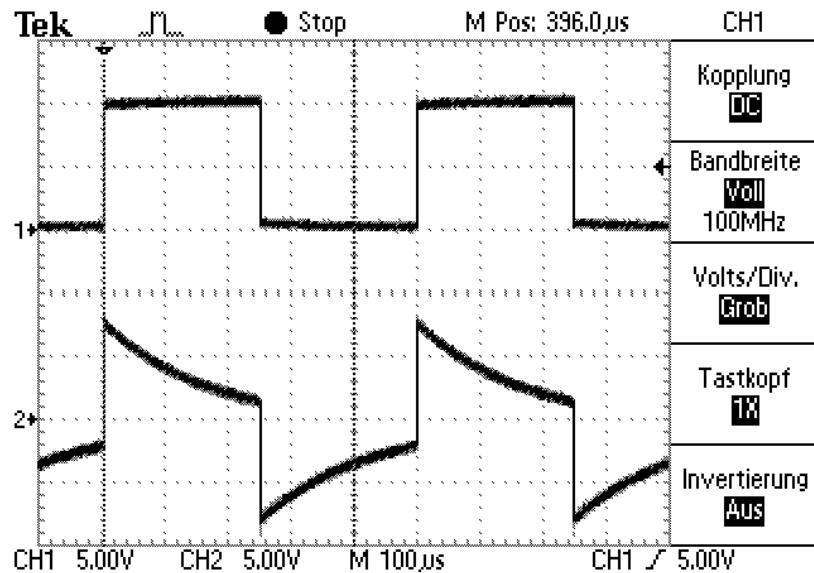


Abbildung A7B-3: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

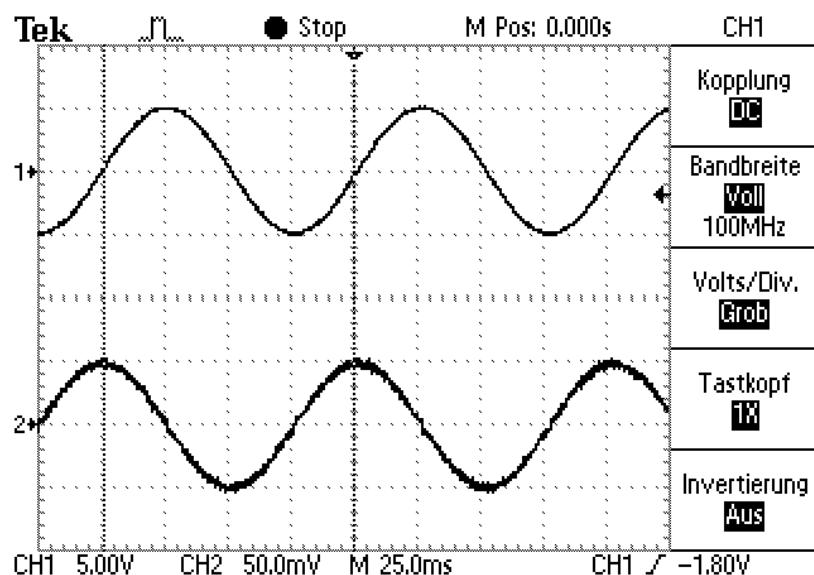


Abbildung A7B-4: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

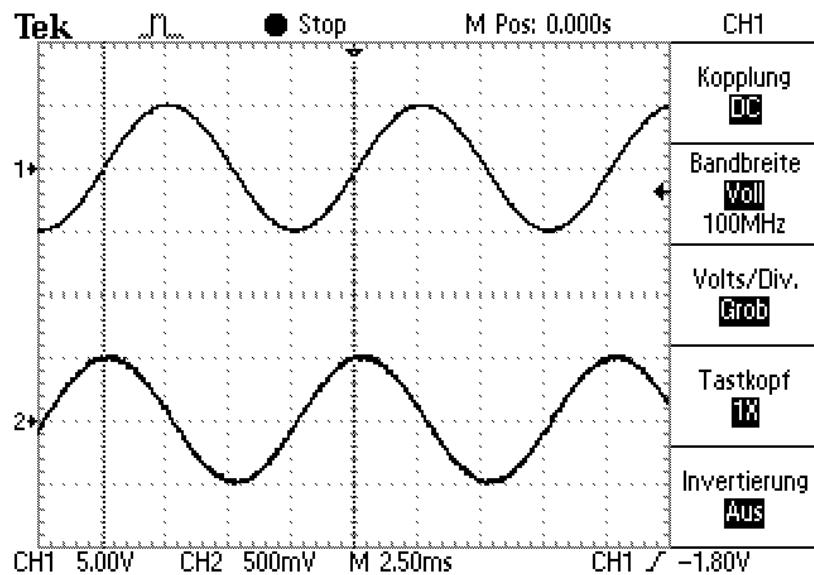


Abbildung A7B-5: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

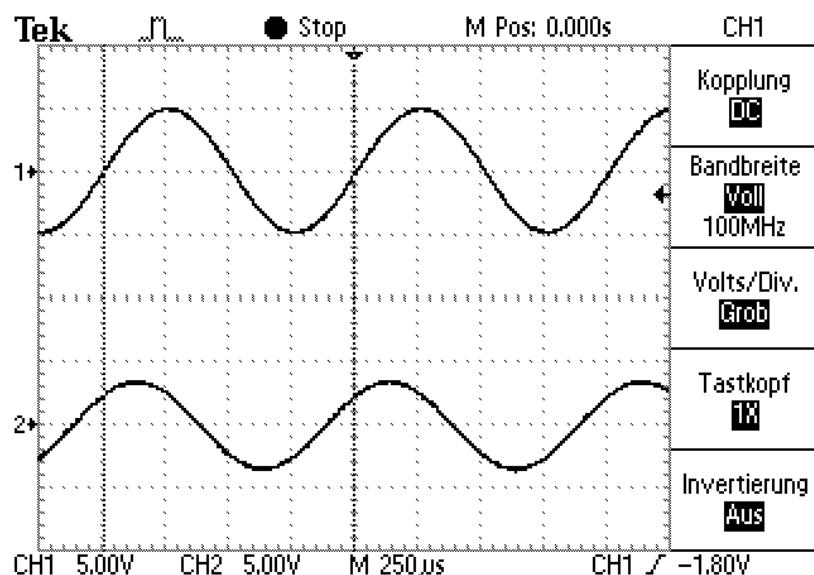


Abbildung A7B-6: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

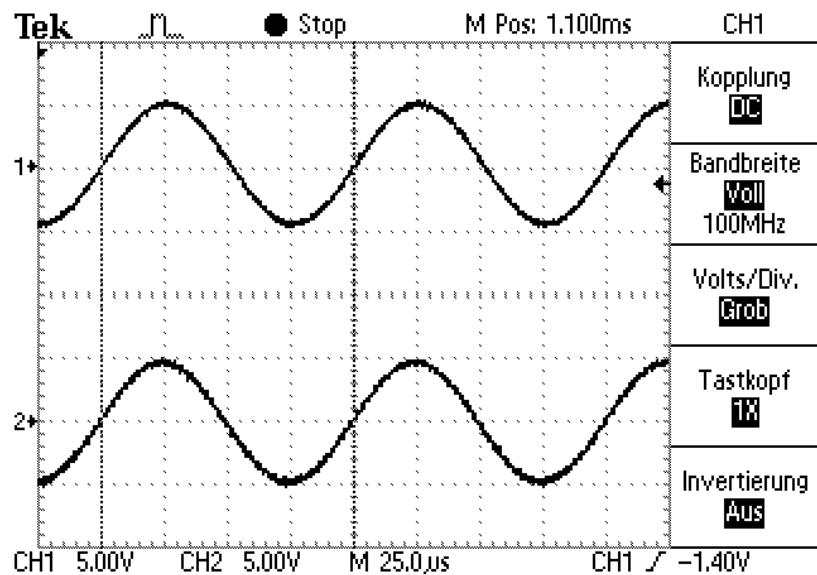


Abbildung A7B-7: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

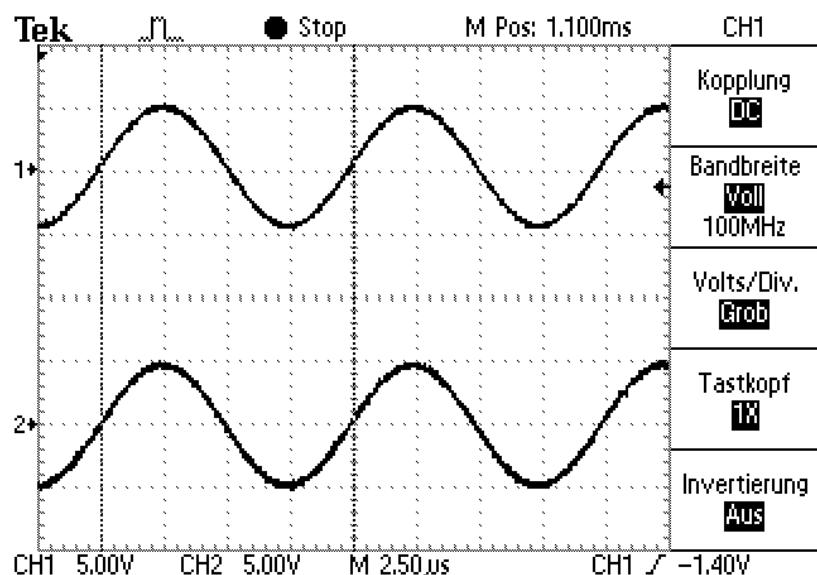


Abbildung A7B-8: Eingangsspannung  $u_E(t)$  (Kanal 1) und Ausgangsspannung  $u_A(t)$  (Kanal 2).

## Versuch V1 – Reale Versuche (V1-RV)

### Oszilloskopmesstechnik

#### V1-B1 Übertragungseigenschaften des Oszilloskops

Verwenden Sie für die Messungen das digitale Speicheroszilloskop (DSO) Tektronix TDS 1002B. Für dieses DSO sind folgende technische Daten angegeben:

Tektronix TDS 1002B	
analoge Bandbreite	60 MHz
Anstiegszeit	5,8 ns
untere Grenzfrequenz bei AC-Eingangskopplung	< 10 Hz

Zur Signalgenerierung steht ein Funktionsgenerator mit folgender Quellenspannung  $u(t)$  zur Verfügung:

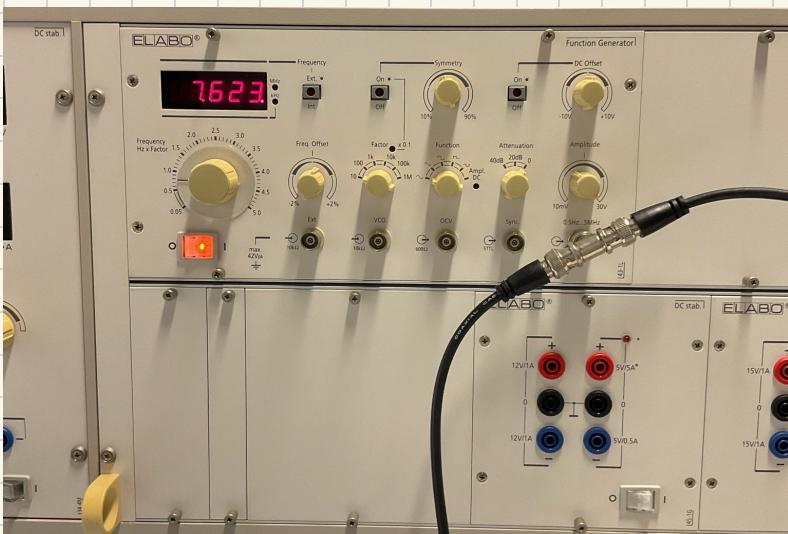
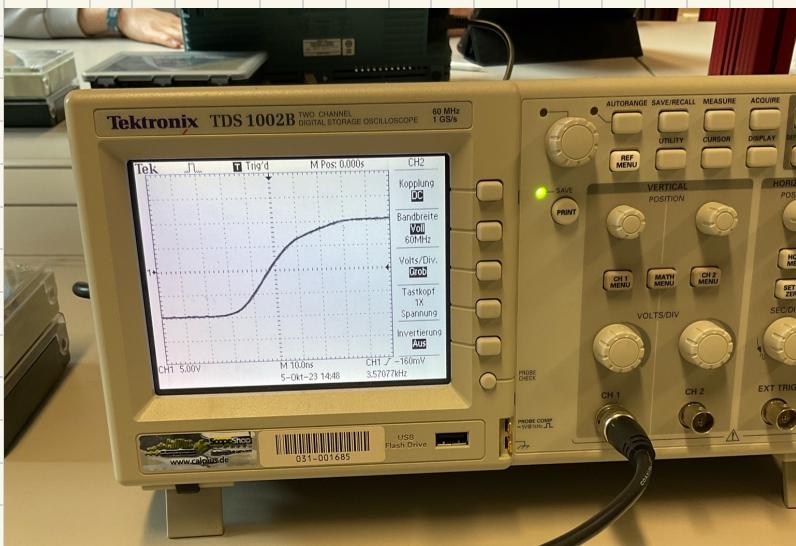
$$u(t) = \hat{u} \cdot \text{Rechteck}(f, t) \text{ bei einer Eigenanstiegszeit } T_{a\text{Rechteck}} = 28\text{ns}$$

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \text{ bei einer maximalen Frequenz } f = f_{max} = 5\text{MHz}$$

Bestimmen Sie soweit wie möglich die Kenngrößen des Oszilloskops im Zeitbereich  $t$  sowohl für die DC-Eingangskopplung als auch für die AC-Eingangskopplung. Beschreiben Sie die Vorgehensweise. Welche Kenngrößen können Sie mit der vorhandenen Versuchseinrichtung nicht messen? Begründen Sie Ihre Aussage.

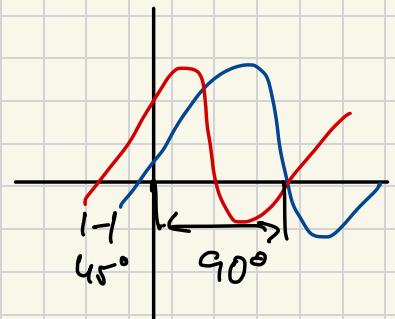
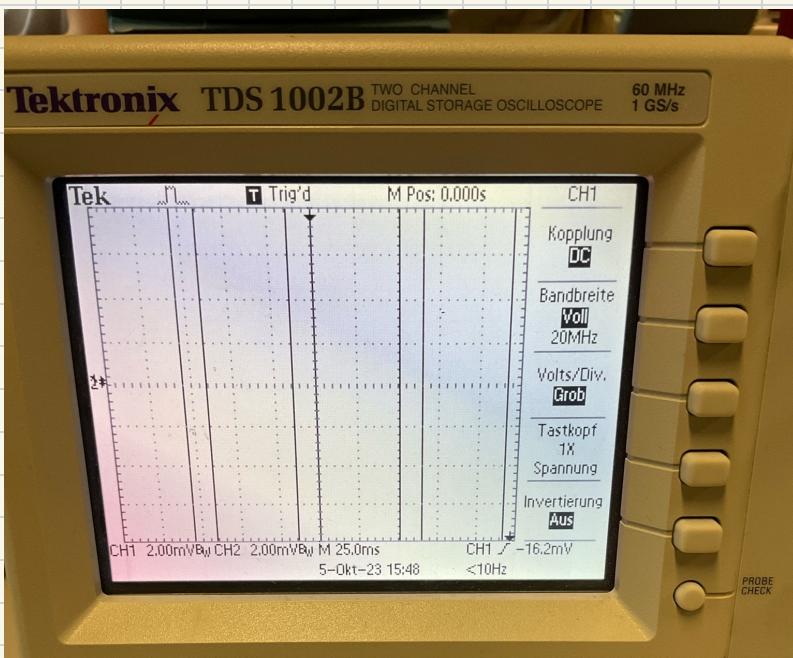
Bestimmen Sie soweit wie möglich die Kenngrößen des Oszilloskops im Frequenzbereich  $f$  sowohl für die DC-Eingangskopplung als auch für die AC-Eingangskopplung. Beschreiben Sie die Vorgehensweise. Welche Kenngrößen können Sie mit der vorhandenen Versuchseinrichtung nicht messen? Begründen Sie Ihre Aussage.

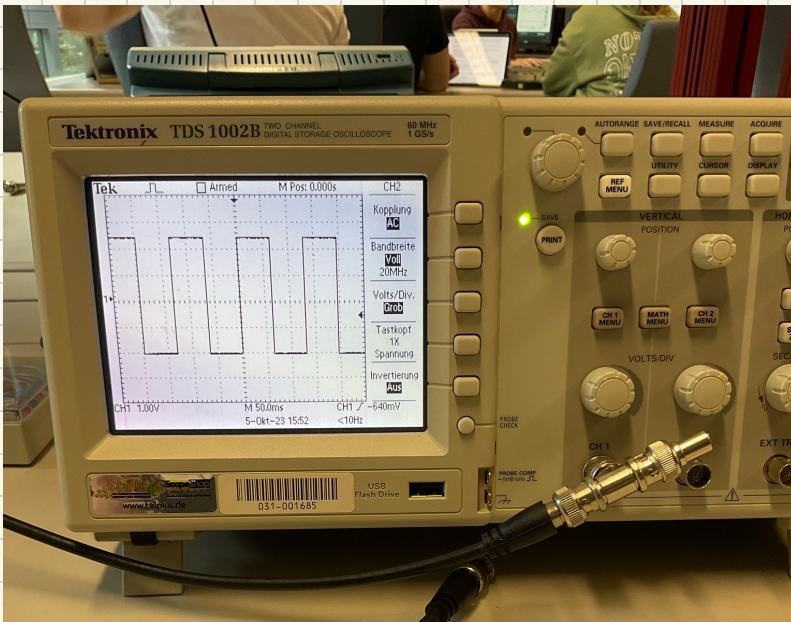
Definieren Sie die minimalen Anforderungen an den Funktionsgenerator, so dass alle Kenngrößen des Oszilloskops sowohl im Zeitbereich  $t$  (bei DC-Eingangskopplung und bei AC-Eingangskopplung) als auch im Frequenzbereich  $f$  (bei DC-Eingangskopplung und bei AC-Eingangskopplung) durch eine Messung ermittelt werden können.



Abstand der Kästchen

$$\frac{2,4}{4} = 0,65$$





Rechtecksignal geben  
und ein Endwiderstand  
anschließen. Bild  
herunterladen und  
Ausgangszeit berechnen

## V1-B2 Messung von Wechselsignalen

Verwenden Sie für die Messungen sowohl das digitale Speicheroszilloskop (DSO) als auch das analoge Oszilloskop. Die zu messenden Spannungssignale sind an beiden Oszilloskopen parallel anzuschließen.

Zur Generierung der Spannungssignale wird ein Funktionsgenerator mit der Quellenspannung  $u(t)$  verwendet.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende sinusförmige Spannung:

✓  $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Frequenzen:

$f = 5kHz, 500Hz, 50Hz, 5Hz, 0,5 Hz$

Verändern Sie bei der Messung auch den Triggermodus und den Triggerpegel.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende zur Nulllinie symmetrische rechteckförmige Spannung:

✓  $u(t) = \hat{u} \cdot \text{Rechteck}(f, t) = 5V \cdot \text{Rechteck}(f, t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Grundfrequenzen:

$f = 5kHz, 500Hz, 50Hz, 5Hz, 0,5 Hz$

Verändern Sie bei der Messung auch den Triggermodus und den Triggerpegel.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende zur Nulllinie symmetrische dreieckförmige Spannung:

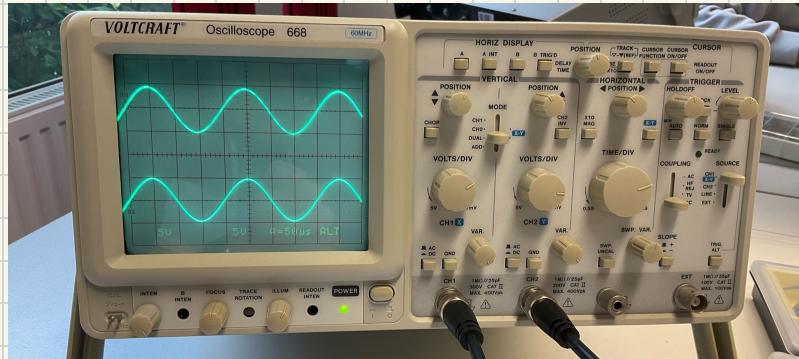
✓  $u(t) = \hat{u} \cdot \text{Dreieck}(f, t) = 5V \cdot \text{Dreieck}(f, t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Grundfrequenzen:

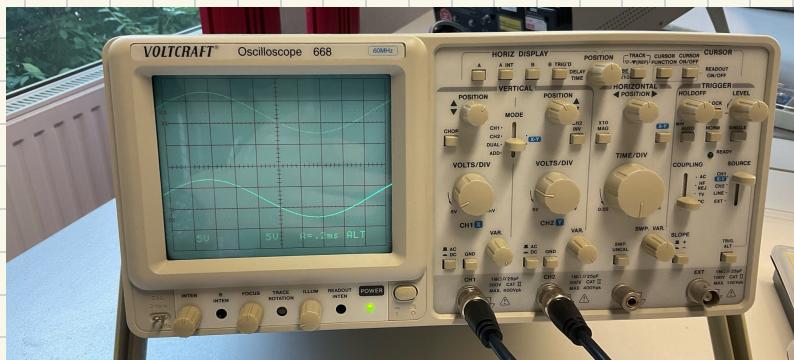
$f = 5kHz, 500Hz, 50Hz, 5Hz, 0,5 Hz$

Verändern Sie bei der Messung auch den Triggermodus und den Triggerpegel.

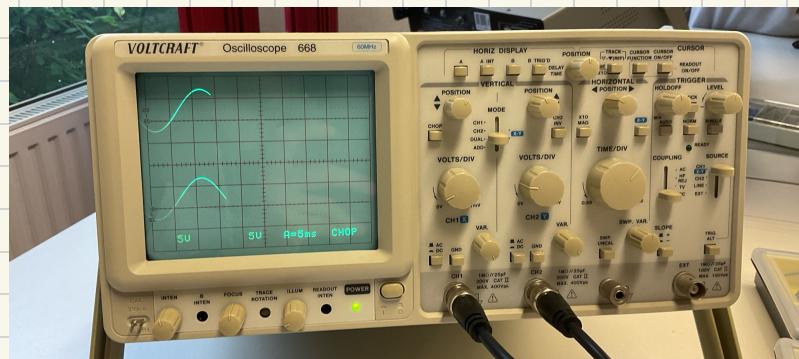
$5 \mu\text{Hz}$



$500 \text{ Hz}$



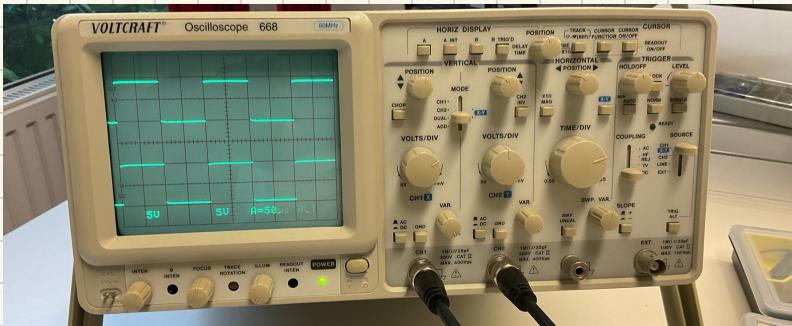
$50 \text{ Hz}$



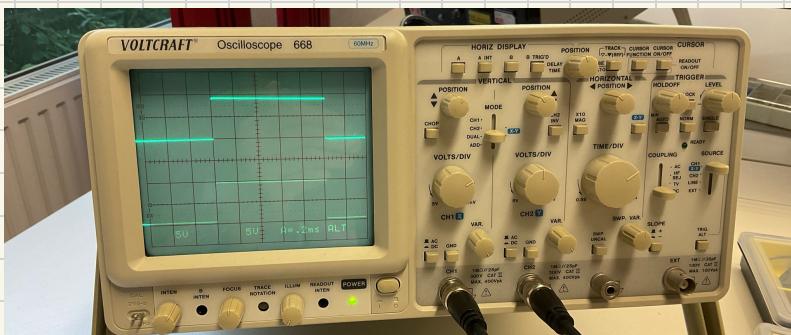
Frequenz ist zu klein,  
kein Bild kann erstellt  
werden

# Rechtecke

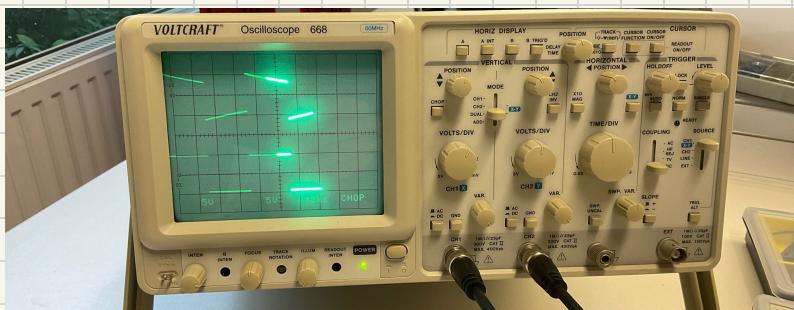
5 kHz



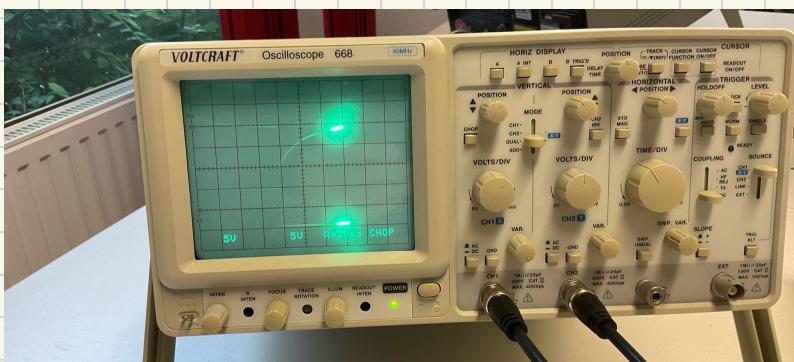
500 Hz



50 Hz

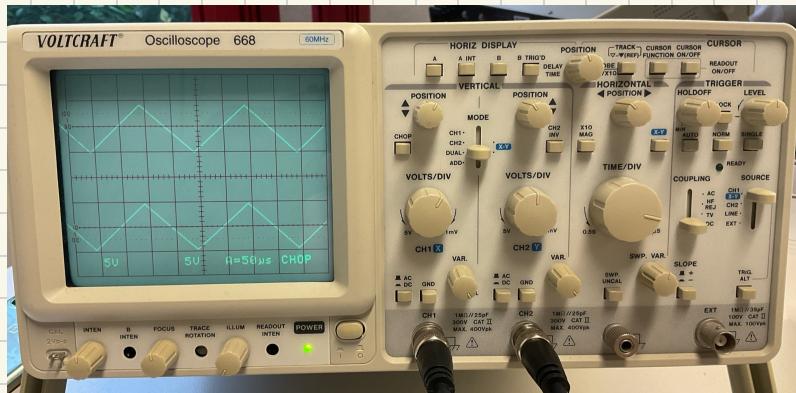


5 Hz

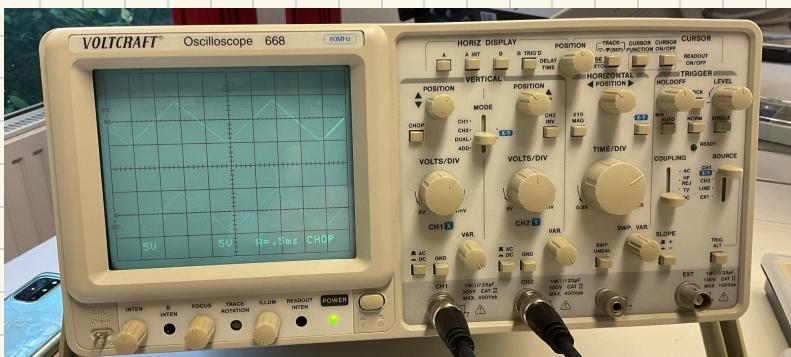


Dielectric

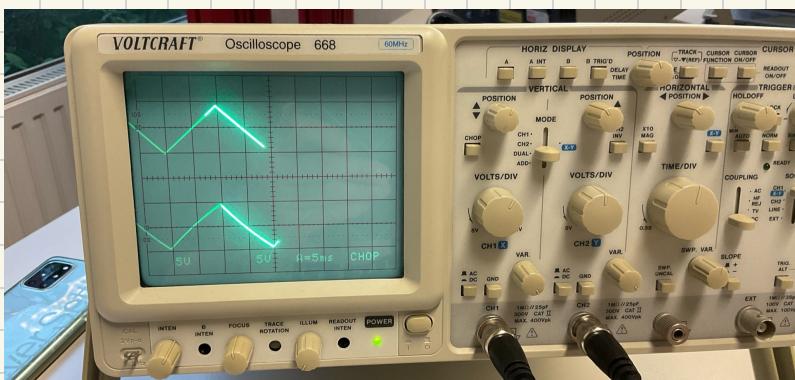
50Hz



500 Hz



50 Hz



## V1-B3 Messung von Mischsignalen

Verwenden Sie für die Messungen sowohl das digitale Speicheroszilloskop (DSO) als auch das analoge Oszilloskop. Die zu messenden Spannungssignale sind an beiden Oszilloskopen parallel anzuschließen.

Zur Generierung der Spannungssignale wird ein Funktionsgenerator mit der Quellenspannung  $u(t)$  verwendet.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem sinusförmigem Wechselanteil):

✓  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V + 5V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Frequenzen:

$f = 5\text{kHz}, 500\text{Hz}, 50\text{Hz}, 5\text{Hz}, 0,5\text{ Hz}$

Verändern Sie bei der Messung auch den Triggermodus und den Triggerpegel.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem sinusförmigem Wechselanteil):

✓  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V + 0,5V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Frequenzen:

$f = 5\text{kHz}, 500\text{Hz}, 50\text{Hz}, 5\text{Hz}, 0,5\text{ Hz}$

Verändern Sie bei der Messung auch den Triggermodus und den Triggerpegel.

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem sinusförmigem Wechselanteil):

○  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V + 0,5V \cdot \sin(2\pi \cdot 500\text{Hz} \cdot t)$

Bestimmen Sie aus den gemessenen Signalverläufen folgende Kenngrößen der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)

Maximalwert  $U_{\max}$

Minimalwert  $U_{\min}$

Spitze-Spitze-Wert  $U_{ss}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{pp}$ )

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem sinusförmigem Wechselanteil):

○  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) = U_0 + \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V + 0,5V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Frequenzen:

$f = 5\text{kHz}, 500\text{Hz}, 50\text{Hz}, 5\text{Hz}, 0,5\text{ Hz}$

Ermitteln Sie mit dem Oszilloskop unter Benutzung des Mathematik-Menüs folgende Kenngröße der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)



## (weiter: V1-B3 Messung von Mischsignalen)

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem rechteckförmigem Wechselanteil):

D  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \text{Rechteck}(f, t) = 5V + 0,5V \cdot \text{Rechteck}(500Hz, t)$

Bestimmen Sie aus den gemessenen Signalverläufen folgende Kenngrößen der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)

Maximalwert  $U_{\max}$

Minimalwert  $U_{\min}$

Spitze-Spitze-Wert  $U_{ss}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{pp}$ )

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem rechteckförmigem Wechselanteil):

✓  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \text{Rechteck}(f, t) = 5V + 0,5V \cdot \text{Rechteck}(f, t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Grundfrequenzen:

$f = 5kHz, 500Hz, 50Hz, 5Hz, 0,5 Hz$

Ermitteln Sie mit dem Oszilloskop unter Benutzung des Mathematik-Menüs folgende Kenngröße der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem dreieckförmigem Wechselanteil):

✓  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \text{Dreieck}(f, t) = 5V + 0,5V \cdot \text{Dreieck}(500Hz, t)$

Bestimmen Sie aus den gemessenen Signalverläufen folgende Kenngrößen der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil),

Maximalwert  $U_{\max}$

Minimalwert  $U_{\min}$

Spitze-Spitze-Wert  $U_{ss}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{pp}$ )

Oszilloskopieren Sie sowohl bei einer DC-Eingangskopplung (Kanal 1) als auch bei einer AC-Eingangskopplung (Kanal 2) die folgende Mischsignal-Spannung (Gleichspannung mit überlagertem dreieckförmigem Wechselanteil):

✓  $u(t) = U_0 + \hat{U} \cdot \text{Dreieck}(f, t) = 5V + 0,5V \cdot \text{Dreieck}(f, t)$

Verwenden Sie dabei unterschiedliche Grundfrequenzen:

$f = 5kHz, 500Hz, 50Hz, 5Hz, 0,5 Hz$

Ermitteln Sie mit dem Oszilloskop unter Benutzung des Mathematik-Menüs folgende Kenngröße der Mischsignal-Spannung  $u(t)$ :

arithmetischer Mittelwert  $U$  (Gleichanteil)





## V1-B4 Oszilloskop mit passivem Tastkopf

Verwenden Sie bei den nachfolgenden Messungen sowohl das digitale Speicheroszilloskop (DSO) als auch das analoge Oszilloskop. Für die Messungen stehen zwei passive Tastköpfe zur Verfügung. Schließen Sie an den beiden Oszilloskopen jeweils am Kanal 1 den passiven Tastkopf an und achten Sie auf DC-Eingangskopplung.

- ✓ Gleichen Sie zunächst die beiden Tastköpfe ab.

Zur Signalgenerierung wird ein Funktionsgenerator mit folgender Quellenspannung  $u(t)$  verwendet:

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

Die Quellenspannung  $u(t)$  wird an beiden Oszilloskopen jeweils direkt (Kanal 2, DC-Eingangskopplung) angeschlossen und parallel dazu jeweils mit dem Tastkopf (Kanal 1, DC-Eingangskopplung) abgegriffen. Oszilloskopieren Sie mit beiden Oszilloskopen die beiden Signalverläufe (Kanal 1 und Kanal 2). Verändern Sie für die Messung die Frequenz  $f$  der Quellenspannung  $u(t)$  im Bereich  $f=10\text{Hz}\dots1\text{MHz}$ . Beobachten Sie die Spannungsverläufe.

Verstimmen Sie die Tastköpfe derart, dass der eine Tastkopf überkompensiert und der andere Tastkopf unterkompensiert ist.

Wiederholen Sie die Messung unter Verwendung der verstimmten Tastköpfe. Beobachten Sie einerseits die Spannungsverläufe, die mit dem überkompensierten Tastkopf gemessen werden, und andererseits die Spannungsverläufe, die mit dem unterkompensierten Tastkopf gemessen werden



## V1-B5 Passiver Einweggleichrichter

Die nachfolgenden Messungen erfolgen sowohl mit dem digitalen Speicheroszilloskop (DSO) als auch parallel mit dem analogen Oszilloskop. Die zu messenden Spannungssignale sind an beiden Oszilloskopen parallel anzuschließen.

Für die Messungen am Einweggleichrichter stehen ein Funktionsgenerator mit der Quellenspannung  $u(t)$ , ein Spannungsübertrager und ein Messwiderstand  $R_M=1\text{k}\Omega$  zur Verfügung.  $u_E(t)$  ist die Eingangsspannung und  $u_A(t)$  ist die Ausgangsspannung des passiven Einweggleichrichters.

Bauen Sie die Schaltung derart auf, dass am passiven Einweggleichrichter folgende Eingangsspannung  $u_E(t)$  anliegt:

$$u_E(t) = \hat{u}_E \cdot \sin(\omega \cdot t) = \hat{u}_E \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = 5V \cdot \sin(2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot t) = u(t)$$

Beobachten Sie die Ausgangsspannung  $u_A(t)$  in Abhängigkeit des variablen Lastwiderstandes  $R_{var}$ . Oszilloskopieren Sie hierfür  $u_E(t)$  und  $u_A(t)$ .

Beobachten Sie den arithmetischen Mittelwert  $U_A$  (Gleichanteil) und den Spitze-Spitze-Wert  $U_{Ass}$  (Peak-Peak-Wert  $U_{App}$ ) der Ausgangsspannung  $u_A(t)$  in Abhängigkeit des variablen Lastwiderstandes  $R_{var}$ . Messen Sie mit dem Oszilloskop  $U_A$  und  $U_{Ass}$ .

Beobachten Sie die Diodenspannung in Durchlassrichtung  $u_D(t)$  in Abhängigkeit des variablen Lastwiderstandes  $R_{var}$ . Oszilloskopieren Sie hierfür  $u_D(t)$ .

Modifizieren Sie die Schaltung derart, dass sowohl die Diodenspannung in Durchlassrichtung  $u_D(t)$  als auch der Diodenstrom  $i_D(t)$  (dieser ist identisch dem Eingangsstrom des Einweggleichrichters) gleichzeitig mit dem Oszilloskop dargestellt werden kann (Strom „oszilloskopieren“).

Beobachten Sie die Diodenspannung in Durchlassrichtung  $u_D(t)$  und den Diodenstrom  $i_D(t)$ . Oszilloskopieren Sie hierfür die zeitlichen Verläufe  $u_D(t)$  und  $i_D(t)$ . Verändern Sie für die Messung die Frequenz  $f$  der Quellenspannung  $u(t)$  im Bereich  $f=1\text{Hz}...50\text{Hz}$ .

Oszilloskopieren Sie die Diodenkennlinie  $i_D=f(u_D)$ . Verändern Sie für die Messung die Frequenz  $f$  der Quellenspannung  $u(t)$  im Bereich  $f=1\text{Hz}...50\text{Hz}$ .

## V1-B6 Messung von verschiedenfrequenten Signalen

Die nachfolgenden Messungen erfolgen sowohl mit dem digitalen Speicheroszilloskop (DSO) als auch parallel mit dem analogen Oszilloskop. Die zu messenden Spannungssignale sind an beiden Oszilloskopen parallel anzuschließen.

Für die Messungen stehen zwei verschiedenfrequente Spannungssignale  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  zur Verfügung. Die Spannung  $u_x(t)$  wird am Drehstromsystem mit  $U_N=10V$  (!!! Kleinspannung) und  $f_{Netz}=50Hz$  abgegriffen ( $u_x(t)=u_{Netz}(t)$ ). Die Spannung  $u_y(t)$  wird bei veränderbarer Amplitude  $\hat{u}_y$  und veränderbarer Frequenz  $f_y$  durch den Funktionsgenerator mit der Quellenspannung  $u(t)$  zur Verfügung gestellt ( $u_y(t)=u(t)$ ).

Stellen Sie folgende Eingangsspannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  ein:

$$u_x(t) = \hat{u}_x \cdot \sin(\omega_x \cdot t) = \hat{u}_x \cdot \sin(2\pi \cdot f_x \cdot t) = \hat{u}_{Netz} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{Netz} \cdot t) = \hat{u}_{Netz} \cdot \sin(2\pi \cdot 50Hz \cdot t) = u_{Netz}(t)$$
$$u_y(t) = \hat{u}_y \cdot \sin(\omega_y \cdot t + \varphi_y) = \hat{u}_y \cdot \sin(2\pi \cdot f_y \cdot t + \varphi_y) = u(t)$$

Oszilloskopieren Sie die Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  als Signalverläufe über der Zeit. Beobachten Sie die Spannungen in Abhängigkeit von  $\hat{u}_y$  und  $f_y$ .

Oszilloskopieren Sie die Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  im x-y-Betrieb. Die Spannung  $u_x(t)$  wird an der x-Ablenkung und die Spannung  $u_y(t)$  an der y-Ablenkung des Oszilloskops angeschlossen. Beobachten Sie die dabei entstehenden Lissajous-Figuren in Abhängigkeit von  $\hat{u}_y$  und  $f_y$ .

Oszilloskopieren Sie die Spannungen  $u_x(t)$  und  $u_y(t)$  im x-y-Betrieb. Verwenden Sie identische Spannungsamplituden  $\hat{u}_y=\hat{u}_x$  und stellen Sie eine Frequenz  $f_y=3 \cdot f_x=3 \cdot f_{Netz}=3 \cdot 50Hz=150Hz$  ein. Sorgen Sie durch eine Feinjustierung der Frequenz  $f_y$  dafür, dass die Lissajous-Figur zeitlich stabil ist.

## V1-B7 Filterglied 1. Ordnung

Die nachfolgenden Messungen erfolgen sowohl mit dem digitalen Speicheroszilloskop (DSO) als auch parallel mit dem analogen Oszilloskop. Die zu messenden Spannungssignale sind an beiden Oszilloskopen parallel anzuschließen.

Für die durchzuführenden Messungen stehen zwei unterschiedliche Filterglieder 1. Ordnung zur Verfügung.  $u_E(t)$  ist die Eingangsspannung und  $u_A(t)$  ist die Ausgangsspannung am Filterglied. Unter Verwendung eines Funktionsgenerators mit der Quellenspannung  $u(t)$  können für die Eingangsspannung  $u_E(t)$  verschiedene Signalverläufe generiert werden.

Führen Sie die nachfolgenden Messungen jeweils für jedes der beiden Filterglieder durch.

Oszilloskopieren Sie die Eingangsspannung  $u_E(t)$  und die Ausgangsspannung  $u_A(t)$ . Ermitteln Sie die Sprungantwort des Filtergliedes und bestimmen Sie daraus die Anstiegszeit  $T_a$  bzw. die Abfallszeit  $T_d$  des Filtergliedes.

Oszilloskopieren Sie die Eingangsspannung  $u_E(t)$  und die Ausgangsspannung  $u_A(t)$ . Ermitteln Sie daraus den Frequenzgang des Filtergliedes. Bestimmen Sie aus den Messungen die untere Grenzfrequenz  $f_{gu}$ , die obere Grenzfrequenz  $f_{go}$  und die Bandbreite  $B$  des Filtergliedes.

Diskutieren Sie unter Verwendung der im Zeitbereich  $t$  und der im Frequenzbereich  $f$  ermittelten Kenngrößen die Filtereigenschaften.

## Praktikum Elektrische Messtechnik

### - Testatblatt -

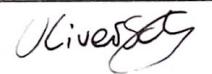
**Versuch:**  
1

**Thema:**  
Oszilloskopmesstechnik

**Gruppe:**  
54

**Versuchstag:**  
19.10.23

<b>Namen:</b>	<b>Matr. Nr.:</b>	<b>Unterschrift:</b>	<b>Vortestat:</b>
Yaman Alsaady	7023554		19.10.23 J.A.A.

Oliver Schmidt	7023462		19.10.23 J.A.A.
----------------	---------	--	--------------------

--	--

--	--

**Haupttestat:**

# 4

## Übungen mit dem Oszilloskop

Versuchsziel: Beherrschung aller wichtiger Grundfunktionen eines Oszilloskops.

Ferner: Genauigkeit, Triggerempfindlichkeit, Mehrkanalbetrieb, Einfluß der Bandbreite, Tastkopfteiler.

### 1. Überblick

Mit einem üblichen mittelwert- oder effektivwertmessenden Meßgerät können keine schnell veränderlichen Signale in überschaubarer Form dargestellt werden. Zu diesem Zweck dient das Oszilloskop (Oszillograf). Dabei wird als Wandler vom elektronischen Signal zum optischen Bild der Schirm einer Elektronenstrahlröhre benutzt.

Der Elektronenstrahl wird praktisch trägeheitslos durch die zu messende Signalspannung in Vertikalrichtung, sowie mit einer der Zeit proportionalen Spannung in Horizontalrichtung gesteuert (abgelenkt) und "zeichnet" während der Strahlablenkzeit den entsprechenden Signalausschnitt auf den Bildschirm. Bei periodischen Signalen kann dieser Vorgang synchron zur Signalperiode wiederholt werden, um so ein stehendes Bild zu erhalten.

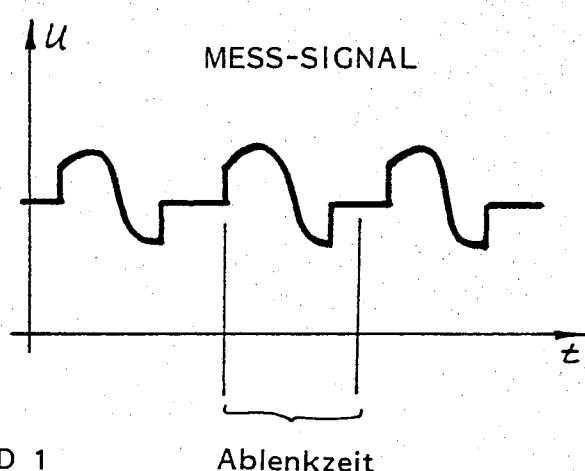
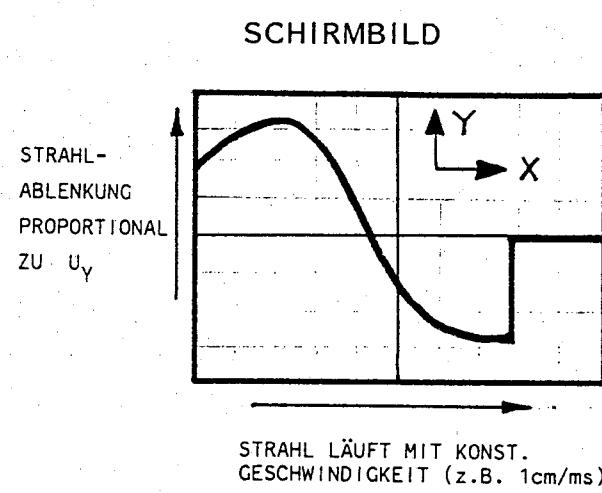


BILD 1

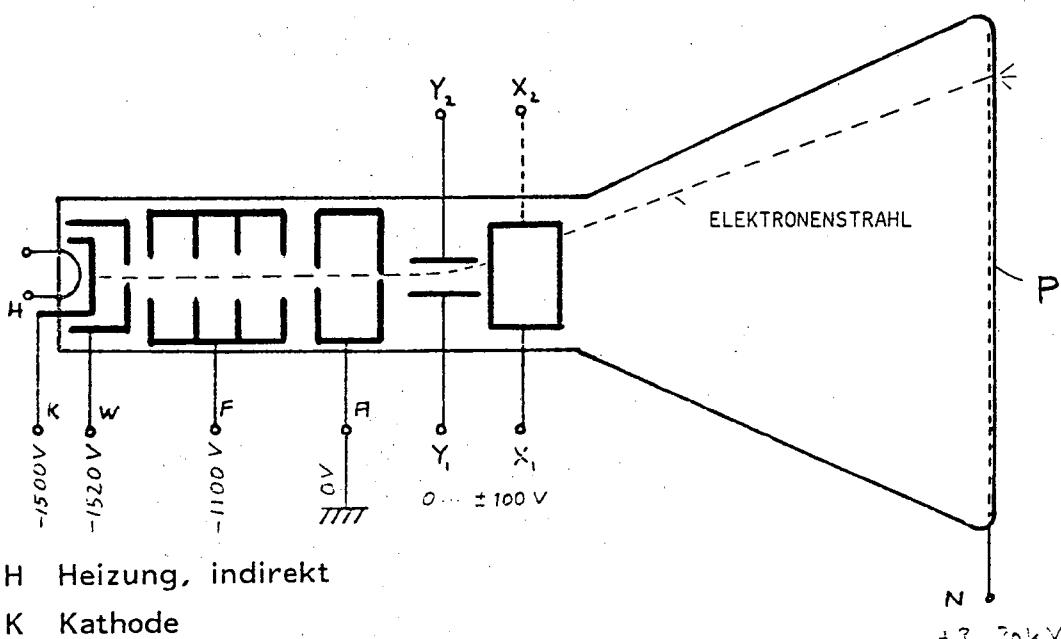


Anstelle der zeitproportionalen Horizontal-Spannung  $U_x$  kann auch eine beliebige andere Spannung  $U_x(t)$  angelegt werden. Das Oszilloskop arbeitet dann im x-y-Betrieb und auf dem Bildschirm wird  $U_y = f(U_x)$  dargestellt.

## 2. Die Elektronenstrahlröhre

Die Elektronenstrahlröhre enthält in einem luftleeren Glasgefäß mehrere Baugruppen (Bild 2). Aus der aufgeheizten Kathode tritt ein Elektronenstrom aus, dessen Intensität und Bündelung durch die negative Spannung des Wehneltzylinders beeinflußt wird. Weitere Elektroden sorgen für eine zusätzliche Bündelung des Strahles (elektronische Linse, Veränderung des Brennpunktes-Fokussierung). Durch die Blende in der Anode erreicht der größte Teil der Elektronen den Schirm, dessen Leuchtstoff zur Lichtemission angeregt wird.

BILD 2: AUFBAU DER ELEKTRONENSTRAHLRÖHRE



H Heizung, indirekt

K Kathode

W Wehneltzylinder (Helligkeit)

F Fokuselektrode (Schärfe)

A Anode

X Horizontale Ablenkplatten

Y Vertikale Ablenkplatten

N Nachbeschleunigungs elektrode (Graphitschicht)

P Phosphorschirm

Legt man an die gegenüberliegenden Platten des Ablenksystems eine Spannung, so wird der Elektronenstrahl durch die Einwirkung des elektrischen Feldes im Bereich der Platten von seiner geradlinigen Bahn abgelenkt. Der Leuchtpunkt erscheint nicht mehr in der Schirmmitte. Die Auslenkung ist der angelegten Spannung proportional.

Durch die orthogonal angeordneten Plattensysteme (Y-X-Achse) ist senkrechte und waagrechte Ablenkung möglich. Jeder Punkt des Schirmes ist erreichbar. Die geringe Trägheit des Elektronenstrahles und die Darstellungsmöglichkeit in kartesischen Koordinaten macht diese Geräte zum idealen Anzeige- und Meßinstrument.

Um eine möglichst hohe Ablenkempfindlichkeit zu erreichen, wird vor dem Bildschirm eine Nachbeschleunigselektrode angebracht. Für eine größere Ablenkempfindlichkeit ist es nämlich günstig, wenn die Elektronen das Ablenkfeld mit niedriger Geschwindigkeit  $v_{ZA}$  durchfliegen. Auf dem Bildschirm sollen sie dagegen mit möglichst großer Geschwindigkeit auftreffen, weil die Bildhelligkeit proportional der kinetischen Energie  $\frac{1}{2} m_e v_z^2$  und der Elektronenstromdichte (= Zahl der Elektronen je Flächen- und Zeiteinheit) ist. Die Strahlstromdichte lässt sich nicht beliebig erhöhen, weil bei hohen Strahlstromdichten die abstoßende Wirkung der Elektronen den Strahl aufweitet und damit den Bildpunkt defocusiert. Daraus ergibt sich für hohe Schreibgeschwindigkeiten die Notwendigkeit einer Nachbeschleunigung nach der Ablenkung, z.B. von  $v_{ZA} = \frac{1}{5} c$  auf  $v_{zn} = \frac{1}{2} c$  mit einer Nachbeschleunigungsspannung  $U_n \approx 3 \dots 30$  kV.

Zur Anpassung der Eingangsspannung an die benötigte Ablenkspannung der Platten werden Spannungsteiler oder Verstärker vorgeschaltet. Die Eigenschaften dieser Geräte sind ausschlaggebend für die Qualität des Oszilloskops. Der Frequenzgang soll im ganzen Arbeitsbereich möglichst linear sein und auch den Betrieb mit Gleichspannung zulassen (untere Grenzfrequenz Null).

Als besondere Ausführungen von Elektronenstrahlröhren sind die Zweistrahlröhre und die Speicherröhre zu nennen. Die Zweistrahlröhre besitzt zwei getrennte Kathoden, deren Elektronenstrahlen durch ein gemeinsames X-Ablenkplattenpaar und zwei unabhängige Y-Plattenpaare abgelenkt werden können. Damit lassen sich zwei Signale gleichzeitig auf dem Bildschirm darstellen. Gebräuchlicher ist jedoch die gemeinsame Darstellung zweier oder mehrerer unabhängiger Signale durch eine Einstrahlröhre, die über zwei bzw. mehrere Kanäle mit geeigneten Umschaltverfahren angesteuert wird.

Eine spezielle Ausführung von Oszilloskopen sind die Speicher-ozilloskope. Beim sog. Analogspeicher-Oszilloskop kann auf einem besonderen Bildschirm der Speicherröhre eine einmal geschriebene Spur gespeichert werden. Beim Digitalspeicher-Oszilloskop wird das zu messende Signal abgetastet, analog-digital gewandelt und in einem digitalen Halbleiterspeicher gespeichert. Der Speicherinhalt kann nun zyklisch ausgelesen und über einen Digital-Analog-Wandler auf einer normalen Bildröhre sichtbar gemacht werden.

### 3. Blochschaltbild

Bild 3 zeigt das Blochschaltbild eines Zweikanal-Oszilloskops (Dual Channel). Die wichtigsten Funktionselemente sind:

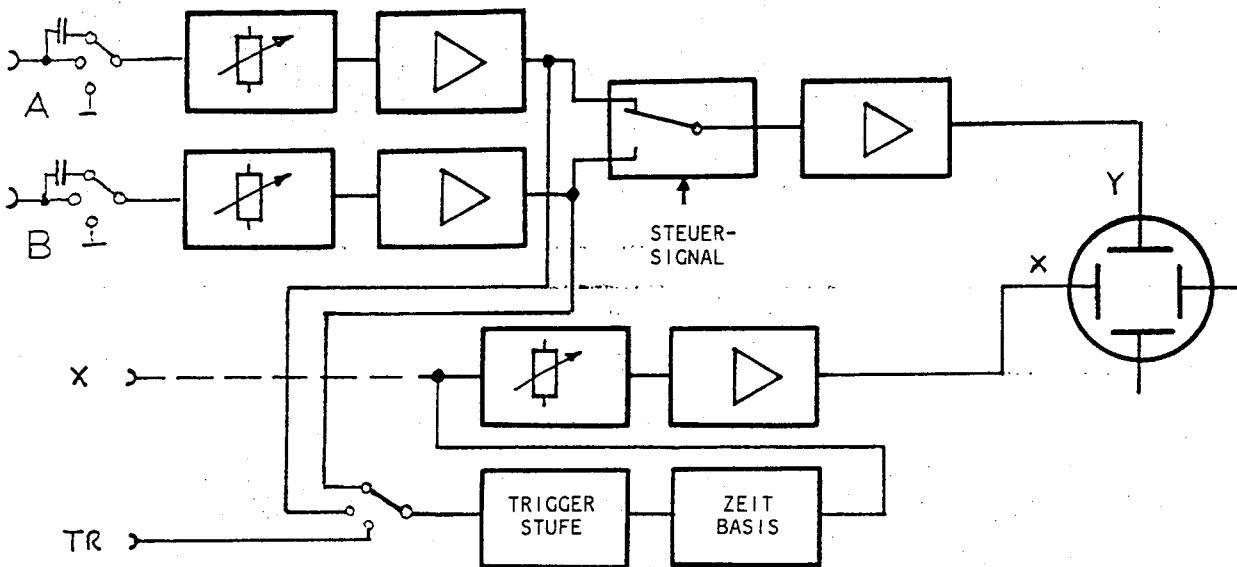
1. Elektronenstrahlröhre (CRT = cathode ray tube)
2. Y-Verstärker (vertical amplifier)
3. Laufzeit-Leitung (delay line)
4. Triggerschaltung (trigger circuit)
5. Zeitbasisgenerator (time base generator)
6. X-Verstärker (time base amplifier)
7. Kanalumschalter

Dazu kommen noch weitere Funktionsgruppen, wie die Einstellung von Helligkeit und Strahlschärfe, die Strahlverschiebung, die Unterdrückung des Strahlrücklaufs, die Spannungsversorgung, der Kalibrier Generator usw.

Die Position des Leuchtflecks auf dem Schirm der Elektronenstrahlröhre wird von der Spannung an den vertikalen (Y) und horizontalen (X) Ablenkplatten gesteuert. An die horizontalen Platten wird eine Sägezahnspannung angelegt, deren Start von dem darzustellenden Signal ausgelöst wird. Die Zeitauflösung auf dem Schirm (cm/s) ist das Produkt aus der Steigung des Sägezahns ( $V/s$ ) und der Ablenkempfindlichkeit  $a$  ( $cm/V$ ). An die horizontalen Platten wird das darzustellende Signal  $U_y$  gelegt.

Die Triggerschaltung leitet aus dem Vertikalsignal einen Startimpuls für den Zeitbasisgenerator ab, der daraufhin einen sehr linearen Sägezahn mit einstellbarer Steigung abgibt. Der Fußpunkt des Sägezahns ist unvermeidlich gegenüber dem Triggerplus etwas verzögert. Um diese Verschiebung auszugleichen, verzögert eine Laufzeitleitung das Vertikalsignal  $U_y$  noch etwas mehr, so daß das Zeitfenster des Schirmbildes schon kurz vor dem Triggerpunkt beginnt.

BILD 3: BLOCKSCHALTBILD EINES ZWEIKANALOSZILLOSKOPS



#### 4. Der Vertikalverstärker

Bei direktem Anschluß an den Platten liefern moderne Elektronenstrahlröhren eine Ablenkempfindlichkeit  $a \approx 0,2 \text{ cm/V}$  und eine Bandbreite  $f_B \approx 1 \text{ GHz}$ . Nach der Faustformel

$$\text{Anstiegszeit} \cdot \text{Bandbreite} \approx 0,35$$

beträgt die Eigenanstiegszeit etwa 500 ps. Bei Signalen mit einer Anstiegszeit von einigen ns werden die Flanken praktisch unverzerrt wiedergegeben.

Der direkte Anschluß an die Ablenkplatten hat zwei wesentliche Nachteile:

- 1) Bei kleinen Signalspannungen ist die Strahlablenkung ( $\approx 1 \text{ cm}/5 \text{ V}$ ) zu klein
- 2) Das Verbindungskabel zu den Platten muß dort mit seinem Wellenwiderstand  $Z_L$  abgeschlossen werden, damit keine Reflexionsverzerrungen auftreten können. Der Eingangswiderstand des Kabels, bei Abschluß gleich dem Wellenwiderstand  $Z_L$ , belastet die Signalquelle niederohmig (typisch  $Z_L=50 \Omega$ )

Beide Nachteile vermeidet man durch die Zwischenschaltung eines Vertikalverstärkers mit großem Eingangswiderstand, wodurch sich allerdings die Eigenanstiegszeit verschlechtert. Technischer Stand sind heute Vertikalverstärker mit einer Eigenanstiegszeit von 0,5 ns. Die Eingangsimpedanz beträgt etwa  $1 \text{ M} \parallel 20 \text{ pF}$ . Man beachte, daß für hohe Frequenzanteile die kapazitive Komponente bestimmt wird ( $1/\omega C = 80 \Omega$  bei  $\omega = 2\pi \cdot 100 \text{ MHz}$ ).

Die endliche Bandbreite bzw. die Eigenanstiegszeit des Vertikalverstärkers läßt sich bei der Messung von Impulsflanken wie folgt berücksichtigen:

$$T_0 \approx \frac{0,35}{B}$$

$$T_{\text{ges}}^2 \approx T_s^2 + T_0^2$$

B Bandbreite des Vertikalsystems

$T_0$  Eigenanstiegszeit des Vertikal-

systems

$T_s$  Anstiegszeit der Signalfanke

$T_{\text{ges}}$  Anstiegszeit des dargestellten

Signalbilds

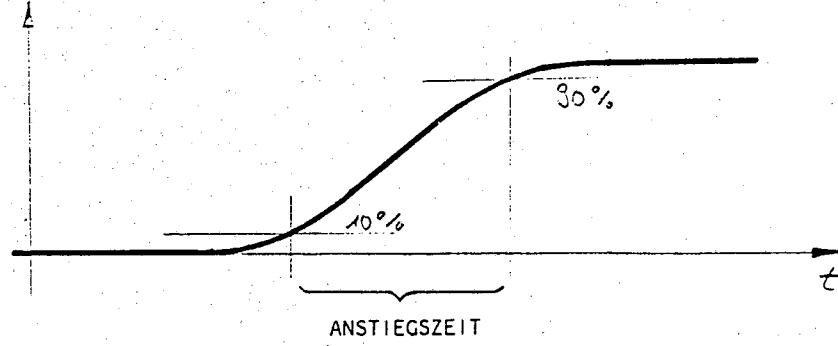


BILD 4

## 5. Darstellmöglichkeiten bei mehreren Kanälen

- a) CH1 (CH2)  
(Channel) nur Kanal 1 (nur Kanal 2)
- b) ALT (Alternate) am Ende jeder Ablenkung wird der Verstärker-ausgang von CH1 auf CH2 umgeschaltet und umgekehrt.
- c) CHOP (Chopped) Während der Ablenkung werden die Kanäle mit einer Frequenz von etwa 1 MHz abwechselnd auf den Ausgang zu den Y-Platten geschaltet (vgl. Bild 5). Bei langsamem Vorgängen, bei denen die zeitliche Aufeinanderfolge der Strahlen für das Auge störend wird, ist "CHOP" gegenüber "ALT" vorzuziehen. Bei langsam retierenden, schnell ablaufenden Vorgängen stören bei "CHOP" die Umschaltlücken. Hier empfiehlt sich "ALT". Allerdings muß man bei "ALT" bedenken, daß die bei den Strahlen in aufeinanderfolgenden Ablenkzyklen geschrieben werden und daher nicht streng zeitsimultan sind.
- d) ADD (Added) Die Summe beider Signale wird ständig auf den Ausgang geschaltet.  
Zusammen mit der "INVERT"-tierung eines Signal kann statt der Summe auch die Differenz gebildet werden.

## 6. Triggerschaltung und Zeitbasisgenerator

### Prinzip

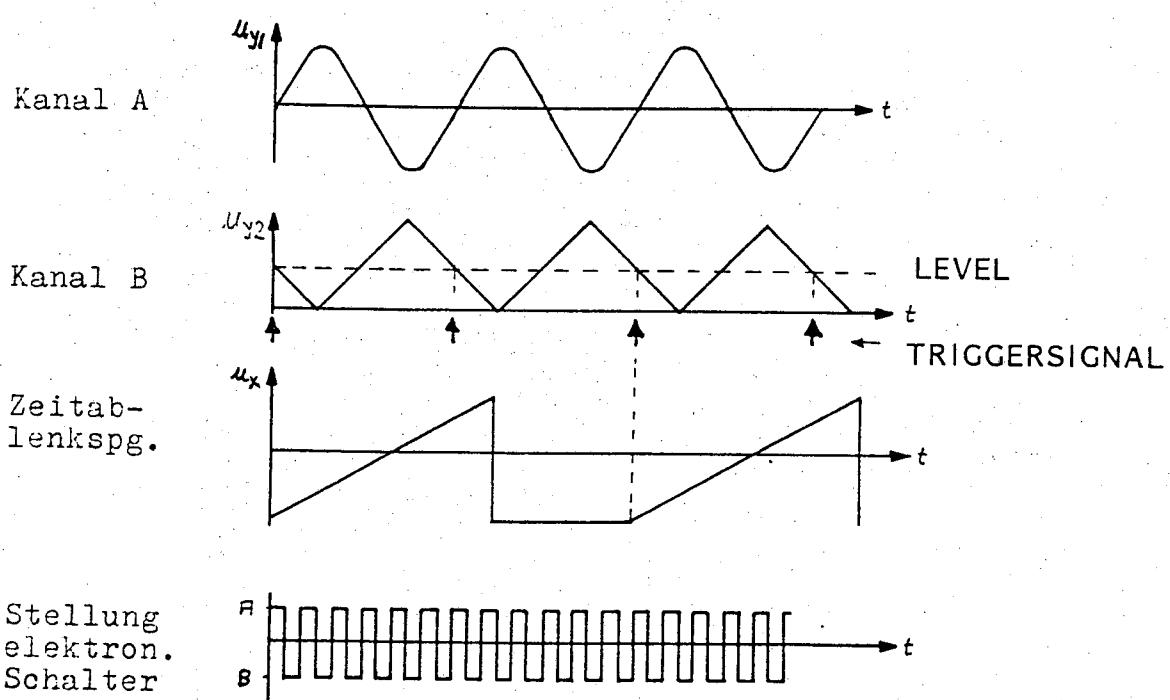
Um ein stabiles Schirmbild zu erreichen, muß die Horizontal-Ablenkung (horizontal sweep) immer am gleichen Punkt des Vertikal-Signals starten. Dies erreicht man mit einem Komparator, der beim Durchgang des Vertikal-Signals  $U_y$  durch einen einstellbaren Pegel  $U_L$  (LEVEL) den Triggerpuls abgibt. Dabei wird noch nach der Richtung des Durchgangs unterschieden (Auslösung mit positiver oder negativer Flanke, pos. SLOPE/neg. SLOPE).

### Trigger-Modes

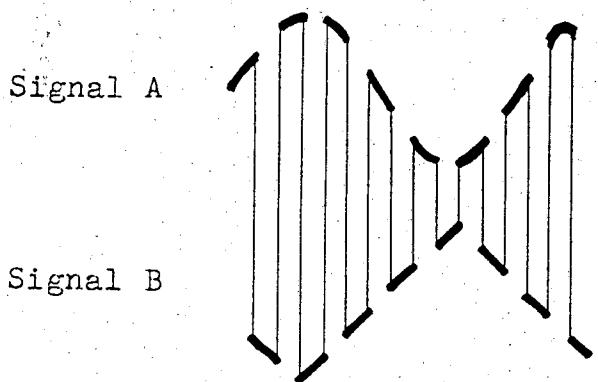
In "NORMAL MODE" startet der Zeitbasis-Generator unbedingt mit dem ersten Triggerpuls nach dem Strahlrücklauf. Wird kein Triggerpuls geliefert, weil der Triggerlevel das Signal nicht schneidet oder überhaupt kein Signal da ist, so bleibt der Schirm dunkel.

Der "AUTO MODE" ist eine Abwandlung des "NORMAL MODE". Er liefert immer ein Schirmbild. Hierzu wird der Zeitbasis-Generator entweder mit dem ersten Triggerpuls nach dem Strahlrücklauf gestartet oder automatisch nach Ablauf einer Wartezeit, wenn in die Wartezeit kein Triggerpuls gefallen ist. Bei Abwesenheit eines Signals wird dann die Null-Linie geschrieben.

BILD 5: BETRIEBSART **Chopped**



SIGNALVERLAUF IN BETRIEBSART "CHOPPED" BEI TRIGGERUNG  
AUF KANAL B



VERLAUF DES ELEKTRONENSTRAHLS AUF DEM SCHIRM

Die senkrechten Linien werden sehr schnell durchlaufen und sind i.a. nicht zu sehen. Die Nulllinien der beiden Bilder A und B sind hier durch die Einstellung POSITION voneinander getrennt worden.

Während eines Ablenkvorgangs findet ein häufiger Kanalwechsel statt, um ausreichend Auflösung zu erreichen, d.h.  $f_{Schalter} \gg f_{Signal}$ .

Bei "SINGLE SWEEP" wird nach dem "Scharfmachen" des Triggerkreises (RESET-Taste) mit dem nächsten Triggerpuls eine einmalige Ablenkung ausgelöst.

#### Trigger-Quelle (SOURCE)

Der Eingang des Triggerkreises kann auf verschiedene Quellen geschaltet werden.

Bei INT (ernal) Source wird im Oszilloskop des Vertikalsignal  $U_y$  an den Eingang des Triggerkreises gelegt. Bei mehreren Y-Kanälen kann ein Kanal als Triggerquelle ausgewählt werden. Bei 2 Y-Einschüben mit je 2 Kanälen (insgesamt 4 Y-Kanäle) erfolgt die Auswahl zweistufig. Zunächst wird der linke oder rechte Einschub ausgewählt (LEFT VERT oder RIGHT VERT), dann im Einschub der Kanal (CH 1 oder CH 2).

Bei EXT (ernal) Source wird eine äußere Buchse (TRIG IN) mit dem Eingang des Triggerkreises verbunden.

Bei LINE wird die abgeschwächte Netzspannung an den Eingang des Triggerkreises gelegt. Die mit der Netzfrequenz periodischen Signalanteile (Netzbrumm) liefern dann ein stehendes Bild und lassen sich so leicht von den nicht netzfrequenten Signalanteilen trennen.

#### Triggerkreis - Ankopplung (COUPLING)

Bei DC (=direct current, Gleichstromkopplung) ist die Triggerquelle direkt mit dem Eingang des Triggerkreises verbunden. Die anderen Ankopplungen bieten die Möglichkeit, das von der Triggerquelle gelieferte Signal durch Filterung im Frequenzbereich von Störsignalen zu befreien.

Bei AC (= alternate current) wird ein Hochpaß mit einer Grenzfrequenz von etwa 100 Hz zwischengeschaltet,

bei AC HF REJ (= high frequencies rejectet) ein Bandpaß mit einem Durchlaßbereich von etwa 100 Hz bis 50 kHz.

bei AC LF REJ (= low frequencies rejectet) ein Hochpaß mit einer Grenzfrequenz von etwa 50 kHz.

Mit AC kann man die Gleichstromkomponente des Triggersignals unterdrücken, mit AC LF REJ niedrfrequente Anteile bis etwa 50 kHz, z.B. Netzbrumm. Umgekehrt kann man mit AC HF REJ überlagerte hochfrequente Anteile, wie z.B. schmale Störimpulse unterdrücken.

### Spreizung eines Fensters mit 2 Zeitbasis-Generatoren

Bei vielen Oszilloscopen sind Triggerschaltung und Zeitbasis-Generator zweimal vorhanden (MAIN TIME BASE und DELAYED TIME BASE).

Hiermit wird es möglich, aus dem Schirmbild ein schmales Fenster herauszugreifen und mit wesentlich größerer Zeitauflösung darzustellen.

Als Beispiel nehmen wir an, daß uns von einem Signal  $u_2(t)$  ein  $1\mu s$  breites Fenster interessiert, das etwa  $100\mu s$  hinter der Vorderflanke eines Pulses  $u_1(t)$  liegt. In diesem Fall triggern wir den MAIN TRIGGER-Kreis extern mit der Vorderflanke von  $u_1(t)$  und wählen eine Ablenkgeschwindigkeit von  $20\text{ s/cm}$ . Das interessierende Fenster von  $u_2(t)$  beginnt also nach 5 cm Horizontalablenkung. In der Betriebsart "Intensified" wird der Sägezahn der Main-Time-Base mit einer mit dem "DELAY TIME MULTIPLIER"-Potentiometer einstellbaren Gleichspannung verglichen. Bei Gleichheit wird ein Startimpuls auf den "DELAYED TIME BASE"-Kreis gegeben, der entsprechend der Potentiometereinstellung gegenüber dem ersten Triggerplus verzögert ist.

Während des Ablaufs des verzögerten Sägezahnes wird der Strahl aufgehellt (intensified).

Das aufgehelle Fenster ist umso schmäler, je schneller der verzögerte Sägezahn gegenüber dem unverzögerten ist. Mit dem zweiten Drehknopf für die DELAYED TIME BASE kann die Zeitauflösung der DELAYED TIME BASE getrennt eingestellt werden, allerdings sinnvollerweise nur schneller als die Zeitablenkung der MAIN TIME BASE.

Wir wählen demnach für eine Fensterbreite von  $1\mu s$  als Zeitauflösung der verzögerten Zeitbasis  $0,1\mu s/\text{cm}$  und verschieben das aufgehelle Fenster in die gewünschte Position.

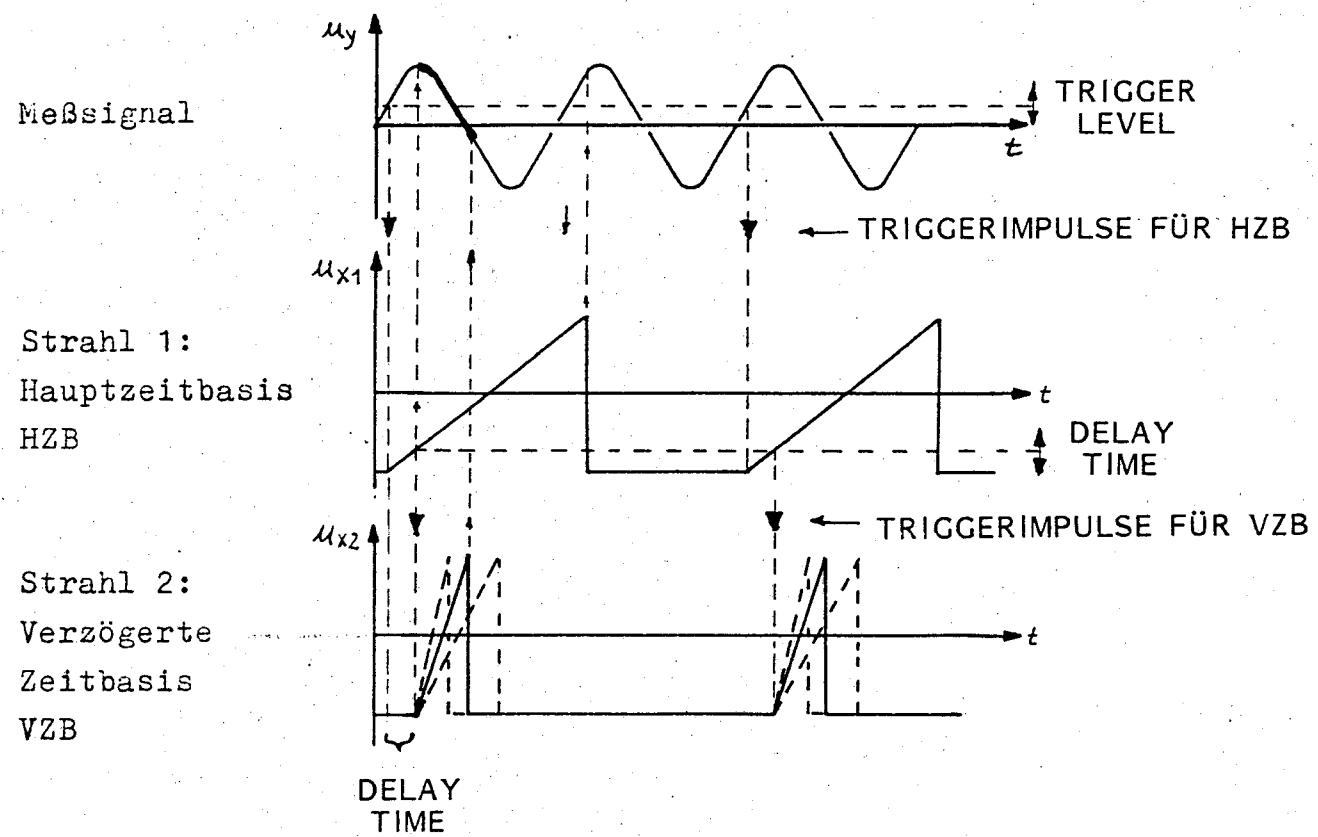
Nach dem Umschalten von der Hauptzeitbasis auf die verzögerte Zeitbasis in die Betriebsart "DELAYED" erscheint dann auf dem Schirm das ausgewählte Fenster mit der Zeitauflösung der "DELAYED TIME BASE".

Ist das Verhältnis Zeitauflösung MAIN TIME BASE und der Zeitauflösung der "DELAYED TIME BASE" sehr groß, so verschwimmt das Bild im gespreizten Fenster infolge des "Jitters" der Vergleicherschaltung. In diesem Fall ist es zweckmäßiger, mit dem Startpuls aus der Vergleicherschaltung die DELAYED TIME BASE nur scharf zu machen. Die endgültige Auslösung erfolgt durch den Ausgangspuls des "DELAYED TRIGGERING"-Kreises.

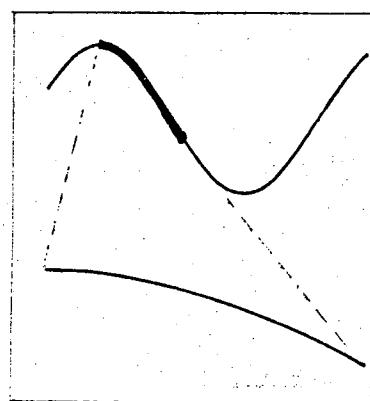
Bild 6 veranschaulicht die Funktion der verzögerten Zeitablenkung am Beispiel einer Sinusspannung.

BILD 6

VERZÖGERTE ZEITABLENKUNG (DELAY TIME BASE)



SCHIRMBILD



Strahl 1, abgelenkt von HZB mit Helltastung des Ausschnitts entsprechend VZB. Die Lage des hellgetasteten Zeitabschnitts kann nach der Skala der Delay-Time-Einstellung bestimmt werden.

Strahl 2, abgelenkt von VZB

Intensity	Helligkeit des Kathodenstrahls
Focus	Schärfe des Kathodenstrahls
Astigmatismus	Fähigkeit, einen nicht abgelenkten Elektronenstrahl als Punkt und nicht als verwaschenen Kreis darzustellen.
Beam Finder	Strahlsucher. Wird benutzt, um ein Signal, das sich außerhalb des vertikalen Bereiches befindet, leichter zurück auf den Schirm zu bringen.
Z-Mode	Helligkeitsmodulation des Elektronenstrahls: Anwendung z. B. in der Impulstechnik zur Sichtbarmachung eines zusätzlichen Impulszuges.
Dual Trace Oscilloscope	Zweikanal-Oszilloskop. Einstrahl-Oszilloskop mit 2 Kanälen und den Betriebsarten „Chopper“ und „Alternierend“.
Dual Beam Oscilloscope	Zweistrahlgoszilloskop. Bei dieser Art von Oszilloskopen stehen 2 unabhängige voneinander arbeitende Elektronenstrahlen zu Verfügung.
Chopper-Betrieb	Im Chopper-Betrieb wird ein elektronischer Schalter mit einer bestimmten Frequenz (meistens 250 kHz) ständig zwischen Kanal 1 und Kanal 2 umgeschaltet. In dieser Betriebsart kann nur unterhalb der angegebenen Chop-Frequenz gearbeitet werden. Ansonsten werden die Umschaltstellen sichtbar und eine Verfälschung des Signals ist möglich.
Alternierender Betrieb	In dieser Betriebsart wird jeweils nach einem Schirmdurchlauf auf den jeweils anderen Kanal umgeschaltet. Alternierender Betrieb wird bei Frequenzen oberhalb der Chop-Frequenz angewandt.
Sensitivity	Empfindlichkeit.
Time Base	Zeitbasis. Zum Einstellen des Zeitmaßstabes.
Level	Peilung
Eingangskopplung AC	Wechselspannungs-gekoppelter (RC)-Eingang
Eingangskopplung DC	Gleichspannungs-gekoppelter Eingang für Gleichspannungsmessungen.
GND – geerdet	Eingang wird auf Erde gelegt. Zum Eichen des Strahls auf die 0-Linie.
Invert Ch 2	Inversion von Kanal 2.
Signal Delay	Eingangssignal läuft über eine Verzögerungsleitung zur Sichtbarmachung steiler Anstiegsflanken.
Triggerung	Aufgabe des Triggers ist es, zwischen dem intern erzeugten Horizontal-Ablenkssägezahn eine Zeit- und Phasenbeziehung herzustellen und so eine stehende Darstellung des angelegten Signals zu erreichen.
Triggerkopplung AC	Phasentriggern (AC-gekoppelt).
Triggerkopplung DC	Triggerung erfolgt mit Signalen ab ca. 15 Hz. Triggerpegel wird auf den Trigger-einsatzpunkt auf der betreffenden Flanke des Signals eingestellt.
Triggerquelle	Pegeltrigger (gleichspannungs-gekoppelt).
Triggerquelle intern	Triggerung erfolgt mit allen Signalen ab Frequenz 0. Die DC-Triggerkopplung wird hauptsächlich zur Triggerung unregelmäßiger Impulsfolgen oder bei Signalen mit niedriger Frequenz angewandt.
Triggerquelle extern	Triggerquelle
Triggerquelle line	Das Triggersignal wird intern aus den Vertikalverstärkern von Ch 1 und Ch 2 ausgekoppelt. Gebräuchlichste Art der Triggerung.
TV-Trig.:	Triggersignal wird vom untersuchenden Netzwerk abgenommen und auf den Eingang „Extern Trigger“ gegeben. Signale können so stufenweise durch das entsprechende Netzwerk verfolgt werden, ohne daß der Trigger von neuem eingestellt werden müßte.
AC LF Rejection	Hier beträgt das Triggersignal 50 Hz.
AC HF Rejection	Fernseh-, Bild- und Zeilentriiger.
Trigger Delay	Unterdrückung niederfrequenter Triggersignalanteile mittels eines Hochpasses.
Single Shot	Unterdrückung hochfrequenter Triggersignalanteile mittels eines Tiefpasses.
TY-Betrieb	Triggerverzögerung.
XY-Betrieb	Zur Sichtbarmachung und Dehnung schmäler Impulse in einem Impulszug mit unterschiedlichen Tastverhältnissen.
Cal	Einzelkippauslösung des Triggers.
Uncal	Allgemein übliche Darstellung bei Oszilloskopen. Spannung als Funktion der Zeit.
Cal Out	Größe X als Funktion der Größe Y; z. B. Vergleich zweier Frequenzen (Lissajous).
Ramp Out	geeicht
	ungeeicht
	Eichausgang.
	Bei Oszilloskopen Rechtecksignal von meist 1 V/1 kHz – zum Abgleich von Tastköpfen.
	Ausgang, an dem der Sägezahn des Horizontalverstärkers anliegt.



## V1.1 Analog-Oszilloskop

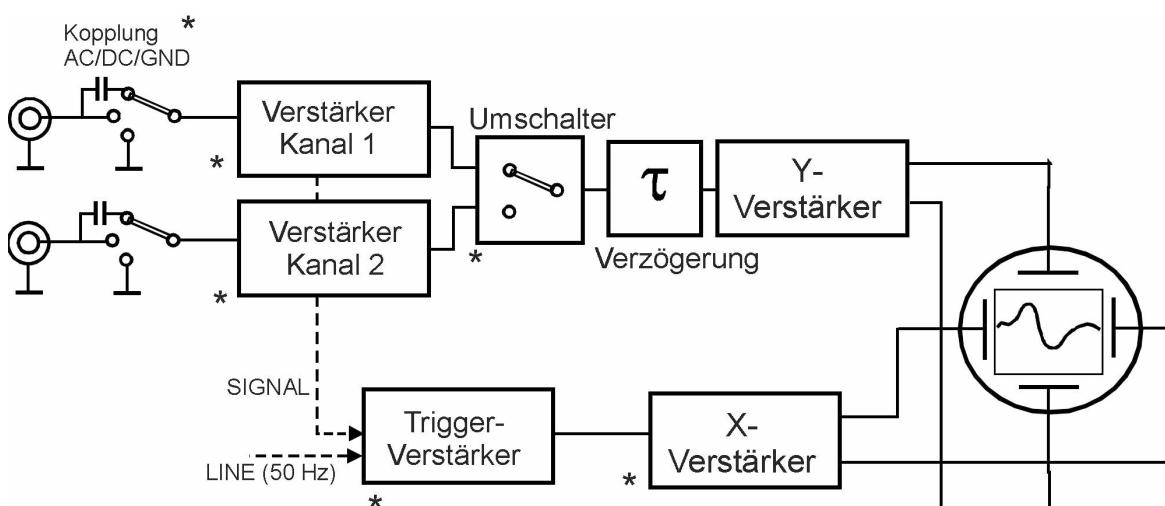
### 1. Theorie

Oszilloskope dienen hauptsächlich dazu, die Zeitfunktion  $U = f(t)$  von Signalen oder veränderlichen Spannungen sichtbar zu machen. Mit Einstellreglern für die Spannungshöhe (Y) und den Zeitmaßstab (X) kann ein geeigneter Darstellungsmassstab auf dem Schirm eingerichtet werden. Analoge Oszilloskope, die den Bildeindruck durch die Leuchtbeschichtung auf der Bildröhrevorderseite speichern, können nur periodisch wiederkehrende Vorgänge sichtbar machen („stehendes Bild“); digitale Speicher-Oszilloskope speichern den Spannungsverlauf in einem nichtflüchtigen Digitalspeicher und können daher auch einmalige Vorgänge über eine längere Zeit sichtbar machen. Häufig besitzen sie eine Rechnerschnittstelle, die es ermöglicht, das Schirmbild zu speichern und auszudrucken.

#### 1.1 Blockschaltbild eines analogen Oszilloskops

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines einfachen analogen Oszilloskops mit 2 Eingangskanälen.. Der Y-Verstärker hat am Eingang einen Umschalter für die Kopplung des Signalpfads: DC (engl. direct current, Gleichspannungskopplung), AC (engl. alternating current, Wechselspannungskopplung). Hier können die Gleichspannungsanteile von Mischspannungen abgetrennt werden. GND (engl. ground, Verbindung des Y-Eingangs mit dem Nullpotential zur Einstellung der Nullage des Strahlbildes). Der Eingangswiderstand des Verstärkers beträgt meistens  $1 \text{ M}\Omega$  und die Eingangskapazität  $10\ldots50 \text{ pF}$ . Beide Eingangskanäle haben ein gemeinsames Bezugspotential (Masse).

Für die Anpassung der Schirmbildes an die verschiedenen Meßsignalpegel ist ein umschaltbarer Spannungsteiler/Verstärker vorhanden, der in  $\text{mV/DIV}$  bzw.  $\text{V/DIV}$ , kalibriert ist. Meistens ist zusätzlich noch ein Potentiometer zur Feinabstimmung (Zwischenwerte, „nicht kalibriert“) vorhanden.



\* einstellbar

Abb. 1 : Prinzipschaltbild eines einfachen zweikanaligen Oszilloskops



Eine Verzögerungsleitung  $\tau$  ist zur Darstellung sehr steiler Impulsflanken erforderlich. Sie verzögert das Signal auf dem Weg zum Bildschirm um einige Mikrosekunden, so dass auch die gesamte vordere Flanke eines Impulses auf dem Schirmbild dargestellt werden kann, wenn sie eigentlich das Schirmbild im Triggerfunktionsblock erst gestartet bzw. ausgelöst hat.

Die Horizontalablenkung (X) kann umschaltbar 2 Funktionen erfüllen. Für die Darstellung der Zeitfunktion  $u = f(t)$  muss der Elektronenstrahl intern mit konstanter Geschwindigkeit in horizontaler Richtung (X) abgelenkt werden (YT-Betrieb). Die erzeugte Spannung hat eine Rampen- oder Sägezahnform. Bei der Koordinatendarstellung zweier Signalspannungen (XY-Betrieb) wird der X-Ablenkverstärker mit dem 2. Signaleingang verbunden.

An die im X- und Y-Kanal vorhandenen Verstärker müssen, wie an alle Messverstärker, besondere Anforderungen gestellt werden. Sie sollen vom Gleichspannungsbereich ( $f = 0 \text{ Hz}$ ) bis zu einer Maximalfrequenz von  $50..150 \text{ MHz}$  verzerrungsfrei und stabil über lange Zeit arbeiten. Es handelt sich hier um stark gegengekoppelte, rausch- und driftarme Gleichspannungsverstärker mit hoher Bandbreite und definiertem Übertragungsverhalten. Will man sie zur Untersuchung der Spannungsverläufe von Digitalschaltungen (Mikrorechner, PCs, Digitalschaltungen) einsetzen, muß die obere angegebene Grenzfrequenz des Oszilloskops mehrfach ( $3..5..x$ ) so hoch wie die Taktfrequenz der untersuchten Schaltung sein, um eine signalgetreue Abbildung zu erreichen.

## 1.2 Erzeugung des Schirmbildes

Im Bild 2 ist der Abbildungsvorgang eines intern getriggerten Oszilloskops dargestellt. Um ein „stehendes“ Bild zu erhalten, müssen gleiche Abschnitte des Signalverlaufs passend übereinander gezeichnet werden. Die Triggerschaltung (trigger engl. Auslöser) muß den Ablenkestrahl immer wieder an einer gleichen Stelle der Signalkurve auslösen. Die auslösende Höhe der Triggerspannung (trigger LEVEL)  $U_{Tr}$  kann mit einem Potentiometer auf einen positiven oder negativen Wert eingestellt werden (im Bild  $U_{Tr}$  positiv).

Außerdem kann auf ansteigender (+slope) oder fallender (-slope) Flanke getriggert werden (im Bild 2 +slope). Wenn die zu messende Spannung  $u_y(t)$  die Triggerschwelle  $U_{Tr}$  auf der eingestellten Flanke erreicht, wird ein Triggerimpuls abgegeben, der die Sägezahnspannung  $u_s(t)$  startet. Die Ablenkezeit/DIV. (Steigung des Sägezahns) wird mit dem Zeitmaßstabschalter, der z. B. in s/DIV.,  $\mu\text{s}/\text{DIV.}$  kalibriert ist, eingestellt. Auch hier ist häufig ein Potentiometer zur Feineinstellung (Stellung „nicht kalibriert“) vorhanden. Bis der nächste Auslösepunkt erreicht ist, wird der Elektronenstrahl dunkel getastet (Strahl-

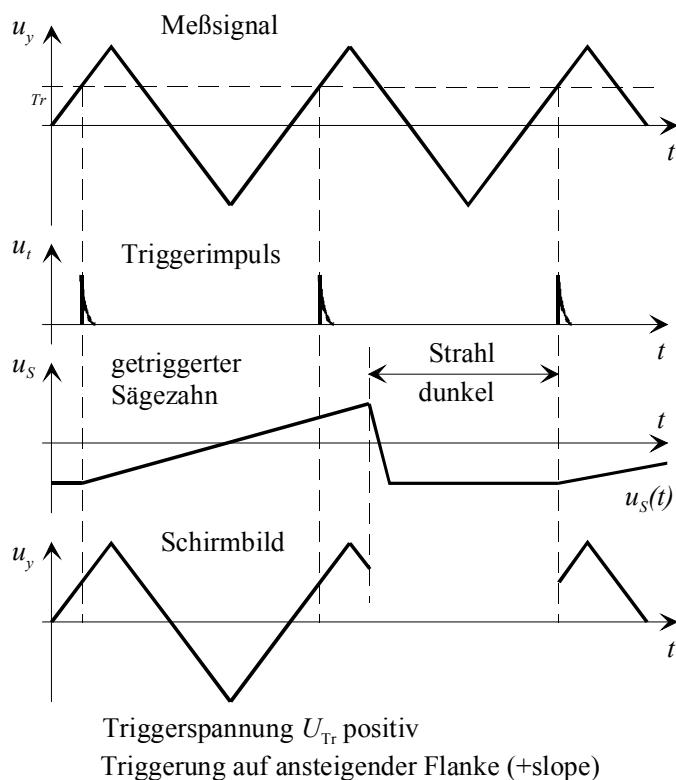
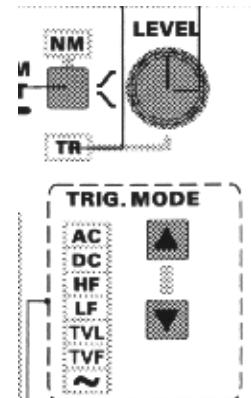


Abb. 2 Zeitverlauf der Ablenkspannung

Rücklauf).

Die Triggerung kann intern vom abgebildeten Eingangssignal  $y(t)$  abgeleitet werden, wahlweise von CH1 oder CH2, extern von einer anderen Signalquelle (EXTERN) oder auch von der Netzspannung (LINE ~) erfolgen. Diese Signal kann als Gleichspannung (DC), Wechselspannung (AC) oder gefiltert (HF, LF, TVL) an die Triggerschaltung angekoppelt werden.





### 1.3 Mehrkanal-Oszilloskope

Häufig ist es sinnvoll oder notwendig, zwei (oder mehr) Meßgrößen  $y_1(t)$  und  $y_2(t)$  gleichzeitig und in ihrem zeitlichen Bezug zueinander darzustellen. Dieses ist im Zweikanalbetrieb des Oszilloskops möglich. Dazu sind 2 (oder bis zu 4 bei einem Vierkanalgerät) Y-Eingänge einschließlich umschaltbarem Spannungsteiler / Verstärker erforderlich. Die Bildröhre kann jedoch nur einen Strahl zu einer Zeit abbilden. Deswegen ist zusätzlich noch ein elektronischer Umschalter vorhanden, der die beiden Signale neben- oder nacheinander angezeigt. Es gibt zwei mögliche Betriebsarten, „chopped“ (engl. zerhakt) und „alternated“ (engl. abwechselnd), die im Bild 3 in ihrer Funktion beschrieben sind.

Im „chopped“-Betrieb wird während der Ablenkphase mit einem elektronischen Umschalter zwischen den beiden Signalen  $y_1$  und  $y_2$  hin- und hergeschaltet, die Kurven werden stückweise nebeneinander dargestellt. Die Chopperfrequenz (Zerhackerfrequenz) muß natürlich erheblich höher sein als die Frequenz der Meßsignale. Nur dann erscheinen die Signale im Auge des Betrachters als geschlossene Kurvenzüge. Beim Triggern auf den Verlauf einer der Signalspannungen erhält man beide Signale in richtiger zeitlicher Zuordnung zueinander (Bild 3a). Chopped wird vor allem bei langsamem Ablenkvorgängen eingesetzt.

Im „alternated“-Betrieb werden beide Signale im Takt der Zeitablenkung nacheinander dargestellt, wobei jedes Signal nur in jeder 2. Ablenkphase hell gesteuert auf dem Bildschirm (Bild 3b) erscheint. Solange die Darstellung nur von einem Signalverlauf ausgelöst (getriggert) wird, z.B. Y-Kanal 1, kann auch hier eine richtige zeitliche Zuordnung erreicht werden. Alternated wird hauptsächlich bei schnellen Ablenkzeiten eingesetzt.

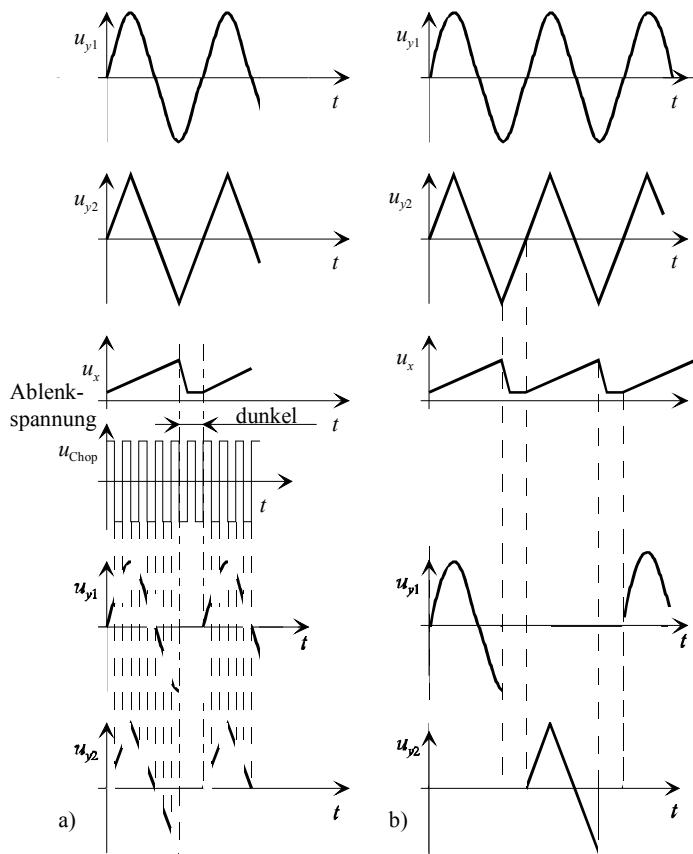


Abb. 3 : Zweikanalbetrieb beim Oszilloskop

- a) Betriebsart „chopped“
- b) Betriebsart „alternated“

### 1.4 Teiler-Tastkopf

Die Belastung der Signalquelle durch die Kabelkapazität und die Eingangskapazität eines Oszilloskops lässt sich durch die Verwendung eines Teiltastkopfes verringern. Bei ihm wird aus einem Widerstand in der Meßspitze und dem Eingangswiderstand des Oszilloskops ein Spannungsteiler 10:1 gebildet. Zum Ausgleich der Kabelkapazität wird ein kapazitiver Teiler aus  $C_1$ ,  $C_K$  //  $C_1$  parallelgeschaltet. Sind die Teilverhältnisse gleich, ergibt sich ein frequenzunabhängiger Spannungsteiler. Als wirksamer

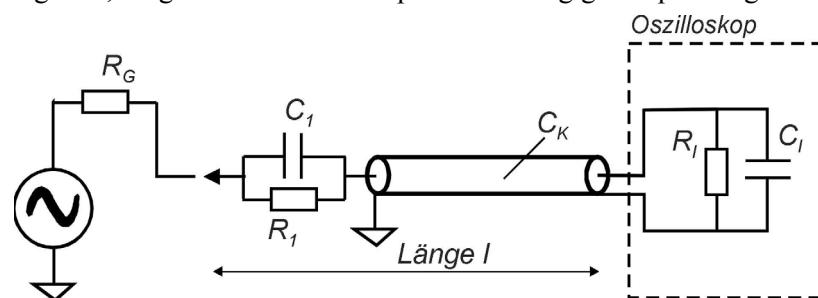


Abb. 4 Anschluß eines 10:1 Teiltastkopfes



Eingangswiderstand (Gleichspannung) ergibt sich die Reihenschaltung von  $R_1$  und  $R_i$ , etwa 10 MegOhm. Als wirksame Eingangskapazität für die Signalquelle ergibt sich die Reihenschaltung von  $C_1$ ,  $C_K/C_1$ , etwa 15 pF.

Für genaue Messungen über einen großen Frequenzbereich sollte der Tastkopf am Oszilloskop auf das korrekte Teilverhältnis durch Einstellen von  $C_1$  während der Darstellung eines Rechteck-Signals justiert werden. Häufig ist dafür in dem Oszilloskop eine interne Kalibrierspannungsquelle vorhanden (Rechteckspannung mit fester Frequenz und Amplitudenhöhe), mit der die Abbildungsmaßstäbe überprüft und die Tastköpfe so abgeglichen werden können, daß die Rechteckspannung optimal (ohne Abrundung, ohne Überschwingen) dargestellt wird.

Bei der Messung mit einem Tastkopf muß berücksichtigt werden, dass die Spannung am Geräteeingang nur 1/10 der Quellenspannung beträgt. Bei modernen Oszilloskopen kann dies bereits voreingestellt sein.

## 1.5 Bedienungsfeld eines Analog-Oszilloskops

Nachstehend sind die Hauptelemente eines Oszilloskops dargestellt. Die Beschriftung ist meistens international mit englischen Bezeichnungen. Die früher häufig gefundene Bezeichnung „mV/cm“ ist heute nicht mehr anwendbar, weil die Gitterteilung der Bildröhren nicht in Zentimetern geteilt ist.

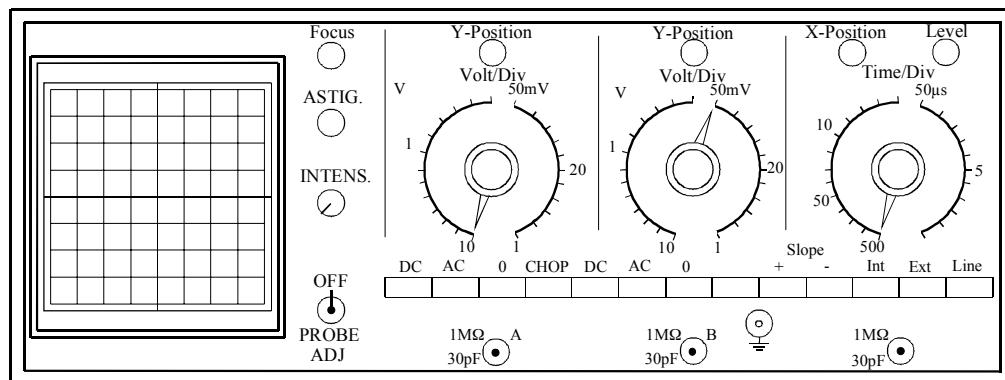


Abb. 5 : Bedienungsfeld eines Zweikanaloszilloskops (vereinfacht)

## 1.6 Digitales Speicher-Oszilloskop

Bei den meisten Speicheroszilloskopen ist das übliche Blockschaltbild eines analogen Oszilloskops erweitert um einen digitalen Speicher, der die im Analog-Digital-Wandler (A/D) gewandelten

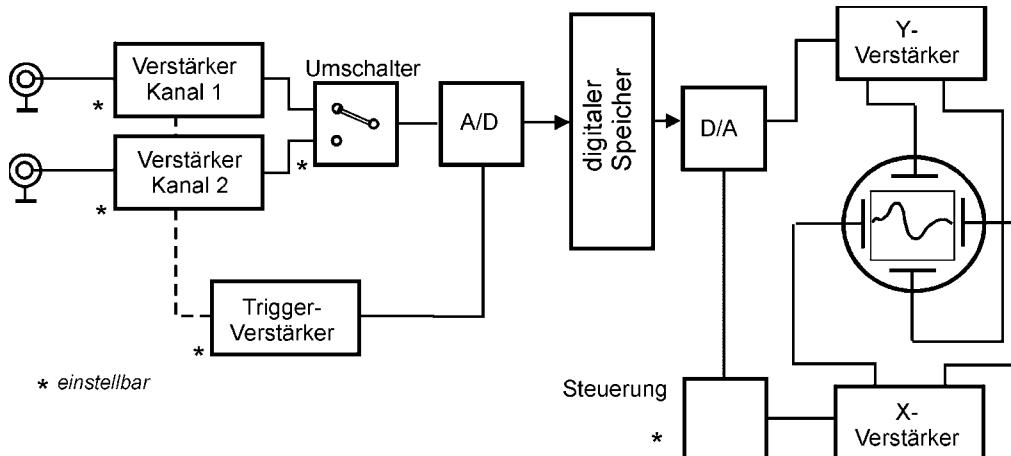


Abbildung 6 Blockschaltbild eines digitalen Speicher-Oszilloskops.

Signalwerte zwischenspeichert und über einen Digital-Analog-Wandler (D/A) wieder auf eine vergleichbare Bildröhre gibt. Häufig lassen sich sogar die Betriebsarten „analog“ und „digital“ umschalten.



## 1.7 Kennliniendarstellung einer Diode / einer Zenerdiode

Mit „Dioden“ bezeichnet man zweiseitige Bauelemente, die aus zwei Schichten aus halbleitenden Materialien (u.a. Silizium, Germanium, Galliumarsenid) zusammengesetzt sind, um eine stromrichtungsabhängige Leitfähigkeit zu zeigen. In „Flussrichtung“ fließt nach dem Überwinden einer Schwellenspannung ein großer Strom, in „Sperrrichtung“ ein ganz geringer Strom. Wird die (zulässige) Sperrspannung (Durchbruchspannung) überschritten, fließt doch ein (meist zerstörerischer) Strom durch das Bauteil. In der Anwendung einer Diode als Gleichrichter darf dieser Wert nie erreicht werden. Spezielle Dioden haben eine konstruktiv vorgegebene geringe Durchbruchspannung (Zenerspannung, 4..18 Volt), die für Stabilisierungszwecke genutzt werden kann.

Die Darstellung des Kennlinienfeldes  $i = f(u)$  von Dioden oder Gleichrichtern erfolgt im XY-Betrieb.

Ein Oszilloskop stellt Spannungsverläufe dar. Zur Darstellung der Diodenkennlinie  $i_D = f(u_D)$  muß der Strom  $i_D$  durch die Diode durch einen in Reihe geschalteten Widerstand  $R$  fließen, an dem ein zum Diodenstrom proportionaler Spannungsabfall  $U_R = u(I_D)$  auftritt. Die Spannungsquelle in diesem Stromkreis und der Widerstandswert  $R$  bestimmen den Maßstab der Stromachse auf dem Oszilloskopschirm. Üblicherweise wird das Durchlaßkennlinienfeld mit der Stromachse in Y-Richtung dargestellt. Eine gleichzeitige sinnvolle Darstellung der Durchlaß- und Sperrspannung einer Gleichrichter-Diode mit großer Spannungsfestigkeit in einem Schirmbild ist häufig *nicht* möglich, weil die Meßgrößen zu unterschiedlich sind (0,7 V / 100..800 V).

## 1.8 Metalloxid-Varistoren (MOV)

Vor allem zur Begrenzung von Überspannungen und Störpulsen werden symmetrische nichtlineare Widerstände aus Metalloxiden eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein Widerstandsmaterial, das bei niedrigen äußeren Spannungen eine sehr geringe Leitfähigkeit hat, mit zunehmender Feldstärke im Material aber zunehmend leitfähiger wird, bis herab zu wenigen Ohm. Damit lassen sich Spannungsteiler konstruieren, die ein spannungsabhängiges Teilverhältnis haben - geringe Spannungen werden gar nicht, hohe Spannungen stark heruntergeteilt. Die Dicke der Scheibe bestimmt wesentlich die Schwellenspannung, die Größe des Bauteils die maximal absorbierbare Pulsleistung. Wegen des überwiegenden Einsatzes bei Wechselspannungen wird als Kennspannung die maximale auf Dauer anliegende Wechselspannung *ohne* Stromfluß angegeben (S20K230). Wegen der großen Bauteilmasse sind Varistoren ungleich robuster als Zenerdioden, sie können kurze Spitzenströme bis zu 100en Ampere absorbieren (z.B. als Blitzschutz).

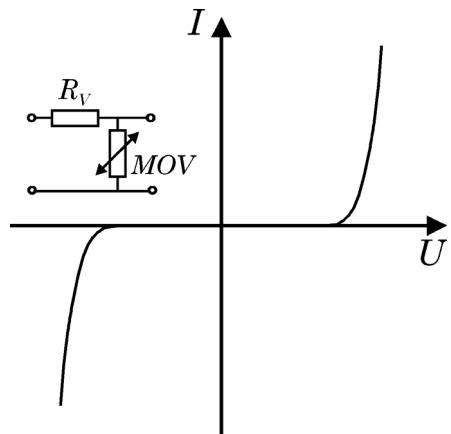


Abbildung 7 Metalloxid-Varistor

## 1.9 Einweg-Gleichrichter-Schaltung

Viele Geräte benötigen zum Betrieb eine Gleichspannung, während die Energieübertragung im Stromnetz über Wechselspannungen erfolgt. Mit einer Gleichrichterschaltung kann man aus der Wechselspannung am Ausgang eines Transformators unter Verwendung einer Diode und eines Ladekondensators eine Gleichspannung erzeugen.

Sobald in jeder 50Hz-Periode die Amplitude der Eingangswechselspannung  $U_{GEN}$  größer ist als die vorhandene Gleichspannung auf dem Kondensator  $C_L$ , fließt in den Kondensator ein Ladestrom. Ist die Spannung kleiner oder hat sie die falsche Polarität, fließt kein Strom. Damit wird der Kondensator nur pulsweise in der Nähe des Scheitelpunkts der positiven Eingangsspannung aufgeladen. Je nach Größe des Kondensators  $C_L$  ist die Ausgangsspannung mehr oder weniger wellig.

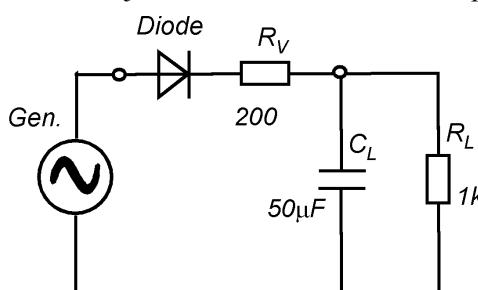


Abbildung 8 Einweg-Gleichrichter

Will man den Ladestrom ( $U_{RV}$ ) und die Ausgangsspannung gemeinsam darstellen, muss man als Bezugspotential („Masse“) einen Punkt der Schaltung verwenden, der beiden Spannungen gemeinsam ist (Vorzeichen beachten).

Will man den Ladestrom ( $U_{RV}$ ) und die Ausgangsspannung gemeinsam darstellen, muss man als Bezugspotential („Masse“) einen Punkt der Schaltung verwenden, der beiden Spannungen gemeinsam ist (Vorzeichen beachten).



## 1.10 Amplituden- und Phasenübertragungsfunktionen

Das Oszilloskop kann gut zum Darstellen von Spannungen und den zwischen ihnen bestehenden Phasenwinkeln eingesetzt werden. Im Folgenden soll die in Abb. 8 dargestellte Schaltung untersucht werden. Eingangsseitig wird eine sinusförmige Wechselspannung  $u_1(t) = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t)$  mit  $\omega = 2\pi f$  angelegt. Das Ausgangssignal wird in Abhängigkeit vom Eingangssignal und von der Frequenz untersucht.

$$\text{Es gilt: } u_R(t) = i(t) \cdot R \quad \text{und} \quad u_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

$$\text{Aus } u_1(t) = u_R(t) + u_C(t)$$

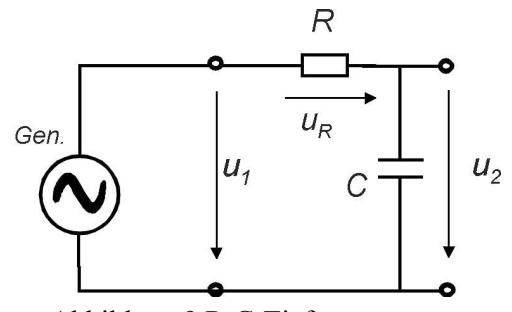


Abbildung 9 R-C-Tiefpass

folgt bei sinusförmiger Eingangsspannung

$$u_1(t) = R \cdot i(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = \hat{i} \left[ R \cdot \sin(\omega t) - \frac{1}{\omega C} \cos(\omega t) \right]$$

Spannung und Ladestrom am Kondensator verlaufen zeitversetzt (phasenverschoben), während die Spannung am Widerstand in Phase zum Ladestrom verläuft. Daraus folgt, daß auch zwischen Eingangsspannung  $u_1$  und Ausgangsspannung  $u_2$  ein Phasenunterschied sein muß. Die Abhängigkeit dieser Phasenverschiebung von der Frequenz  $\varphi = f(\omega)$  (*Phasengang*) soll ermittelt werden. Zusätzlich wird die Größe der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz, der sog.

*Amplitudenzgang*  $\hat{u} = f(\omega)$  ermittelt. Dieser stellt die frequenzabhängige Verstärkung /Abschwächung dieser Vierpol-Schaltung dar. Beide Verläufe werden über die Auswertung von sog. *Lissajous-Figuren* auf dem Oszilloskop-Schirm bestimmt.

Als Eck- oder Grenzfrequenz eines solchen Tiefpasses bezeichnet man den Wert der Frequenz  $\omega$ , bei dem die Amplitude auf den 0,707fachen Maximalwert abgefallen ist oder der Phasenwinkel  $45^\circ$  beträgt.

## 1.11 Lissajous-Figuren

Legt man zwei Schwingungen gleicher Frequenz mit variabler Amplitude und Phasenlage zueinander an die X- und Y-Eingänge eines Oszilloskops, so entstehen die sog. Lissajous-Figuren.

Wenn  $x(t) = \hat{x} \cdot \sin(\omega t + \rho_1)$  und

$y(t) = \hat{y} \cdot \sin(\omega t + \rho_2)$  die den beiden Kanälen des Oszilloskops zugeführten Schwingungen sind, dann können anhand der dargestellten Bahnkurve  $\hat{x}, \hat{y}$  sowie  $\Delta\rho = |\rho_1 - \rho_2|$  ermittelt werden.

Die Größe  $\hat{u}_{x0}$  dient der Bestimmung des Phasenwinkels.

$$\text{Es gilt: } \Delta\rho = \arcsin \frac{\hat{u}_{x0}}{\hat{u}_Y}$$

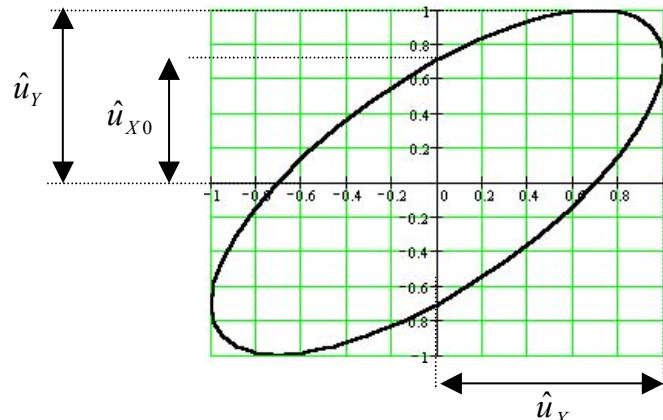


Abbildung 10: Lissajous-Figur



Einige typische Lissajous-Figuren zeigt Abbildung 10:

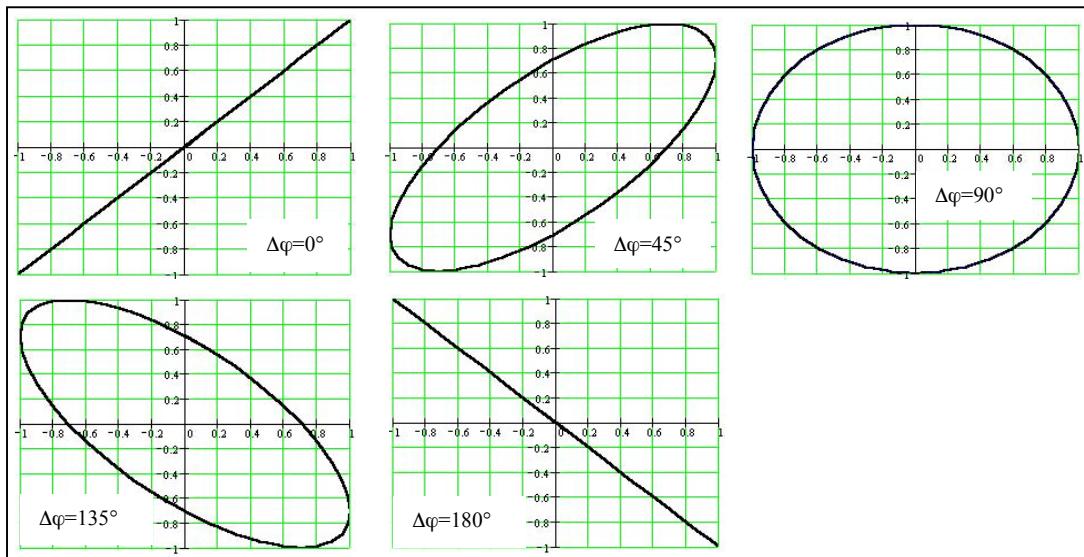


Abbildung 11: Lissajous-Figuren

#### weiterführende Literatur:

- Elektronische Messtechnik, Schmusch, Vogel Verlag  
Elektrische und elektronische Messtechnik, Felderhoff, Hanser Verlag  
Taschenbuch der Messtechnik, Tränkler, Oldenbourg Verlag



Labor für elektrische Messtechnik I		<b>Laborbericht</b> <b>V 1.1 Analog-Oszilloskop</b>	
Semester	Gruppen-Nr.	Name: _____	Matr.Nr. _____
-----	-----	Name: _____	Matr.Nr. _____
Datum	Vortestat	Testat/Note/Bemerkung	
-----	-----	-----	

## 2 Versuchsdurchführung

### 2.1 Vorbereitung:

Ermitteln Sie aus Abb. 12 die Amplituden und Phasendifferenz der angelegten Signale. Nehmen Sie dabei die Oszilloskop-einstellungen CH-X=5V/DIV, CH-Y=1V/DIV an. Das Eingangssignal liege an CHX. Um welchen Faktor wird das Signal bei dieser Frequenz verstärkt?

Berechnen Sie die Übertragungsfunktion der in Abb. 14 dargestellten Schaltung sowie deren Grenzfrequenz

$$\frac{u_2(f_g)}{u_{21}(f_g)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{und den bei dieser Frequenz}$$

erwarteten Phasenwinkel  $\varphi$ . Legen Sie die Grenzen des Untersuchungsbereichs mit  $f_1 = 10 * f_g$ ;  $f_2 = f_g / 10$  fest.

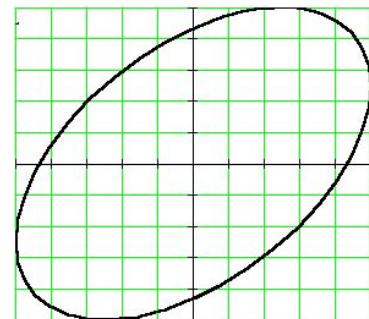


Abbildung 12: Lissajous-Figur

Bereiten Sie für die Durchführung der Messung zwei Tabellen vor, in denen Sie Spalten für die Eingangsfrequenz mit Oktavenschritten (Halbierung / Verdoppelung der Frequenz), die Eingangsamplitude, die Ausgangsamplitude und die Phasenlage vorsehen.

Welches Übertragungsverhalten des RC-Tiefpasses erwarten Sie bei  $f = 0\text{Hz}$  und  $f \rightarrow \infty$  ?

Entwerfen Sie eine Messschaltung für die Kennlinienaufnahme von Diode / Z-Diode / Varistor unter Verwendung einer Wechselspannungsquelle (Netz-Transformator) mit  $U_{\text{EFF}} = 24\text{ V}$  und einem Vorwiderstand  $R_V$ . Berechnen Sie ungefähre Werte für  $R_V$ , wenn die Flussspannung der Bauteile bei  $U = 0,6\text{ Volt} / 7\text{ Volt} / 20\text{ Volt}$  liegt und der Strom einen Wert von  $0,5\text{ A}$  nicht übersteigt.

Berücksichtigen Sie dabei, dass die beiden Oszilloskop-Eingänge einen gemeinsamen Masseanschluss (Bezugspotential, Nullpunkt) haben.

### Durchführung

#### 2.2 Darstellung und Vergleich von Dioden- / Varistor-Kennlinien (XY)

Aufzubauen ist eine Meßschaltung zur Darstellung von Diodenkennlinien  $i_D = f(u_D)$  unter Verwendung eines Niederspannungstransformators ( $\sim 24\text{ Volt}$ ) als Spannungsquelle. Die Strom- und Spannungsgrenzwerte für die Dioden müssen beachtet werden, der Maximalstrom soll  $0,5\text{ A}$  nicht übersteigen. Die Kennlinien von zwei Arten von Gleichrichterdioden (Bipolar-pn-Silizium und Schottky-Silizium, Durchlaßbereich)



sind mit **sinnvollen** Maßstäben darzustellen und die Schwellenspannungen abzulesen. Als Schwellspannung ist der Wert definiert, bei dem eine näherungsweise Ersatzgerade für die „echte“ Kennlinie (z.B. Tangente bei  $i_D = 0,2 \text{ A}$ ) die x-Achse für  $i_D = 0$  schneidet.

Für den Varistor wird die symmetrische Kennlinie dargestellt. Weiter wird im Bereich des Kennlinienknicks mit höherer Auflösung Strom und Spannung gemessen, so dass dort der absolute Widerstand  $R=U/I$  und der differentielle Widerstand  $R'=\Delta U/\Delta I$  ermittelt werden kann.

### 2.3 Darstellung der Ladespannungen eines Einweg-Gleichrichters (YT)

Eine Schaltung wie Abb.8 wird mit den Komponenten am Laborplatz ( $R_V = 200 \Omega$ ,  $R_L = 1 \text{ k} \Omega$ ,  $C_L = 50 \mu\text{F}$ ) aufgebaut.

Die Spannungsverläufe im Gleichrichterkreis (<1> Eingangsspannung und  $R_V$ -Ladestrom-Spannung; <2> Kondensatorladespannung und  $R_V$ -Ladestrom-Spannung) sind in 2 Diagrammen maßstäblich und phasenrichtig zugeordnet als veränderliche Gleichspannungen (DC mit Nullpunktbezug) zu messen und aufzuzeichnen.

Warum ergibt sich gerade diese dargestellte Phasenbeziehung für Ladestrom und Eingangs- bzw. Kondensatorspannung?

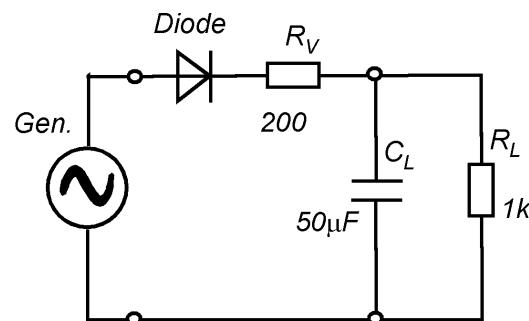


Abbildung 13 Einweg-Gleichrichter

### 2.4 Übertragungsverhalten eines RC-Tiefpasses

Ziel der Messung ist eine Darstellung der Amplituden- und Phaseneigenschaften eines RC-Tiefpasses in einem Frequenzbereich  $f_1$  bis  $f_2$ , erstellt durch Auswertung der Lissajous-Figuren. Bauen Sie die nebenstehende Schaltung mit  $R = 560 \Omega$  und  $C = 2 \mu\text{F}$  auf und verbinden sie eingangsseitig mit einem Frequenzgenerator „Gen“. Stellen Sie an diesem eine Amplitude von  $u_{SS} = 5 \text{ V}$  ein. Schließen Sie den ersten Oszilloskop-Kanal an  $u_1$ , den anderen an  $u_2$  an (Orientierung /Vorzeichen von Spannung und Darstellung beachten).

Messen Sie die Eigenschaften der Ein- und Ausgangssignale mit dem Oszilloskop unter Verwendung der auf dem Schirm gezeigten Lissajous-Figuren in ihren Größen- und Phaseneigenschaften. Bestimmen Sie aus den Achsenabschnitten Größe und Phasenwinkel der Spannungen.

Beachten Sie dabei die eingestellten Skalenfaktoren der Eingangsverstärker des Oszilloskops. Um die korrekten Werte der Schaltstufen zu ergeben, muß die Funktion ‘variabler justierbarer Skalenfaktor’ ausgeschaltet sein.

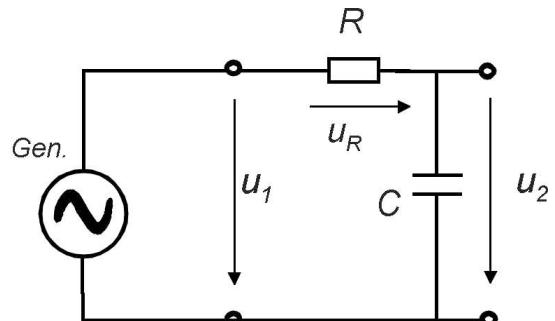


Abbildung 14 R-C-Tiefpass



### 3 Auswertung

(2.2) Die Darstellungen der Diodenkennlinien werden im Laborversuch bereits abschließend korrekt ausgedruckt. Die korrekten Maßstäbe bzw. Achsenteilungen für Strom und Spannung werden aus den Versuchsparametern (Spannung, Widerstand) errechnet und eingetragen, ggfs. auch gebrochene Werte pro Achsen-Abschnitt.

Für den (weitgehend) linearen Bereich der Durchlaßkurve der Dioden wird eine Ersatzgerade definiert und eingezeichnet. Ihre Verlängerung durch die x-Achse kennzeichnet den Ersatzwert der Schwellenspannung. Für beide Gleichrichterdioden werden damit die Werte des Ersatzschaltbildes „Ersatzspannungsquelle und Innenwiderstand“ \*) ermittelt.

Für den Varistor wird zusätzlich zu der UI-Kennlinie (Ausdruck, Versuchsdurchführung) ein Diagramm  $R(U,I) = f(U)$  gezeichnet. Soweit aus den Werten der Ausdrücke zu ermitteln ist (Tangente am Kurvenverlauf), wird in einer zweiten Kurvenschar dieses Diagramms der differentielle Widerstand  $R'(\Delta U, \Delta I) = f(U)$  dargestellt.

(2.3) Einfügen der Zeitdiagramme aus der Versuchsdurchführung, Ermittlung der Faktoren und Skalierung der Stromachse im Diagramm.

(2.4) Stellen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung (Amplitude  $\hat{U}$ ) in Abhängigkeit von der Frequenz der Eingangsspannung sowie den Phasenwinkel zwischen den Signalen graphisch dar. Verwenden Sie einmal eine doppelt-lineare und einmal eine halblogarithmische Darstellung ( $\log f$ ). Bestimmen Sie die Grenzfrequenz.

#### 3.1 bei dem Versuch eingesetzte Geräte:

Oszilloskop	Hameg HM407-2
Funktionsgenerator	Hameg HM8030-3
Stromversorgung	

\*) Die nichtlineare arbeitspunktabhängige Kennlinie einer Diode kann vereinfachend durch eine Kombination aus einer festen Spannungsquelle und einem Innenwiderstand ersetzt werden. Damit entsteht ein lineares berechenbares Netzwerk, das für viele Anwendungen genügend genau ist.

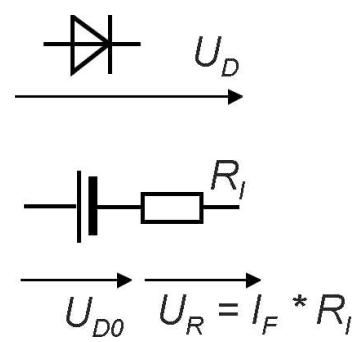
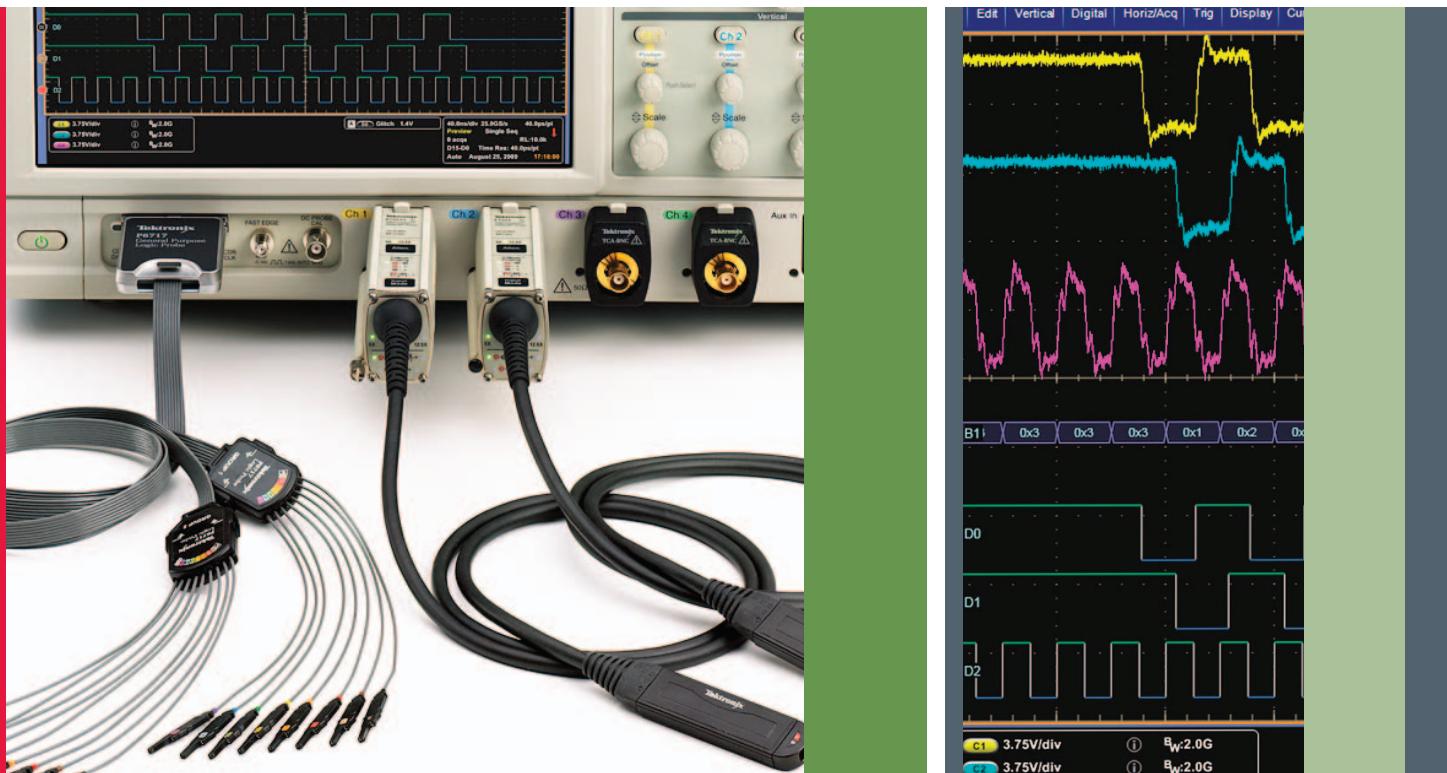


Abbildung 15 Dioden-Ersatzbild



# ABC der Oszilloskope

Einführungshandbuch

**Tektronix®**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>Signalintegrität .....</b>	<b>5 - 6</b>
Die Bedeutung der Signalintegrität .....	5
Warum ist Signalintegrität ein Problem? .....	5
Betrachtung des analogen Ursprungs von Digitalsignalen... 6	
<b>Das Oszilloskop .....</b>	<b>7 - 12</b>
Erläuterung von Signalen und Signalmessungen.....	7
Signalarten .....	8
Sinussignale .....	9
Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale ...	9
Sägezahn- und Dreiecksignale .....	9
Treppen- und Impulssignale.....	9
Periodische und nichtperiodische Signale .....	9
Synchrone und asynchrone Signale.....	9
Zusammengesetzte Signale .....	10
Signalmessungen .....	11
Frequenz und Periode .....	11
Spannung.....	11
Amplitude .....	11
Phase .....	11
Signalmessungen mit digitalen Oszilloskopen.....	12
<b>Oszilloskop-Arten .....</b>	<b>13 - 18</b>
Digital-Speicheroszilloskope .....	13
Digital-Phosphor-Oszilloskope.....	15
Mixed-Domain-Oszilloskope.....	17
Mixed-Signal-Oszilloskope .....	17
Digital-Sampling-Oszilloskope .....	18

<b>Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops..</b>	<b>19 - 32</b>
Vertikalsystem und Bedienelemente .....	20
Position und Volt pro Skalenteil.....	20
Eingangskopplung.....	20
Bandbreitenbegrenzung .....	20
Bandbreitenvergrößerung .....	21
Horizontalsystem und Bedienelemente .....	21
Erfassungs-Bedienelemente .....	21
Erfassungsmodi.....	21
Übliche Horizontale Bedienelemente sind:.....	21
Erfassungsmodi.....	22
Starten und Anhalten des Erfassungssystems.....	22
Abtastung.....	23
Abtast-Bedienelemente .....	23
Echtzeit-Abtastmethode .....	23
Äquivalentzeit-Abtastmethode.....	25
Position und Sekunden pro Skalenteil .....	27
Zeitbasis-Optionen .....	27
Zoom/Verschieben .....	27
Suchen.....	27
XY-Modus.....	27
Z-Achse.....	27
XYZ-Modus .....	27
Triggersystem und Bedienelemente.....	28
Triggerposition .....	30
Triggerpegel und Flanke .....	30
Triggermodi .....	31
Trigger-Kopplung .....	31
Trigger-Holdoff .....	31
Anzeigesystem und Bedienelemente.....	32
Weitere Bedienelemente des Oszilloskops .....	32
Mathematik- und Messoperationen .....	32
Digitale Timing- und Zustandserfassungen.....	32

<b>Das vollständige Mess-System .....</b>	<b>33 - 36</b>	<b>Die Bedienung des Oszilloskops .....</b>	<b>44 - 45</b>
Tastköpfe.....	33	Ordnungsgemäße Erdung .....	44
Passive Tastköpfe.....	34	Einstellen der Bedienelemente.....	44
Aktive und Differentialtastköpfe.....	35	Kalibrieren des Messgeräts .....	45
Logiktastköpfe.....	35	Anschließen der Tastköpfe.....	45
Spezialtastköpfe .....	36	Kompensation der Tastköpfe.....	45
Tastkopfzubehör.....	36		
<b>Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien ..</b>	<b>36 - 43</b>	<b>Oszilloskop-Messverfahren.....</b>	<b>47 - 48</b>
Bandbreite.....	36	Spannungsmessungen.....	47
Anstiegszeit .....	37	Zeit- und Frequenzmessungen.....	48
Abtastrate.....	38	Impulsbreiten- und Anstiegszeitmessungen .....	48
Signalerfassungsrate .....	39	Phasenverschiebungsmessungen .....	49
Aufzeichnungslänge .....	39	Andere Messverfahren.....	49
Triggerfunktionen .....	40		
Effektive Bits .....	40		
Frequenzgang .....	40		
Vertikalempfindlichkeit .....	40		
Ablenkgeschwindigkeit .....	40		
Verstärkungsgenauigkeit .....	40		
Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis) .....	40		
Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler) .....	40		
Timing-Auflösung (MSO) .....	41		
Anschlüsse .....	41		
Erweiterbarkeit.....	41		
Einfache Bedienung .....	43		
<b>Schriftliche Übungen .....</b>	<b>50 - 55</b>		
Teil I			
A: Vokabularübungen .....	50		
B: Anwendungsübungen .....	51		
Teil II			
A: Vokabularübungen .....	52		
B: Anwendungsübungen .....	53		
Antwortschlüssel .....	55		
<b>Glossar.....</b>	<b>56 - 59</b>		

## Einleitung

Die klassische, natürlich vorkommende Wellenform ist die Sinuswelle. Ob Meereswellen, Erdbeben, Überschall-Stoßwellen, Explosionen, Luftschall oder die Eigenschwingung eines bewegten Körpers – alles breitet sich in Sinusform aus. Energie, vibrierende Partikel und andere unsichtbare Kräfte durchdringen unser physisches Universum. Selbst Licht – teils Partikel, teils Welle – verfügt über eine Grundfrequenz, die wir als Farbe wahrnehmen können.

Mit Sensoren können diese Kräfte in elektrische Signale umgewandelt werden, die wir mithilfe eines Oszilloskops beobachten und untersuchen können. Oszilloskope ermöglichen es Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern, Pädagogen und anderen, zeitlich veränderliche Ereignisse für das menschliche Auge sichtbar zu machen.

Oszilloskope sind unverzichtbare Werkzeuge für jeden, der elektronische Geräte entwickelt, herstellt oder repariert. In der heutigen schnelllebigen Zeit benötigen Ingenieure die besten verfügbaren Geräte, um ihre Messungen möglichst schnell und präzise vornehmen zu können. Die Lösung für die heutigen anspruchsvollen Anforderungen an Messvorgänge liegt im Einsatz von Oszilloskopen.

Der Einsatz eines Oszilloskops ist nicht auf die Welt der Elektronik beschränkt. Mit dem geeigneten Sensor kann ein Oszilloskop die verschiedensten Phänomene messen. Ein Sensor ist ein Gerät, das ein elektrisches Signal in Reaktion auf physikalische Reize, wie Ton, mechanische Belastung, Druck, Licht oder Wärme, erzeugt. Ein Mikrofon ist ein Sensor, der Töne in ein elektrisches Signal umwandelt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die physikalischen Daten, die von einem Oszilloskop erfasst werden können.

Oszilloskope werden von den unterschiedlichsten Berufsgruppen verwendet, vom Physiker bis zum Wartungstechniker. Ein Kfz-Ingenieur verwendet ein Oszilloskop, um analoge Daten von Sensoren mit seriellen Daten aus der Motorsteuerung zu korrelieren. Ein medizinischer Forscher setzt ein Oszilloskop zum Messen von Gehirnströmen ein. Die Möglichkeiten sind endlos.

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

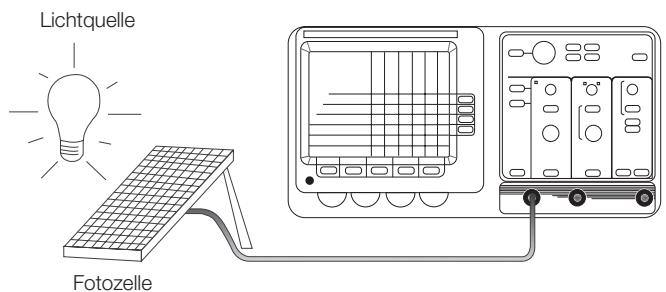


Abbildung 1. Ein Beispiel für die physikalischen Daten, die von einem Oszilloskop erfasst werden können.

Das Glossar am Ende dieses Einführungshandbuchs enthält Definitionen möglicherweise nicht bekannter Begriffe. Die schriftlichen Vokabular- und Multiple-Choice-Übungen zur Oszilloskoptheorie und den Bedienelementen machen dieses Einführungshandbuch zu einer wertvollen Unterlage für den Unterricht. Mathematische oder elektronische Kenntnisse sind nicht erforderlich.

Nachdem Sie dieses Einführungshandbuch gelesen haben, können Sie:

- Die Funktionsweise von Oszilloskopen beschreiben
- Die Unterschiede zwischen verschiedenen Oszilloskopen beschreiben
- Die verschiedenen Arten elektrischer Signale beschreiben
- Die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente verstehen
- Einfache Messungen durchführen

Das im Lieferumfang Ihres Oszilloskops enthaltene Handbuch enthält ausführlichere Informationen zur Verwendung des Oszilloskops für Ihre Arbeitsanforderungen. Einige Oszilloskophersteller stellen auch eine Vielzahl von Anwendungshinweisen bereit, mit denen Sie das Oszilloskop für Ihre anwendungsspezifischen Messungen optimieren können.

Wenn Sie weitere Unterstützung benötigen oder Kommentare und Fragen zu den Informationen in diesem Handbuch haben, wenden Sie sich an Ihren Tektronix-Händler oder besuchen Sie unsere Website unter [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com).

# Signalintegrität

## Die Bedeutung der Signalintegrität

Der Schlüssel zu einem guten Oszilloskopsystem ist seine Fähigkeit, ein elektrisches Signal exakt zu rekonstruieren. Dies wird als Signalintegrität bezeichnet. Ein Oszilloskop entspricht in gewissem Sinne einer Kamera, welche Signalbilder erfasst, die dann betrachtet und interpretiert werden können. Drei Punkte sind für die Signalintegrität besonders wichtig.

- Ist die gemachte Aufnahme exaktes Abbild des tatsächlichen Geschehens?
- Ist die Aufnahme scharf oder verschwommen?
- Wie viele dieser exakten Aufnahmen können pro Sekunde erfasst werden?

Die verschiedenen Systeme und Leistungsmerkmale eines Oszilloskops zusammen tragen zu seiner Fähigkeit bei, die größtmögliche Signalintegrität zu erreichen. Auch Tastköpfe haben einen Einfluss auf die Signalintegrität eines Messsystems.

Die Signalintegrität wirkt sich auf viele Elektronikdesign-Anwendungen aus. Bis vor wenigen Jahren stellte sie für Digitaldesigner jedoch kein großes Problem dar. Sie konnten davon ausgehen, dass sich ihre Logikdesigns tatsächlich wie die booleschen Schaltungen verhalten, die sie waren. Unbestimmbare, durch Störauschen beeinträchtigte Signale traten nur in Hochgeschwindigkeitsdesigns auf – ein Problem, für das HF-Designer zuständig waren. Die Schaltvorgänge in digitalen Systemen waren langsam, und die Signale stabilisierten sich auf vorhersehbare Weise.

Die Prozessortaktraten sind seither um ein Vielfaches höher geworden. Computeranwendungen, wie 3D-Grafiken, Video- und Server-I/O, erfordern hohe Bandbreiten. Viele moderne Telekommunikationsgeräte arbeiten digital und erfordern daher ebenfalls sehr hohe Bandbreiten. Dies gilt auch für das digitale HD-Fernsehen. Die aktuelle Generation von Mikroprozessorgeräten hat Datenraten von bis zu 2,3 Gb/s, ja sogar bis zu 5 Gb/s (Gigabit pro Sekunde), während einige DDR3-Speicher Taktraten von mehr als 2 GHz sowie Datensignale mit einer Anstiegszeit von 35 ps aufweisen.

Zudem hat die Geschwindigkeitssteigerung inzwischen auch die weitverbreiteten integrierten Schaltkreise (ICs) erreicht, die in Kfz, Verbraucherelektronik und Maschinensteuereinheiten verwendet werden, um nur einige Anwendungen zu nennen.

Ein Prozessor mit einer Taktrate von 20 MHz kann leicht Signale mit einer Anstiegszeit wie bei einem 800-MHz-Prozessor aufweisen. Designer haben eine Leistungsschwelle überschritten, und dies bedeutet, dass jetzt nahezu jedes Design ein Hochgeschwindigkeitsdesign ist.

Ohne entsprechende Vorsichtsmaßnahmen können Hochgeschwindigkeitsprobleme bei ansonsten herkömmlichen digitalen Designs auftreten. Wenn ein Schaltkreis intermittierende Störungen aufweist oder bei extremen Spannungs- und Temperaturwerten Fehler auftreten, liegen wahrscheinlich versteckte Probleme mit der Signalintegrität vor. Diese können sich auf die Marktreifezeit, Produktzuverlässigkeit, EMI-Konformität und anderes mehr auswirken. Diese Hochgeschwindigkeitsprobleme können auch die Integrität eines seriellen Datenstroms in einem System beeinflussen und eine Methode zur Korrelation bestimmter Muster in den Daten mit den beobachteten Merkmalen von Hochgeschwindigkeitssignalen erfordern.

## Warum ist Signalintegrität ein Problem?

Betrachten wir einige der spezifischen Ursachen der Signalverschlechterung in modernen digitalen Designs. Warum treten diese Probleme heute so viel häufiger auf als in der Vergangenheit?

Die Antwort lautet Geschwindigkeit. In der "langsam alten Zeit" mussten für die Aufrechterhaltung der Integrität digitaler Signale Details wie Taktverteilung, Signalwegdesign, Rauschgrenzwerte, Belastungseffekte, Übertragungseffekte, Busterminierung, Entkopplung und Leistungsverteilung beachtet werden. Alle diese Regeln gelten nach wie vor, aber...

Die Buszykluszeiten sind um das bis zu Tausendfache schneller als vor 20 Jahren! Transaktionen, die früher Mikrosekunden benötigten, werden jetzt in Nanosekunden gemessen. Um diese Verbesserung zu erreichen, mussten auch die Flankengeschwindigkeiten beschleunigt werden: diese sind um bis zu 100 Mal schneller als vor zwei Jahrzehnten.

Dies ist alles schön und gut. Jedoch haben bestimmte physikalische Gegebenheiten verhindert, dass die Leiterplattentechnologie mit diesen Veränderungen Schritt halten konnte. Die Laufzeit bei Inter-Chip-Bussen hat sich jahrzehntelang kaum geändert. Die Geometrien wurden zwar kleiner, aber es besteht nach wie vor ein Bedarf, Schaltkreisflächen für ICs, Steckverbinder, passive Komponenten und natürlich auch für die Busleiterbahnen selbst vorzusehen. Diese Flächen summieren sich zu Entfernnungen, und Entfernnungen bedeuten Zeit – der Feind von Geschwindigkeit.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Flankengeschwindigkeit – Anstiegszeit – eines digitalen Signals weit höhere Frequenzanteile übertragen kann als ihre Wiederholrate vermuten lässt. Aus diesem Grund wählen einige Designer absichtlich ICs mit relativ "langsamem" Anstiegszeiten.

Das Modell des konzentrierten Schaltkreiselementes war seit jeher die Grundlage für die meisten Berechnungen zur Vorhersage des Signalverhaltens in einer Schaltung. Wenn jedoch die Flankengeschwindigkeiten um mehr als das Vier- bis Sechsfache größer sind als die Signalwegverzögerung, verliert das einfache konzentrierte Modell seine Gültigkeit.

Leiterplattenbahnen, die nur 150 mm lang sind, werden zu Übertragungsleitungen, wenn sie mit Signalen angesteuert werden, die Flankengeschwindigkeiten von weniger als vier bis sechs Nanosekunden aufweisen, und zwar unabhängig von der Zyklusrate. Im Grunde werden durch Übersprechen neue Signalwege erzeugt. Diese nicht greifbaren Verbindungen sind nicht in den Schaltplänen enthalten, bieten Signalen jedoch die Möglichkeit, sich gegenseitig auf unvorhersehbare Weise zu beeinflussen.

Manchmal können sogar die durch die Tastkopf-Messgerät-Kombination eingebrachten Fehler einen signifikanten Beitrag zu dem zu messenden Signal liefern. Durch Anwendung der Formel „Quadratwurzel der Quadratsumme“ auf den gemessenen Wert kann jedoch bestimmt werden, ob sich der Prüfling einem Anstiegszeit/Abfallzeit-Fehler nähert. Darüber hinaus verwenden neue Oszilloskope spezielle Filtertechniken, um die Auswirkungen des Mess-Systems auf das Signal herauszufiltern, und Flankenzeiten und andere Signaleigenschaften darzustellen.

Gleichzeitig funktionieren die beabsichtigten Signalwege nicht wie vorgesehen. Erdungsflächen und stromführende Flächen, wie die weiter oben beschriebenen Signalbahnen, werden induktiv und verhalten sich wie Übertragungsleitungen. Die Entkopplung der Stromversorgung ist wesentlich weniger wirksam. Elektromagnetische Interferenzen (EMI) nehmen zu, wenn höhere Flankengeschwindigkeiten kürzere Wellenlängen im Vergleich zur Buslänge erzeugen. Übersprechen nimmt zu.

Außerdem erfordern hohe Flankengeschwindigkeiten in der Regel höhere Stromstärken für ihre Erzeugung. Höhere Stromstärken tendieren dazu, Ground Bounce zu verursachen, insbesondere bei breiten Bussen, in denen viele Signale gleichzeitig geschaltet werden. Die höhere Stromstärke erhöht außerdem die abgestrahlte magnetische Energie und damit auch das Übersprechen.

### Betrachtung des analogen Ursprungs von Digitalsignalen

Was haben alle diese Phänomene gemeinsam? Es sind klassische analoge Phänomene. Um Probleme mit der Signalintegrität zu lösen, müssen Digitaldesigner einen Schritt in den Analogbereich machen. Und für diesen Schritt benötigen sie Werkzeuge, die aufzeigen können, wie digitale und analoge Signale zusammenwirken.

Digitale Fehler haben ihre Ursachen häufig in Problemen der analogen Signalintegrität. Um die Ursache eines digitalen Fehlers zu verfolgen, ist häufig der Einsatz eines Oszilloskops erforderlich, das Signaldetails, Flanken und Rauschen darstellen kann, das Transienten erkennen und darstellen kann, und das die Messung von Timing-Beziehungen wie Setup- und Hold-Zeiten unterstützen kann. Moderne Oszilloskope können die Fehlersuche vereinfachen, indem sie das Triggern auf bestimmte Muster in parallelen oder seriellen Datenströmen ermöglichen und das analoge Signal darstellen, das zeitlich einem bestimmten Ereignis entspricht.

Wenn Sie die einzelnen Systeme in Ihrem Oszilloskop verstehen und wissen, wie diese angewendet werden, können Sie das Oszilloskop auf effiziente Weise für Ihre spezifischen Messaufgaben einsetzen.

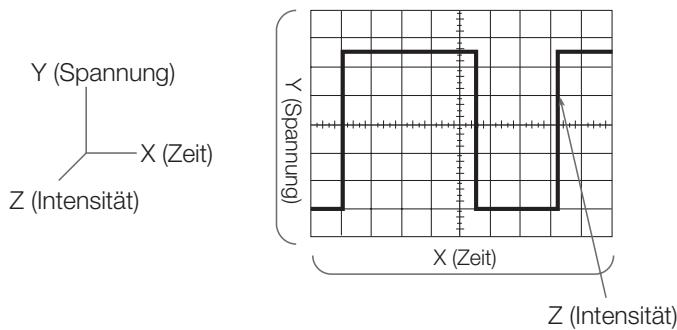


Abbildung 2. X-, Y- und Z-Komponenten eines dargestellten Signals.

## Das Oszilloskop

Was ist ein Oszilloskop und wie funktioniert es? In diesem Abschnitt werden diese grundlegenden Fragen behandelt.

Das Oszilloskop ist im Grunde genommen ein Gerät zur grafischen Darstellung – es stellt ein elektrisches Signal grafisch dar. In den meisten Anwendungen zeigt der Graph, wie sich Signale in Abhängigkeit von der Zeit ändern: Dabei stellt die vertikale Achse (Y-Achse) die Spannung und die horizontale Achse (X-Achse) die Zeit dar. Die Intensität oder Helligkeit der Anzeige wird manchmal als Z-Achse bezeichnet (siehe Abbildung 2). Bei DPO-Oszilloskopen kann die Z-Achse durch helligkeitsmodulierte Bildpunkte dargestellt werden (siehe Abbildung 3).

Dieser einfache Graph kann viele Informationen über ein Signal vermitteln, wie zum Beispiel:

- die Zeit- und Spannungswerte eines Signals
- die Frequenz eines Schwingungssignals
- die „dynamischen Komponenten“ eines durch das Signal dargestellten Schaltkreises
- die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Teil des Signals relativ zu anderen Teilen auftritt
- ob das Signal durch eine fehlerhafte Komponente verzerrt wird
- wie groß die Gleich- und Wechselstromanteile des Signals jeweils sind
- wie groß der Rauschanteil des Signals ist, und ob sich das Rauschen im Laufe der Zeit verändert

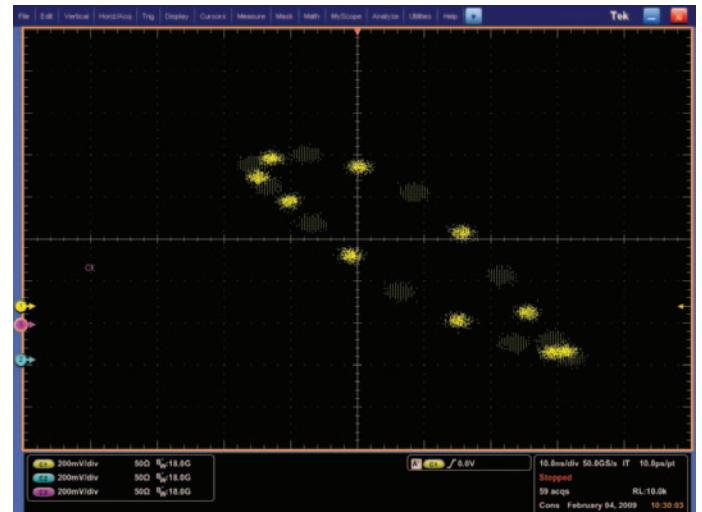
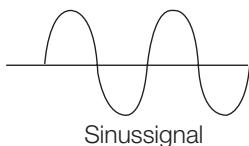


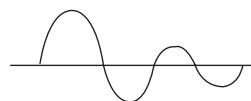
Abbildung 3. Zwei gegeneinander versetzte Taktmuster mit Helligkeitsmodulation der Z-Achse.

## Erläuterung von Signalen und Signalmessungen

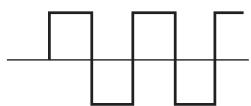
Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich im Laufe der Zeit wiederholt, ist Welle – Schallwellen, Gehirnströme, Meeresswellen und Spannungswellen sind alle repetitive Muster. Ein Oszilloskop misst Spannungswellen. Es wurde bereits erwähnt, dass physikalische Phänomene, wie Schwingungen oder Temperatur, oder elektrische Phänomene, wie Strom oder Leistung, von einem Sensor in eine Spannung umgewandelt werden können. Der Zyklus (bzw. die Schwingung) einer Welle ist ihr sich wiederholender Abschnitt. Ein Signal ist die grafische Darstellung einer Welle. Bei einem Spannungssignal wird auf der horizontalen Achse die Zeit und auf der vertikalen Achse die Spannung dargestellt.



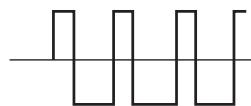
Sinussignal



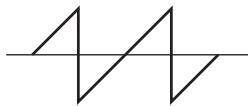
Gedämpftes Sinussignal



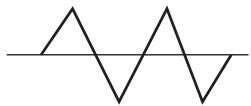
Symmetrisches  
Rechtecksignal



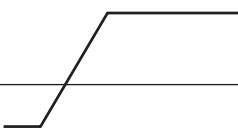
Unsymmetrisches  
Rechtecksignal



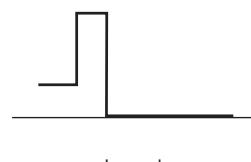
Sägezahnsignal



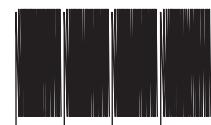
Dreiecksignal



Treppe



Impuls



Zusammengesetzt

Abbildung 4. Übliche Signale.

Die Form eines Signals sagt viel über das Signal aus. Jede Veränderung der Höhe des Signalpegels bedeutet eine Veränderung der Spannung. Eine flache horizontale Linie bedeutet, dass sich über den betreffenden Zeitraum keine Veränderung ergeben hat. Gerade diagonale Linien weisen auf lineare Veränderungen hin, also ein konstantes Ansteigen oder Abfallen der Spannung, scharfe Winkel in einem Signal weisen auf eine plötzliche Änderung hin. Abbildung 4 zeigt übliche Signale, Abbildung 5 zeigt Quellen üblicher Signale.

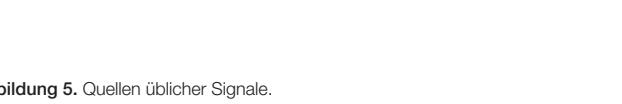
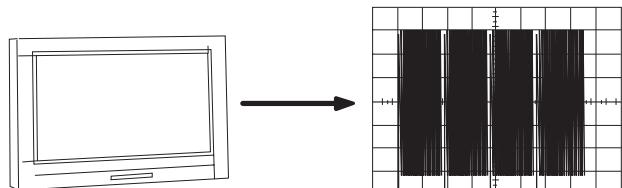
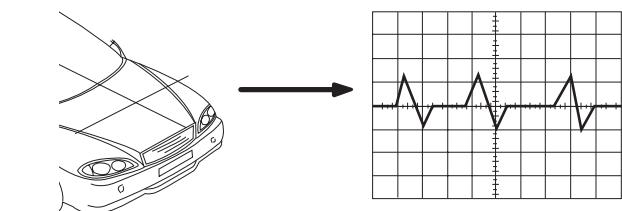
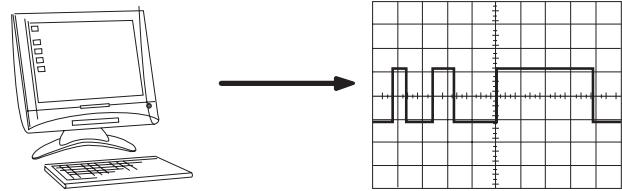
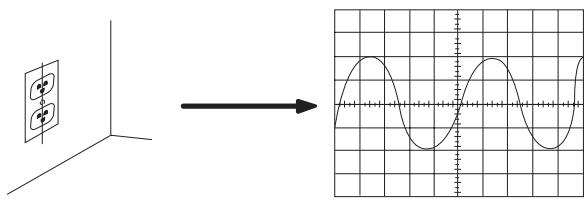


Abbildung 5. Quellen üblicher Signale.

## Signalarten

Die meisten Signale können in folgende Arten klassifiziert werden:

- Sinussignale
- Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale
- Sägezahn- und Dreiecksignale
- Treppen- und Impulssignale
- Periodische und nichtperiodische Signale
- Synchrone und asynchrone Signale
- Zusammengesetzte Signale

## Sinussignale

Das Sinussignal ist aus mehreren Gründen die grundlegende Signalform. Es besitzt harmonische mathematische Eigenschaften – tatsächlich handelt sich um die Sinusform, die Sie wahrscheinlich im Mathematikunterricht kennengelernt haben. Die Spannung aus der Wandsteckdose variiert in Form eines Sinussignals. Die von der Oszillatorschaltung eines Signalgenerators erzeugten Signale sind häufig Sinussignale. Die meisten Wechselstromquellen erzeugen Sinussignale. (Der Begriff Wechselstrom bezieht sich auf die sich ändernde Stromstärke, die Spannung ändert sich jedoch auch. Der Begriff Gleichstrom bezieht sich auf die gleichbleibende Stromstärke und Spannung, wie z. B. bei einer Batterie.)

Das gedämpfte Sinussignal ist ein Sonderfall, wie er in einem oszillierenden Schaltkreis auftreten kann, der mit der Zeit abklingt.

## Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale

Das symmetrische Rechtecksignal ist eine andere übliche Signalform. Im Grunde genommen ist ein symmetrisches Rechtecksignal eine Spannung, die in regelmäßigen Intervallen ein- und ausgeschaltet wird (oder einen hohen und einen niedrigen Pegel hat). Es ist ein Standardsignal zum Prüfen von Verstärkern – bei guten Verstärkern erhöht sich die Amplitude eines symmetrischen Rechtecksignals mit minimaler Verzerrung. Fernseh-, Radio- und Computerschaltungen verwenden häufig symmetrische Rechtecksignale als Timing-Signale.

Das unsymmetrische Rechtecksignal unterscheidet sich vom symmetrischen Rechtecksignal nur dadurch, dass beim unsymmetrischen Rechtecksignal die hohen und niedrigen Zeitintervalle nicht die gleiche Länge haben. Dies ist besonders wichtig, wenn digitale Schaltungen analysiert werden.

## Sägezahn- und Dreiecksignale

Sägezahn- und Dreieckssignale stammen aus Schaltungen, die Spannungen linear steuern, wie z. B. die horizontale Ablenkung eines analogen Oszilloskops oder der Rasterscan eines Fernsehgeräts. Die Übergänge zwischen Spannungspegeln dieser Signale ändern sich mit einer konstanten Rate. Diese Übergänge werden als Rampen bezeichnet.

## Treppen- und Impulssignale

Signale wie Treppen- und Impulssignale, die nur selten oder nichtperiodisch auftreten, werden als Einzelschusssignale oder transiente Signale bezeichnet. Eine Treppe gibt eine plötzliche Spannungsänderung an, ähnlich der Spannungsänderung beim Einschalten eines Netzschatlers.

Ein Impuls gibt eine plötzliche Spannungsänderung an, ähnlich der Spannungsänderungen beim Einschalten und nachfolgenden Ausschalten eines Netzschatlers. Ein Impuls kann ein Datenbit darstellen, das sich durch eine Computerschaltung bewegt, oder es kann ein Glitch bzw. Fehler in einer Schaltung sein. Eine Gruppe von Impulsen, die sich gemeinsam fortbewegen, bilden eine Impulsfolge. Digitale Komponenten in einem Computer kommunizieren über Impulse miteinander. Diese Impulse können die Form eines seriellen Datenstroms haben, oder es können mehrere Signalfolgen verwendet werden, um einen Wert in einem parallelen Datenbus darzustellen. Impulse treten auch häufig in Röntgen-, Radar- und Kommunikationsgeräten auf.

## Periodische und nichtperiodische Signale

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

## Synchrone und asynchrone Signale

Wenn zwei Signale miteinander in einem konstanten zeitlichen Zusammenhang stehen, bezeichnet man sie als synchron. Takt-, Daten- und Adresssignale in einem Computer sind Beispiele für synchrone Signale.

Entsprechend werden Signale, zwischen denen kein zeitlicher Zusammenhang besteht, als asynchron bezeichnet. Da es beispielsweise zwischen dem Drücken einer Taste auf der Computertastatur und dem Taktignal im Computer keinen zeitlichen Zusammenhang gibt, gelten sie als asynchrone Signale.

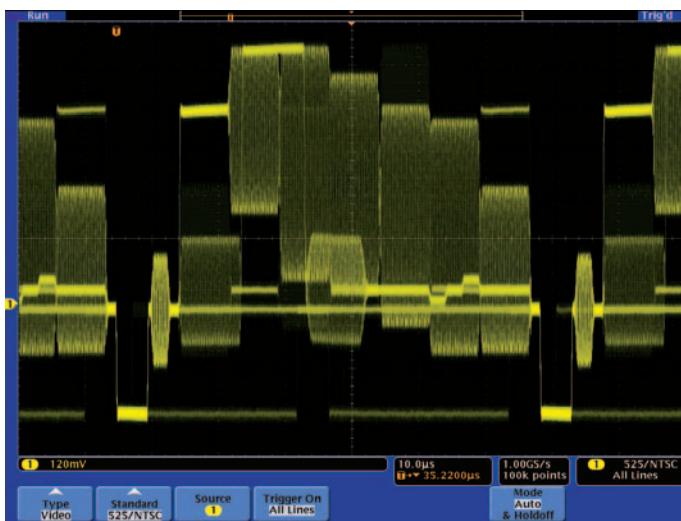


Abbildung 6. Ein NTSC-Verbund-Videosignal ist ein Beispiel für ein zusammengesetztes Signal.

## Zusammengesetzte Signale

Einige Signale kombinieren die Merkmale von Sinus-, Rechteck-, Stufen- und Impulssignalen und erzeugen dadurch zusammengesetzte Signale. Die Signalinformationen können in Form von Amplitude, Phase und/oder Frequenzvariationen in die Signale eingebettet sein. Obwohl das Signal in Abbildung 6 ein gewöhnliches Verbund-Videosignal ist, besteht es aus vielen Zyklen von Signalen mit höherer Frequenz, die in eine Hüllkurve mit niedrigerer Frequenz eingebettet sind.

In diesem Beispiel ist es in der Regel am wichtigsten, die relativen Pegel- und Timing-Beziehungen dieser Treppensignale zu verstehen. Zur Darstellung dieses Signals benötigen Sie ein Oszilloskop, das die niederfrequente Hüllkurve erfasst und die höherfrequenten Signale helligkeitsmoduliert überlagert, damit Sie die Kombination als Bild sehen können, das sich visuell interpretieren lässt. Digitale Phosphor-Oszilloskope eignen sich am besten zur Darstellung zusammengesetzter Signale, wie z. B. Videosignale (siehe Abbildung 6). Deren Darstellungsart bietet die notwendigen Informationen zur Häufigkeit des Auftretens dieser Signale, oder helligkeitsmodulierte Darstellung, die zum Verständnis des tatsächlichen Signalverhaltens erforderlich sind.

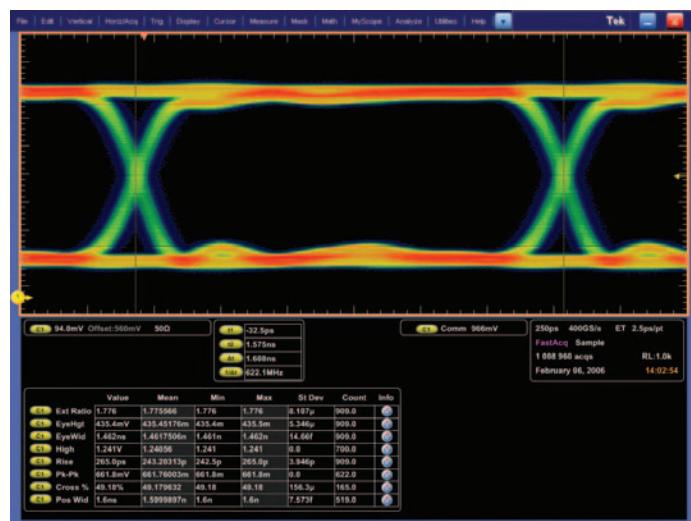


Abbildung 7. Serielles 622-Mbt/s-Augendiagramm.

Einige Oszilloskope ermöglichen eine besondere Darstellung für bestimmte Arten von zusammengesetzten Signalen. Beispielsweise können Telekommunikationsdaten als Augendiagramm oder als Konstellationsdiagramm dargestellt werden.

Digitale Telekommunikationsdatensignale können auf einem Oszilloskop als eine besondere Signalart dargestellt werden, die als Augendiagramm bezeichnet wird. Der Name basiert auf der Ähnlichkeit des Signals mit aufeinanderfolgenden Augen (siehe Abbildung 7). Augendiagramme werden erzeugt, wenn digitale Daten aus einem Empfänger abgetastet werden und am vertikalen Eingang anliegen, während die Datenrate zum Triggern der horizontalen Ablenkung verwendet wird. Das Augendiagramm stellt ein Bit- oder Einheitenintervall von Daten mit allen möglichen Flankenübergängen und Überlagerungszuständen in einer umfassenden Ansicht dar.

Ein Konstellationsdiagramm dient zur Darstellung eines Signals, das mit einem digitalen Modulationsverfahren, wie zum Beispiel Quadraturamplitudenmodulation oder Phasenmodulation, moduliert wurde.

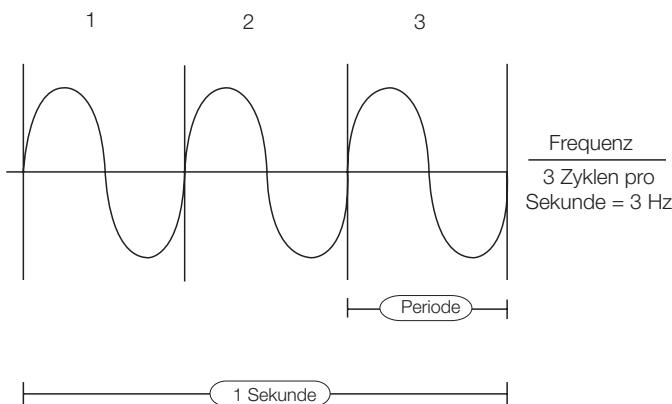


Abbildung 8. Frequenz und Periode eines Sinussignals.

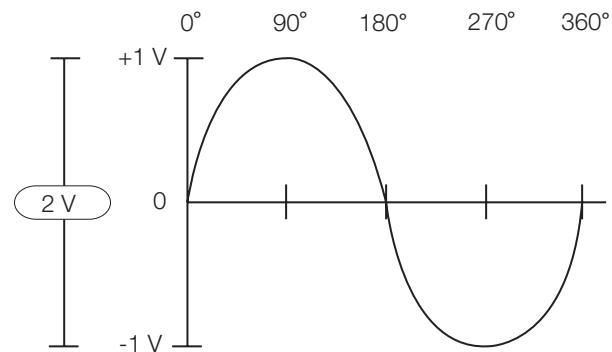


Abbildung 9. Amplitude und Gradeinteilung eines Sinussignals.

## Signalmessungen

Es gibt viele Begriffe für die verschiedenen Arten von Messungen, die Sie mit Ihrem Oszilloskop durchführen. In diesem Abschnitt werden einige der gebräuchlichsten Messungen und Begriffe beschrieben.

### Frequenz und Periode

Ein Signal, das sich wiederholt, besitzt eine Frequenz. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen und entspricht der Anzahl der Wiederholungen des Signals in einer Sekunde, auch als Zyklen pro Sekunde bezeichnet. Jedes sich wiederholende Signal hat auch eine Periode. Dies ist die Zeit, die das Signal benötigt, um einen Zyklus zu durchlaufen. Periode und Frequenz sind reziprok, d. h. dass eins geteilt durch die Periode die Frequenz ergibt, und eins geteilt durch die Frequenz die Periode ergibt. Beispielsweise hat das Sinussignal in Abbildung 8 eine Frequenz von 3 Hz und eine Periode von 1/3 Sekunde.

### Spannung

Die Spannung ist die Größe des elektrischen Potenzials, oder die Signalstärke, zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis. Üblicherweise ist einer dieser Punkte die Masse bzw. Nullspannung, jedoch nicht immer. Die Spannung kann zwischen dem Maximum und Minimum eines Signals gemessen werden, dies wird als Spitz-Spitze-Spannung bezeichnet.

### Amplitude

Die Amplitude bezeichnet die Größe der Spannung zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis. Die Amplitude bezieht sich in der Regel auf die maximale Spannung eines von Masse (oder Nullspannung) aus gemessenen Signals. Das in Abbildung 9 dargestellte Signal hat eine Amplitude von 1 V und eine Spitz-Spitze-Spannung von 2 V.

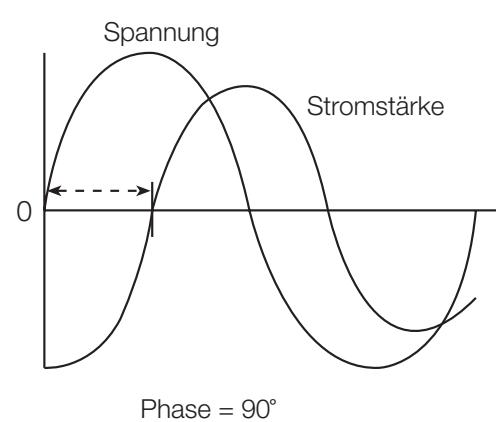


Abbildung 10. Phasenverschiebung.

### Phase

Phase lässt sich am besten anhand eines Sinussignals erklären. Dem Spannungspegel eines Sinussignals liegt eine kreisförmige Bewegung zugrunde. Ein Kreis hat 360°, der Zyklus eines Sinussignals hat ebenso 360° (wie in Abbildung 9 dargestellt). Anhand von Gradangaben kann jeder Phasenwinkel eines Sinussignals genau bezeichnet werden, wenn beschrieben werden soll, welcher Teil der Periode bereits durchlaufen wurde.

Die Phasenverschiebung bezeichnet die Zeitverschiebung oder den Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen. Das mit „Stromstärke“ bezeichnete Signal in Abbildung 10 ist um 90° gegenüber dem mit „Spannung“ bezeichneten Signal phasenverschoben, da die Signale die gleichen Punkte in ihren Zyklen um exakt einen Viertelzyklus versetzt erreichen ( $360^\circ/4 = 90^\circ$ ). Phasenverschiebungen treten in der Elektronik häufig auf.

## Signalmessungen mit digitalen Oszilloskopen

Moderne digitale Oszilloskope verfügen über Funktionen, welche die Signalmessungen erleichtern. Sie besitzen Tasten am vorderen Bedienfeld und/oder Bildschirmmenüs zum Auswählen von voll automatisierten Messungen. Diese schließen Amplitude, Periode, Anstiegs-/Abfallzeit und vieles mehr ein. Zahlreiche digitale Messgeräte bieten auch Mittelwert- und Effektivwertberechnungen, Tastverhältnis und andere mathematische Operationen. Automatisierte Messungen werden am Bildschirm als alphanumerische Messwertanzeigen dargestellt. In der Regel sind diese Messwerte genauer als die direkte Interpretation des Rasters.

## Beispiele für voll automatisierte Signalmessungen:

- |                              |                    |                       |
|------------------------------|--------------------|-----------------------|
| ■ Periode                    | ■ Tastverhältnis + | ■ Hoch                |
| ■ Frequenz                   | ■ Tastverhältnis - | ■ Niedrig             |
| ■ Breite +                   | ■ Verzögerung      | ■ Minimum             |
| ■ Breite -                   | ■ Phase            | ■ Maximum             |
| ■ Anstiegszeit               | ■ Burstbreite      | ■ Überschwingen +     |
| ■ Abfallzeit                 | ■ Spitze-Spitze    | ■ Überschwingen -     |
| ■ Amplitude                  | ■ Mittelwert       | ■ Effektivwert        |
| ■ Löschverhältnis            | ■ Zyklusmittelwert | ■ Zyklus-Effektivwert |
| ■ Mittlere optische Leistung | ■ Zyklusfläche     | ■ Jitter              |

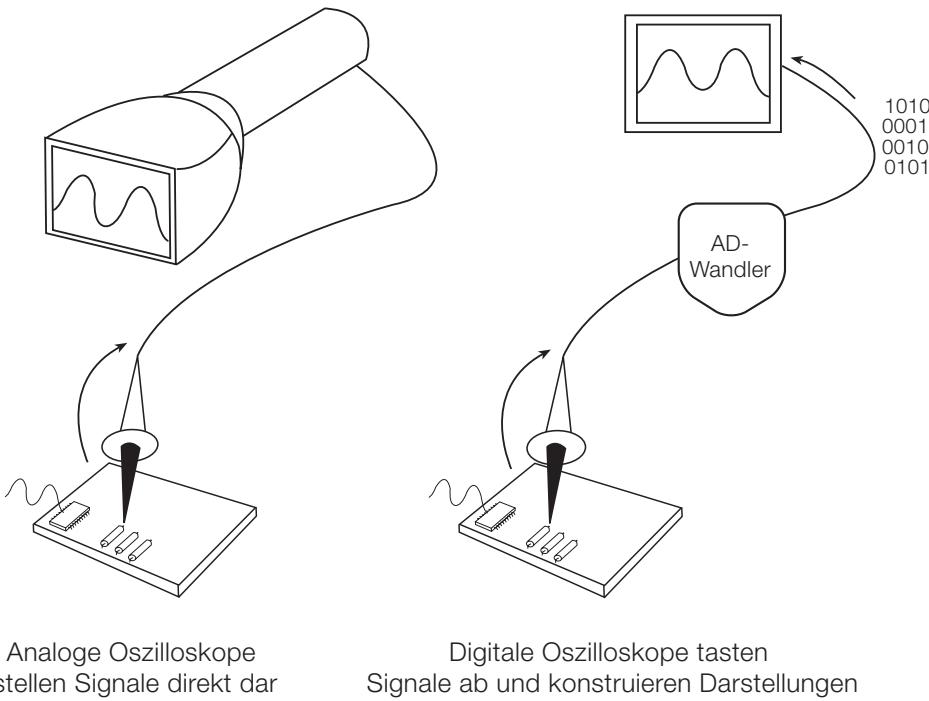


Abbildung 11. Analoge Oszilloskope zeichnen Signale auf, während digitale Oszilloskope Signalfpunkte abtasten und daraus Signalabbilder erzeugen.

## Oszilloskop-Arten

Elektronische Geräte können in zwei Kategorien eingeteilt werden: analog und digital. Analog Geräte arbeiten mit kontinuierlich variablen Spannungen, während digitale Geräte mit diskreten Binärzahlen arbeiten, die Spannungsabtastungen darstellen. Ein herkömmlicher Plattenspieler ist ein analoges Gerät, während ein CD-Player ein digitales Gerät ist.

Auch Oszilloskope können auf diese Weise klassifiziert werden – als analoge und digitale Oszilloskope. Im Gegensatz zu einem analogen Oszilloskop verwendet ein digitales Oszilloskop einen Analog-Digital-Wandler (ADW), um die gemessene Spannung in digitale Informationen umzuwandeln. Es erfassst das Signal als eine Folge von Abtastpunkten und speichert diese, bis genügend Abtastpunkte gesammelt wurden, um ein Signal zu beschreiben. Anschließend werden diese Punkte zur Darstellung des Signals auf dem Bildschirm wieder zusammengesetzt (siehe Abbildung 11).

Digitale Oszilloskope können in Digital-Speicheroszilloskope (DSOs), Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs), Mixed-Signal-Oszilloskope (MSOs) und Digital-Sampling-Oszilloskope unterteilt werden.

Ein grundsätzlicher Vorteil digitaler Oszilloskope liegt in der Fähigkeit, beliebige Frequenzen innerhalb ihres Messbereichs stabil, hell und klar darzustellen. Bei repetitiven Signalen ist die Bandbreite des digitalen Oszilloskops eine Funktion der analogen Bandbreite der Frontend-Komponenten

des Oszilloskops. Dies wird gewöhnlich als -3-dB-Punkt bezeichnet. Bei Einzelschuss- und transienten Ereignissen, wie Impuls- und Treppensignalen, kann die Bandbreite durch die Abtastrate des Oszilloskops begrenzt werden. Ausführlichere Informationen hierzu finden Sie im Abschnitt „Abtastrate“ unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

## Digital-Speicheroszilloskope

Ein herkömmliches digitales Oszilloskop ist unter der Bezeichnung Digital-Speicheroszilloskop (DSO) bekannt. Sein Bildschirm ist in der Regel ein Rasterbildschirm anstelle des Leuchttubus-Bildschirms älterer analoger Oszilloskope.

Digital-Speicheroszilloskope (DSOs) ermöglichen das Erfassen und Darstellen von Ereignissen, die nur einmal auftreten und als Transienten bezeichnet werden. Da die Signalinformationen in digitaler Form als eine Folge von Binärwerten vorliegen, können sie analysiert, archiviert, gedruckt und auf andere Weise verarbeitet werden, und zwar im Oszilloskop selbst oder auf einem externen Computer. Das Signal muss nicht dauernd anliegen, es kann auch dann noch dargestellt werden, wenn das Signal verschwunden ist. Im Gegensatz zu analogen Oszilloskopen bieten Digital-Speicheroszilloskope permanente Signalspeicherung und umfassende Signalverarbeitung. In der Regel verfügen DSOs jedoch über keine Helligkeitsmodulation in Echtzeit und können daher variierende Intensitätspegel im realen Signal nicht darstellen.

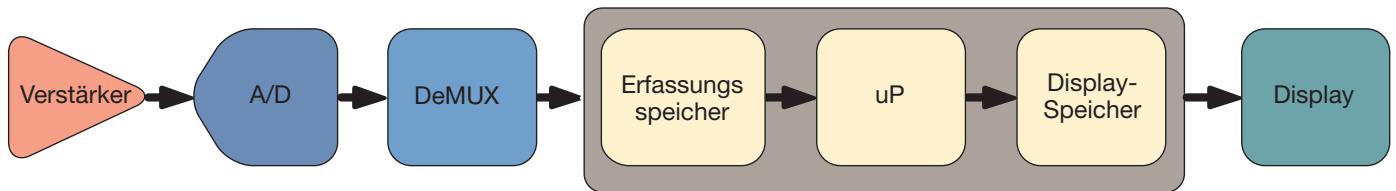


Abbildung 12. Die serielle Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Speicheroszilloskops (DSO).

Einige der Teilsysteme, aus denen ein DSO besteht, sind denen eines analogen Oszilloskops ähnlich. Ein DSO umfasst jedoch zusätzliche Datenverarbeitungsteilsysteme, die zum Sammeln und Darstellen der Daten des ganzen Signals verwendet werden. Ein DSO nutzt eine serielle Verarbeitungsarchitektur, um ein Signal zu erfassen und auf dem Bildschirm darzustellen (siehe Abbildung 12). Eine Beschreibung der seriellen Verarbeitungsarchitektur finden Sie nachstehend.

### Serielle Verarbeitungsarchitektur

Bei einem DSO ist wie bei einem analogen Oszilloskop die erste (Eingangs)-Stufe ein Vertikalverstärker. Über vertikale Bedienelemente können Sie die Amplitude und den Positionsbereich in dieser Stufe einstellen. Als Nächstes tastet der Analog-Digital-Wandler (ADW) im Horizontalsystem das Signal zu diskreten Zeitpunkten ab und wandelt die Spannung des Signals an diesen Punkten in digitale Werte um, die als Abtastpunkte bezeichnet werden. Dieser Vorgang wird als Digitalisierung eines Signals bezeichnet.

Die Abtast-Taktrate des Horizontalsystems bestimmt, wie oft der AD-Wandler eine Abtastung durchführt. Diese Rate wird als Abtastrate bezeichnet und wird in Abtastungen pro Sekunde (S/s) angegeben. Die Abtastpunkte aus dem AD-Wandler werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert. Mehrere Abtastpunkte können einen Signalpunkt ergeben. Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung. Die Anzahl der Signalpunkte, die für die Erstellung einer Signalaufzeichnung verwendet werden, wird als Aufzeichnungslänge bezeichnet. Das Triggersystem bestimmt den Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnung.

Der Signalweg des DSO umfasst einen Mikroprozessor, durch den das gemessene Signal an den Bildschirm weitergeleitet wird. Dieser Mikroprozessor verarbeitet das Signal, koordiniert Bildschirmaktivitäten, steuert die Bedienelemente des vorderen Bedienfelds und führt noch weitere Aufgaben durch. Das Signal passiert dann den Display-Speicher und wird auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt.

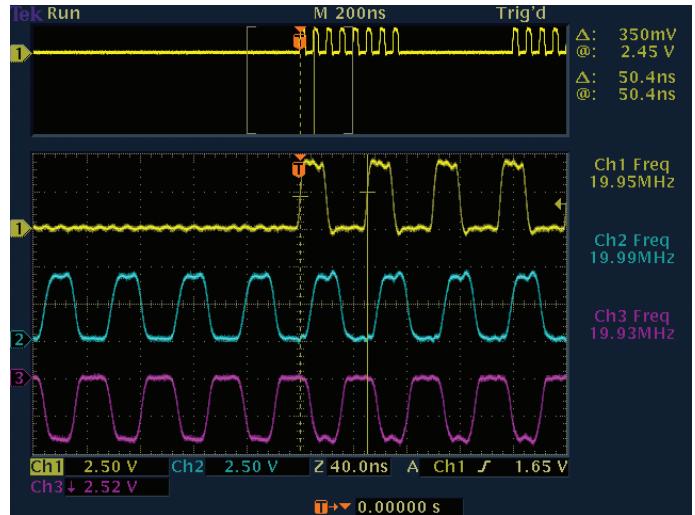


Abbildung 13. Das Digital-Speicheroszilloskop bietet Einzelschuss-Erfassungen mit hoher Geschwindigkeit auf mehreren Kanälen gleichzeitig. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass flüchtige Glitches und transiente Ereignisse erfasst werden können.

Je nach Funktionsumfang des Oszilloskops kann eine weitere Verarbeitung der Abtastpunkte erfolgen, welche die Darstellung verbessert. Auch Vortrigger können verfügbar sein, die es ermöglichen, Ereignisse vor dem Triggerpunkt zu erkennen. Die meisten modernen digitalen Oszilloskope bieten auch eine Auswahl automatischer, parametrischer Messungen, die den Messvorgang vereinfachen.

Wie in Abbildung 13 dargestellt, bietet ein DSO hohe Leistungsfähigkeit in einem Einzelschuss-Messgerät mit mehreren Kanälen. DSOs eignen sich ideal für Anwendungen mit niedriger Wiederholungsrate oder Einzelschuss-Erfassungen mit hoher Geschwindigkeit auf mehreren Kanälen gleichzeitig. In der Praxis des digitalen Designs untersuchen Ingenieure in der Regel vier oder mehr Signale gleichzeitig. Das DSO ist dabei ein unabdingbares Hilfsmittel.

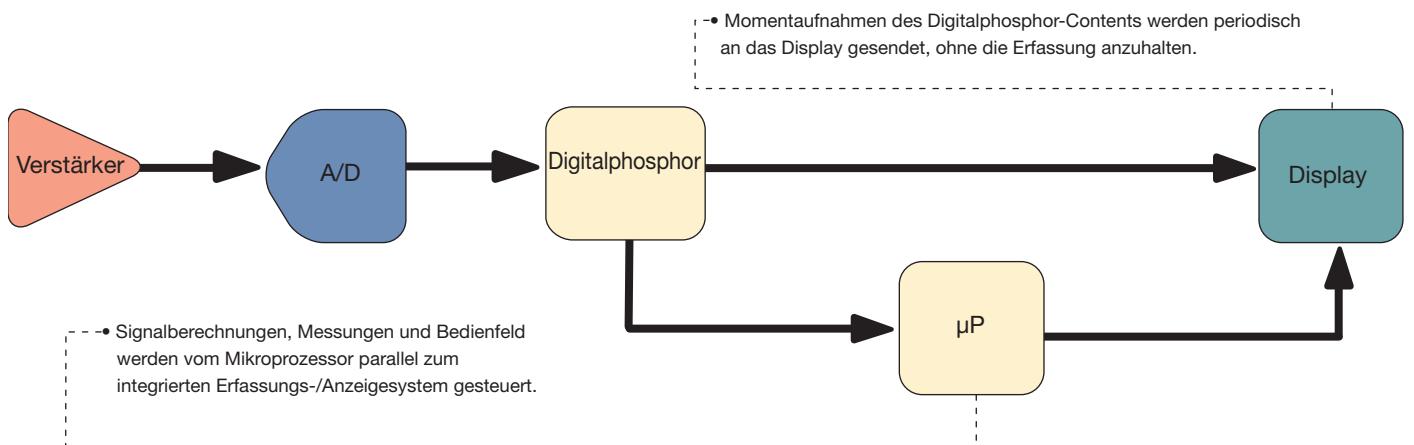


Abbildung 14. Die parallele Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Phosphor-Oszilloskops (DPO).

## Digital-Phosphor-Oszilloskope

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

Während ein DSO eine serielle Verarbeitungsarchitektur zum Erfassen, Darstellen und Analysieren von Signalen nutzt, wendet ein DPO für diese Funktionen eine parallele Verarbeitungsarchitektur an (siehe Abbildung 14). Die DPO-Architektur verwendet spezielle ASIC-Hardware zur Erfassung der Signalbilder und liefert hohe Signalerfassungsraten, die zu einer besseren Darstellung des Signals führen. Diese Technologie erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass in digitalen Systemen auftretende transiente Ereignisse, wie Runt-Impulse, Glitches und Flankenfehler, erkannt werden und bietet erweiterte Analysemöglichkeiten. Eine Beschreibung der parallelen Verarbeitungsarchitektur finden Sie nachstehend.

### Parallele Verarbeitungsarchitektur

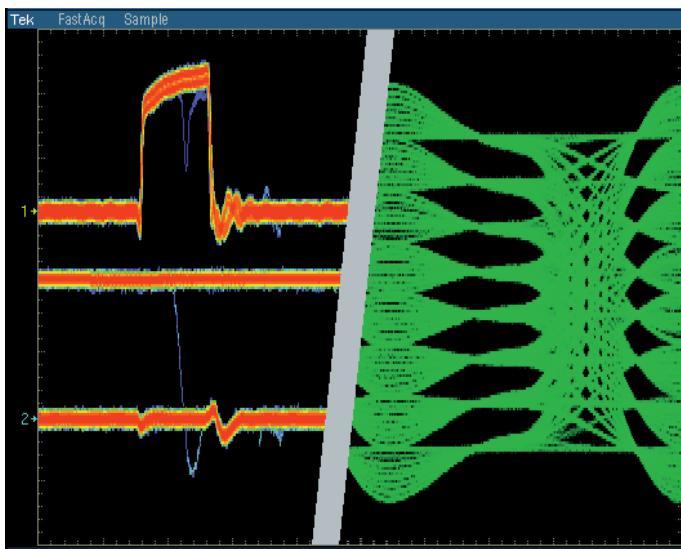
Bei einem DPO ist wie bei einem analogen Oszilloskop die erste (Eingangs)-Stufe ein Vertikalverstärker, die zweite Stufe ist wie bei einem DSO ein Analog-Digital-Wandler (ADW). Das DPO unterscheidet sich jedoch nach der Analog-Digital-Wandlung erheblich von seinen Vorgängern.

Bei allen Oszilloskopen – analog, DSO oder DPO – tritt immer eine Totzeit auf, in der das Messgerät die zuletzt erfassten Daten verarbeitet, das System zurücksetzt und auf das nächste Triggerereignis wartet. Während dieser Zeit kann das Oszilloskop keine Signalaktivität wahrnehmen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein seltenes Ereignis oder ein Ereignis mit niedriger Wiederholungsrate erkannt wird, nimmt mit zunehmender Totzeit ab.

Es ist zu beachten, dass es unmöglich ist, die Wahrscheinlichkeit einer Erfassung zu bestimmen, indem nur die Bildschirmaktualisierungsrate berücksichtigt wird. Wenn nur die Aktualisierungsrate berücksichtigt wird, wird leicht der Fehler gemacht, anzunehmen, dass das Oszilloskop alle wichtigen Informationen über das Signal erfasst, auch wenn dies tatsächlich nicht der Fall ist.

Digital-Speicheroszilloskope verarbeiten erfasste Signale seriell. Bei diesem Vorgang stellt die Geschwindigkeit des Mikroprozessors den leistungskritischen Faktor dar, da durch sie die Signalerfassungsrate begrenzt wird. Das DPO rasterisiert das digitalisierte Signal in eine Digital-Phosphor-Datenbank. Jede 1/30 Sekunde – etwa so schnell, wie für das menschliche Auge wahrnehmbar – wird eine Momentaufnahme des Signalbilds, das in der Datenbank gespeichert ist, direkt an das Anzeigesystem ausgegeben. Diese direkte Rasterisierung der Signaldaten und der direkte Kopiervorgang aus der Datenbank in den Displayspeicher eliminieren den Datenverarbeitungsengpass, der bei anderen Architekturen auftritt. Das Ergebnis ist eine verbesserte Echtzeit-Aktualisierung des Displays. Signaldetails, intermittierende Ereignisse und dynamische Signalcharakteristiken werden in Echtzeit erfasst. Der Mikroprozessor des DPO arbeitet parallel zu diesem integrierten Erfassungssystem zur Anzeigeverwaltung, Messautomatisierung und Messgerätesteuerung, sodass die Erfassungsgeschwindigkeit des Oszilloskops nicht beeinträchtigt wird.

Ein DPO emuliert die besten Darstellungsattribute eines analogen Oszilloskops und stellt das Signal in drei Dimensionen dar: Zeit, Amplitude und Amplitudenverteilung in Abhängigkeit von der Zeit – und dies alles in Echtzeit.



**Abbildung 15.** Einige DPOs können Millionen von Signalen in wenigen Sekunden erfassen. Dies erhöht signifikant die Wahrscheinlichkeit, dass intermittierende und flüchtige Ereignisse erfasst werden und dynamisches Signalverhalten erkannt wird.

Im Gegensatz zu einem analogen Oszilloskop, das sich auf eine chemische Phosphorschicht stützt, verwendet ein DPO rein elektronischen Digital-Phosphor, der im Grunde eine kontinuierlich aktualisierte Datenbank ist. Diese Datenbank enthält für jedes einzelne Pixel im Oszilloskop-Display eine separate Datenzelle. Jedes Mal, wenn ein Signal erfasst wird – d. h. bei jeder Triggerung des Oszilloskops – wird es in die Zellen der Digital-Phosphor-Datenbank aufgenommen. Jede Zelle, die eine Bildschirmposition darstellt und von dem Signal „berührt“ wird, wird durch Intensitätsinformationen verstärkt, während dies bei anderen Zellen nicht der Fall ist. Auf diese Weise sammeln sich Intensitätsinformationen in den Zellen an, die das Signal am häufigsten passiert.

Wenn die Digital-Phosphor-Datenbank an das Oszilloskop-Display ausgegeben wird, zeigt das Display farblich abgestufte Signalbereiche an, und zwar proportional zu der Häufigkeit, mit der das Signal an jedem Punkt auftritt – ähnlich wie die Helligkeitsmodulierte Darstellung eines analogen Oszilloskops. Das DPO ermöglicht es außerdem, die Informationen über variierende Auftretenshäufigkeit in kontrastierenden Farben auf dem Bildschirm darzustellen – dies ist bei einem analogen Oszilloskop nicht möglich. Mit einem DPO ist der Unterschied zwischen einem Signal, das nahezu bei jedem Trigger auftritt, und einem Signal, das etwa nur alle 100 Triggerungen auftritt, leicht zu erkennen.

Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) vereinen die Vorteile der Analog- und Digital-Oszilloskoptechnologie. Sie eignen sich gleichermaßen zur Darstellung von hohen und niedrigen Frequenzen, repetitiven Signalen sowie von Transienten und Signalvariationen in Echtzeit. Nur ein DPO stellt die Z-Achse (Intensitäts-Achse) in Echtzeit dar, die bei herkömmlichen DSOs fehlt.

Ein DPO ist ideal geeignet für alle Anwender, die ein optimales Allzweck- und Fehlersuchgerät für eine breite Palette von Anwendungen benötigen (siehe Abbildung 15). Ein DPO bietet optimale Leistung in den Bereichen erweiterte Analyse, Kommunikationsmaskenprüfung, digitale Fehlersuche bei intermittierenden Signalen und Timing-Anwendungen.

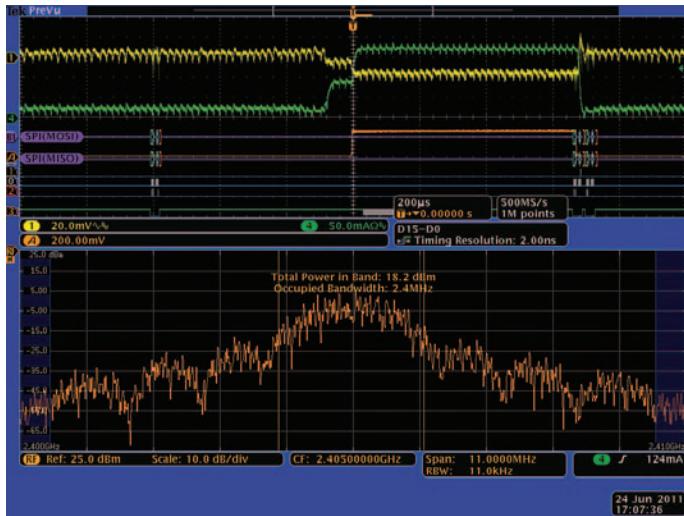


Abbildung 16. Zeitkorrelierte Darstellung der Mikroprozessor-SPI-Steuerleitungen (MOSI und MISO) eines Zigbee-Funkgeräts, mit Messungen des Drainstroms und der -spannung für die Funkgeräteschaltung und das Spektrum beim Einschalten.

## Mixed-Domain-Oszilloskope

Ein Mixed-Domain-Oszilloskop (MDO) kombiniert ein MSO oder DPO mit den Fähigkeiten eines HF-Spektrumanalysators und ermöglicht auf diese Weise zeitkorrelierte Darstellungen von Signalen aus dem Digital-, Analog- und HF-Bereich. Mit dem MDO können zeitkorrelierte Darstellungen von Protokoll-, State Logic-, Analog- und HF-Signalen innerhalb eines eingebetteten Systems angezeigt werden. Dies reduziert auf drastische Weise nicht nur die Zeit für die Ursachensuche, sondern auch die Messunsicherheit bei bereichsübergreifenden Ereignissen.

Das Verständnis der Zeitverzögerung zwischen einem Mikroprozessorbefehl und einem HF-Ereignis innerhalb eines eingebetteten Systems vereinfacht die Testkonfiguration und ermöglicht komplexe Messungen im Labor. Bei integrierten Funkgeräten, wie das in Abbildung 16 darstellte Zigbee-Design, ist es möglich, bei Aktivierung des HF-Ereignisses zu triggern und die Befehlszeilenlatenz der dekodierten SPI-Steuerleitungen des Mikroprozessors, den Drainstrom und die Drainspannung beim Einschalten sowie alle resultierenden spektralen Ereignisse anzuzeigen. In nur einer Anzeige verfügen Sie nun über eine zeitkorrelierte Darstellung aller Bereiche des Funkgeräts: Protokoll (digital), analog und HF.

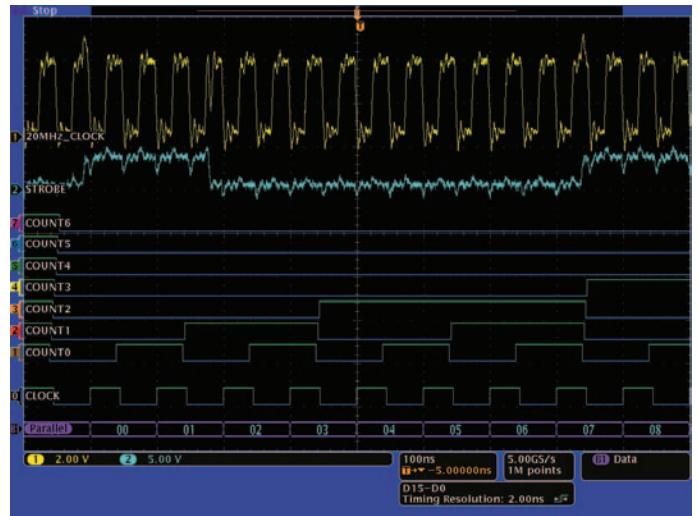


Abbildung 17. Das MSO verfügt über 16 integrierte digitale Kanäle für die Darstellung und Analyse von zeitkorrelierten analogen und digitalen Signalen.

## Mixed-Signal-Oszilloskope

Das Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO) kombiniert die Funktionen eines DPO mit den grundlegenden Funktionen eines 16-Kanal-Logikanalysators, einschließlich paralleler/ serieller Busprotokoll-Dekodierung und -Triggerung. Die digitalen Kanäle des MSO zeigen ein digitales Signal als logischen High- oder Low-Pegel an, genau wie ein digitaler Schaltkreis das Signal erkennt. Dies bedeutet, dass diese analogen Merkmale das MSO nicht beeinflussen, solange keine logischen Übergänge durch Klingeln, Überschwingen oder Ground Bounce verursacht werden. Wie ein Logikanalysator ermittelt auch das MSO mithilfe einer Schwellenwertspannung, ob der Signalpegel logisch hoch oder logisch niedrig ist.

Mit seiner leistungsfähigen Digital-Triggerung, der hochauflösenden Erfassung und seinen Analysewerkzeugen eignet sich das MSO ideal für die schnelle Fehlersuche in digitalen Schaltungen. Die Ursache vieler Probleme in digitalen Schaltungen lässt sich schneller ermitteln, indem sowohl die analoge als auch die digitale Darstellung des Signals analysiert wird (siehe Abbildung 17). Daher eignet sich ein MSO ideal für die Überprüfung und Fehlersuche bei digitalen Schaltungen.

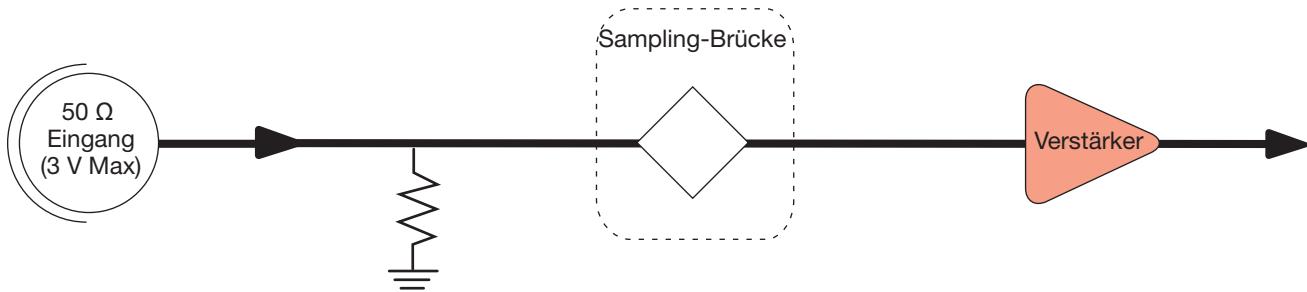


Abbildung 18. Die parallele Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Phosphor-Oszilloskops (DPO).

### Digital-Sampling-Oszilloskope

Im Gegensatz zu den Architekturen der Digital-Speicheroszilloskope und Digital-Phosphor-Oszilloskope wird bei der Architektur des Digital-Sampling-Oszilloskops die Position von Dämpfer/Verstärker und Sampling-Brücke vertauscht (siehe Abbildung 18). Das Eingangssignal wird abgetastet, bevor eine Dämpfung oder Verstärkung erfolgt. Nach der Sampling-Brücke kann dann ein Verstärker mit niedriger Bandbreite eingesetzt werden, da das Signal bereits durch das Sampling-Gate auf eine niedrigere Frequenz konvertiert wurde und sich dadurch ein Messgerät mit einer viel höheren Bandbreite ergibt.

Der Nachteil dieser hohen Bandbreite ist jedoch ein eingeschränkter Dynamikbereich des Sampling-Oszilloskops. Da vor dem Sampling-Gate kein Dämpfer/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 Volt Spitze-Spitze begrenzt. Digital-Speicher- und Digital-Phosphor-Oszilloskope können dagegen 50 bis 100 Volt aufnehmen.

Außerdem können vor der Sampling-Brücke keine Schutzdiode eingesetzt werden, da dies die Bandbreite beschränken würde. Dies vermindert die sichere Eingangsspannung eines Sampling-Oszilloskops auf etwa 3 V, gegenüber 500 V bei anderen Oszilloskop-Arten.

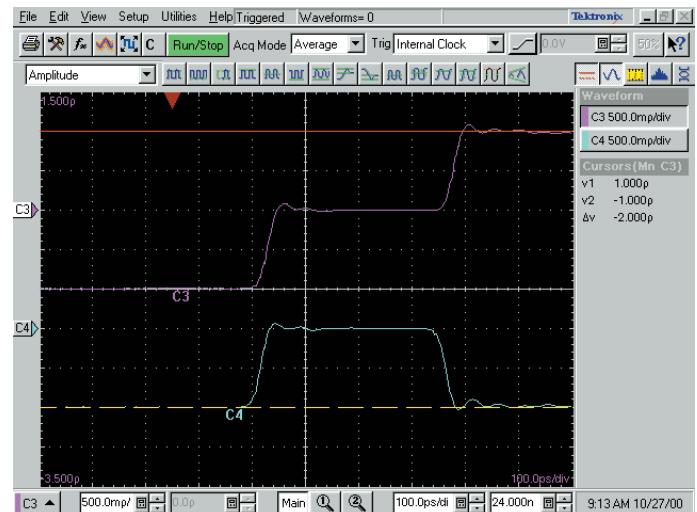


Abbildung 19. Zeitbereichsreflektometrische (Time Domain Reflectometry, TDR) Darstellung bei einem digitalen Sampling-Oszilloskop.

Wenn hochfrequente Signale gemessen werden, ist das DSO oder DPO möglicherweise nicht in der Lage, während eines Ablenkvorgangs genug Abtastpunkte zu erfassen. Ein Digital-Sampling-Oszilloskop ist ein ideales Gerät für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich höher sind als die Abtastrate des Oszilloskops (siehe Abbildung 19). Dieses Oszilloskop kann um bis das Zehnfache schnellere Signale messen als jedes andere Oszilloskop. Es kann für repetitive Signale zehnmal höhere Bandbreiten- und Hochgeschwindigkeits-Timingwerte als andere Oszilloskope erreichen. Sequentielle Äquivalentzeit-Sampling-Oszilloskope sind mit Bandbreiten von bis zu 80 GHz erhältlich.

## Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops

Dieser Abschnitt enthält eine kurze Beschreibung der grundlegenden Systeme und Bedienelemente von analogen und digitalen Oszilloskopen. Einige Bedienelemente unterscheiden sich bei analogen und digitalen Oszilloskopen. Außerdem verfügt Ihr Oszilloskop möglicherweise über zusätzliche Bedienelemente, die hier nicht erläutert werden.

Ein Oszilloskop umfasst grundsätzlich vier verschiedene Systeme – das Vertikalsystem, das Horizontalsystem, das Trigger-System und das Anzeigesystem. Wenn Sie die Funktion dieser Systeme verstehen, können Sie das Oszilloskop auf effiziente Weise für Ihre speziellen Messanforderungen einsetzen. Denken Sie daran, dass jedes System dazu beiträgt, dass das Oszilloskop ein Signal exakt rekonstruieren kann.

Das vordere Bedienfeld eines Oszilloskops ist in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als „Vertikal“, „Horizontal“ und „Trigger“ gekennzeichnet sind. Je nach Modell und Typ kann Ihr Oszilloskop auch noch über andere Abschnitte verfügen. Suchen Sie beim Lesen die in Abbildung 20 dargestellten Abschnitte und die Abschnitte auf Ihrem Oszilloskop.

Bei der Verwendung eines Oszilloskops müssen drei grundlegende Einstellungen vorgenommen werden, um ein Eingangssignal aufzunehmen:

- Vertikal: Die Dämpfung oder Verstärkung des Signals. Stellen Sie mit dem Bedienelement Volt/Teil die Amplitude des Signals auf den gewünschten Messbereich ein.
- Horizontal: Die Zeitbasis. Stellen Sie mit dem Bedienelement Sek/Teil die Zeit pro Skalenteil ein. Die Skalenteile sind horizontal auf dem Bildschirm angeordnet.
- Trigger: Die Triggerung des Oszilloskops. Mit dem Triggerpegel können Sie ein sich wiederholendes Signal stabilisieren oder auf ein einzelnes Ereignis triggern.



Abbildung 20. Bedienelemente auf dem vorderen Bedienfeld eines Oszilloskops.

### Übliche Vertikal-Bedienelemente sind:

- Abschluss
  - 1 MOhm
  - 50 Ohm
- Kopplung
  - DC
  - AC
  - GND
- Bandbreite
  - Begrenzung
  - Vergrößerung
- Position
- Offset
- Invertieren – Ein/Aus
- Skala
  - Feste Schritte
  - Variabel

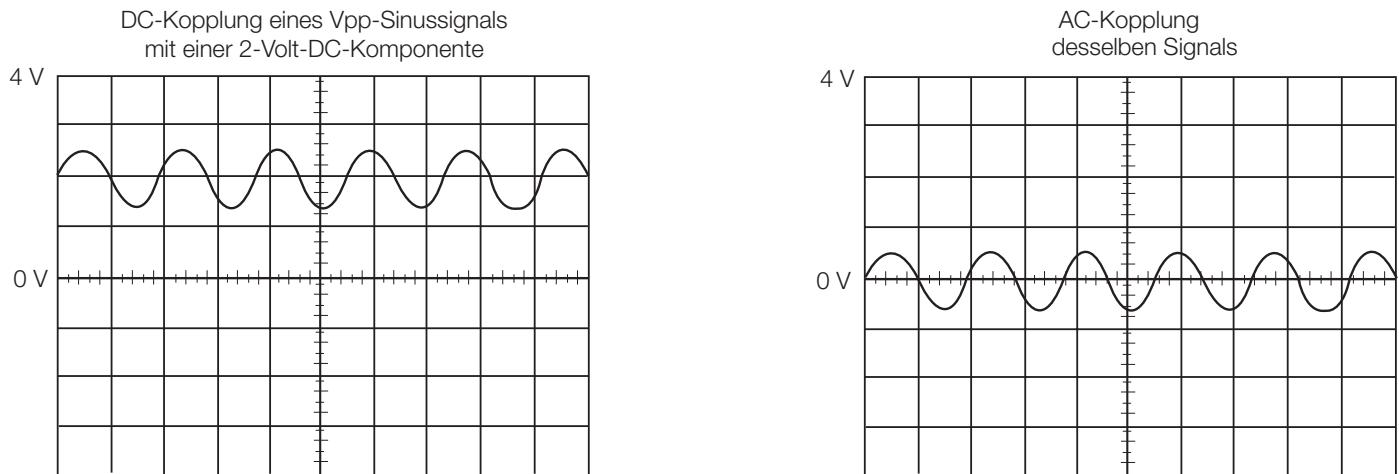


Abbildung 21. AC- und DC-Eingangskopplung.

## Vertikalsystem und Bedienelemente

Mit den Vertikal-Bedienelementen können Sie das Signal vertikal positionieren und skalieren sowie die Eingangskopplung und weitere Signalzustände einstellen.

### Position und Volt pro Skalenteil

Mit dem Bedienelement für die vertikale Positionierung können Sie das Signal nach oben oder nach unten genau an die gewünschte Stelle auf dem Bildschirm verschieben.

Die Einstellung „Volt-pro-Skalenteil“ (gewöhnlich als Volt/Div angegeben) ist ein Skalierungsfaktor, der die Größe des Signals auf dem Bildschirm ändert. Wenn die Einstellung für Volt/Div 5 Volt beträgt, stellt jeder der acht vertikalen Skalenteile 5 Volt dar, und der gesamte Bildschirm kann von unten nach oben 40 Volt darstellen, wenn ein Raster mit acht Skalenteilen vorliegt. Wenn die Einstellung 0,5 Volt/Div beträgt, kann der Bildschirm von unten nach oben 4 Volt darstellen usw. Die auf dem Bildschirm darstellbare maximale Spannung ist die Einstellung Volt/Div multipliziert mit der Anzahl der vertikalen Skalenteile. Es ist zu beachten, dass der verwendete Tastkopf, 1X oder 10X, ebenfalls den Skalierfaktor beeinflusst. Sie müssen die Volt/Teil-Skala durch den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs teilen, wenn das Oszilloskop dies für sie nicht übernimmt.

Häufig verfügt die Volt/Div-Skala über ein Bedienelement für variable Verstärkung oder Feineinstellung der Verstärkung zur Skalierung eines dargestellten Signals auf eine bestimmte Anteil von Skalenteilen. Verwenden Sie dieses Bedienelement zur Unterstützung bei Messungen der Anstiegszeit.

## Eingangskopplung

Kopplung bezieht sich auf die Methode, mit der ein elektrisches Signal von einer Schaltung mit einer anderen verbunden wird. In diesem Fall ist die Eingangskopplung die Verbindung zwischen Prüfling und Oszilloskop. Die Kopplung kann auf DC, AC oder Masse eingestellt werden. Bei der DC-Kopplung wird das ganze Eingangssignal dargestellt. Bei der AC-Kopplung wird der DC-Anteil des Signals unterdrückt, und das Signal wird um null Volt zentriert dargestellt. Abbildung 21 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 Vertikal-System. Dadurch lässt sich erkennen, wo auf dem Bildschirm Null Volt liegt. Bei geerdeter Eingangskopplung und automatischem Triggermodus wird auf dem Bildschirm eine horizontale Linie dargestellt, die Null Volt repräsentiert. Wenn von DC auf Masse und wieder zurück geschaltet wird, kann der Spannungspegel bezogen auf Masse einfach gemessen werden.

## Bandbreitenbegrenzung

Die meisten Oszilloskope besitzen eine Schaltung, welche die Bandbreite des Oszilloskops begrenzt. Durch die Begrenzung der Bandbreite wird das Rauschen reduziert, das manchmal auf dem dargestellten Signal auftritt. Das Ergebnis ist dann eine schärfere Signaldarstellung. Zu beachten ist, dass die Bandbreitenbegrenzung zwar das Rauschen eliminiert, jedoch dabei auch hochfrequente Signalanteile reduziert oder eliminiert werden können.

## Bandbreitenvergrößerung

Einige Oszilloskope sind mit einem arbiträren DSP-Entzerrungsfilter ausgestattet, mit dem der Oszilloskop-Frequenzgang verbessert werden kann. Dieses Filter vergrößert die Bandbreite, glättet den Oszilloskop-Kanalfrequenzgang, verbessert die Phasenlinearität und ermöglicht einen besseren Abgleich zwischen den Kanälen. Er verringert außerdem die Anstiegszeit und verbessert die Stufenantwort im Zeitbereich.

## Horizontalsystem und Bedienelemente

Das Horizontalssystem eines Oszilloskops ist eng mit der Eingangssignalerfassung verbunden – hier werden die Abtastrate und die Aufzeichnungslänge eingestellt. Die Horizontal-Bedienelemente dienen zur Positionierung und Skalierung des Signals entlang der horizontalen Achse.

### Erfassungs-Bedienelemente

Digitale Oszilloskope verfügen über Einstellungen, mit denen festgelegt werden kann, wie das Erfassungssystem ein Signal verarbeitet. Sehen Sie sich die Erfassungsoptionen auf Ihrem digitalen Oszilloskop an, während Sie diese Beschreibung lesen. Abbildung 22 zeigt das Beispiel eines Erfassungsmenüs.

### Erfassungsmodi

Über die Erfassungsmodi wird die Erzeugung von Signalpunkten anhand von Abtastpunkten gesteuert. Abtastpunkte sind die digitalen Werte, die der Analog-Digital-Wandler (ADW) direkt liefert. Das Abtastintervall bezieht sich auf die Zeitdauer zwischen den Abtastpunkten. Signalpunkte sind die digitalen Werte, die im Speicher gespeichert sind und dargestellt werden, um das Signal anzuzeigen. Die Zeitdifferenz zwischen den Signalpunkten wird als Signalintervall bezeichnet.

### Übliche Horizontale Bedienelemente sind:

- Zeitbasis
- XY
- Skala
- Strahl trennung
- Aufzeichnungslänge
- Auflösung
- Abtastrate
- Triggerposition
- Zoom/Verschieben
- Suchen

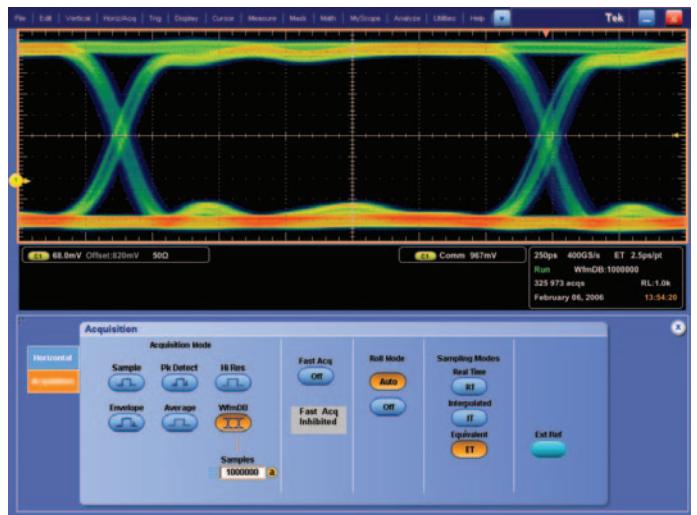
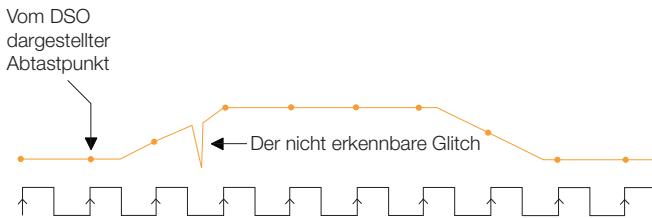


Abbildung 22. Beispiel für ein Erfassungsmenü.

Das Abtastintervall und das Signalintervall können übereinstimmen, müssen aber nicht gleich sein. Diese Tatsache führt zu mehreren verschiedenen Erfassungsmodi, bei denen ein Signal 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. Eine Beschreibung der am häufigsten verwendeten Erfassungsmodi folgt nachstehend.



**Abbildung 23.** Die Abtastrate ändert sich mit den Zeitbasis-Einstellungen – je langsamer die Zeitbasis-Einstellung, desto langsamer die Abtastrate. Einige digitale Oszilloskope bieten einen Spitzenwerterfassungsmodus zum Erfassen schneller Transienten bei niedrigen Ablenkgeschwindigkeiten.

### Erfassungsmodi

- **Abtastmodus:** Dies 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 in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese Punkte als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte. Bei digitalen Oszilloskopen mit Spitzenwerterfassungsmodus wird der AD-Wandler mit einer schnellen Abtastrate ausgeführt, sogar bei sehr niedrigen Zeitbasis-Einstellungen (langsame Zeitbasis-Einstellungen bedeuten lange Signalintervalle). Daher können schnelle Signaländerungen erfasst werden, die im Abtastmodus zwischen den Signalpunkten auftreten würden (siehe Abbildung 23). Der Spitzenwerterfassungsmodus ist besondere dann von Vorteil, wenn schmale Impulse in zeitlich großen Abständen dargestellt werden sollen (siehe Abbildung 24).
- **Hi-Res-Modus:** Wie die Spitzenwerterfassung ist auch der Hi-Res-Modus eine Methode, weitere Daten zu erhalten, wenn der AD-Wandler schneller abtasten kann, als dies durch die Zeitbasis-Einstellungen erforderlich ist. In diesem Fall wird aus mehreren Abtastungen innerhalb eines Signalintervalls der Mittelwert gebildet, um einen Signalpunkt zu erzeugen. Das Ergebnis ist verminderter Rauschen und eine verbesserte Auflösung bei Signalen mit niedriger Geschwindigkeit. Der Hi-Res-Modus hat gegenüber dem Mittelwert den Vorteil, dass er sogar bei Einzelschuss-Erfassungen verwendet werden kann.
- **Hüllkurvenmodus:** Der Hüllkurvenmodus ist dem Spitzenwerterfassungsmodus ähnlich. Im Hüllkurvenmodus werden jedoch die Minima und Maxima der Signalpunkte aus mehreren Erfassungen zu einem Signal zusammengesetzt, das die Min/Max-Akkumulation im Laufe der Zeit zeigt. Der Spitzenwerterfassungsmodus dient in der Regel zum Erfassen der Aufzeichnungen, die zur Darstellung des Hüllkurvensignals kombiniert werden.



**Abbildung 24.** Mit dem Spitzenwerterfassungsmodus kann das Oszilloskop extrem kurze transiente Anomalien erfassen.

- **Mittelwertmodus:** Im Mittelwertmodus speichert das Oszilloskop einen Abtastpunkt pro Signalintervall, genau wie im Abtastmodus. Die Signalpunkte aus aufeinanderfolgenden Erfassungen werden jedoch anschließend gemittelt, um das endgültige Signal zu erzeugen, das dargestellt wird. Der Mittelwertmodus verringert Rauschen ohne Bandbreitenverlust, setzt jedoch ein sich wiederholendes Signal voraus.
- **Signaldatenbankmodus:** Im Signaldatenbankmodus stellt das Oszilloskop eine Signaldatenbank zusammen, die ein dreidimensionales Array aus Amplitude, Zeit und Anzahl darstellt.

### Starten und Anhalten des Erfassungssystems

Einer der größten Vorteile von digitalen Oszilloskopen ist ihre Fähigkeit, Signale zur späteren Darstellung zu speichern. Dazu sind auf dem Bedienfeld gewöhnlich eine oder mehrere Tasten vorgesehen, mit denen das Erfassungssystem gestartet und angehalten werden kann, damit Sie die Signale ohne Zeitdruck analysieren können. Außerdem kann es wünschenswert sein, den Erfassungsvorgang des Oszilloskops nach Abschluss einer Erfassung oder nach Umwandlung einer Aufzeichnungsmenge in ein Hüllkurvensignal oder gemitteltes Signal automatisch anzuhalten. Diese Funktion wird in der Regel als Einzelablenkung oder Einzelsequenz bezeichnet. Die Bedienelemente dafür befinden sich entweder bei den anderen Erfassungs-Bedienelementen oder bei den Trigger-Bedienelementen.

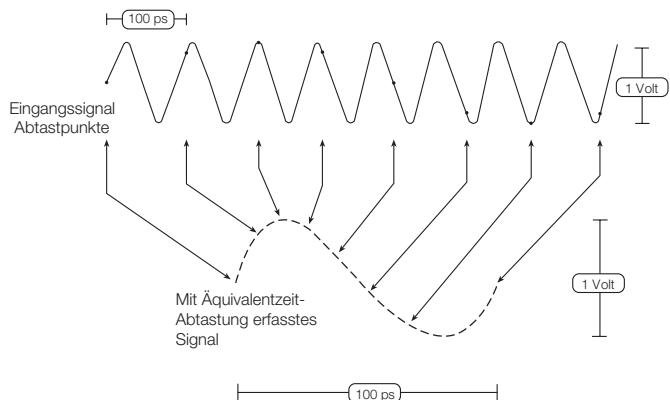


Abbildung 25. Grundlegende Abtastung. Die Abtastpunkte werden durch Interpolation verbunden und ergeben so ein durchgehendes Signal.

## Abtastung

Bei der Abtastung wird ein Teil eines Eingangssignals in eine Reihe von diskreten elektrischen Werten umgewandelt, 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 Anfertigung von Momentaufnahmen. Jede Momentaufnahme entspricht dabei einem bestimmten Zeitpunkt im Signal. Diese Momentaufnahmen können dann in der entsprechenden zeitlichen Reihenfolge angeordnet werden, um das Eingangssignal zu rekonstruieren.

Bei einem digitalen Oszilloskop wird ein Array von Abtastpunkten in einer Anzeige mit der gemessenen Amplitude auf der vertikalen Achse und der Zeit auf der horizontalen Achse rekonstruiert (siehe Abbildung 25).

Das Eingangssignal in Abbildung 25 wird als eine Reihe von Punkten auf dem Bildschirm dargestellt. Bei weit auseinander liegenden Punkten, die nur schwer als Signal interpretiert werden können, können die Punkte mit einem Verfahren, das als Interpolation bezeichnet wird, verbunden werden. Bei der Interpolation werden die Punkte durch Linien oder Vektoren miteinander verbunden. Es steht eine Reihe von Interpolationsmethoden zur Verfügung, die zur Erzeugung einer genauen Darstellung eines kontinuierlichen Eingangssignals verwendet werden können.

## Abtast-Bedienelemente

Bei einigen digitalen Oszilloskopen kann die Abtastmethode ausgewählt werden – entweder Echtzeitabtastung oder Äquivalentzeitabtastung. Die Erfassungs-Bedienelemente dieser Oszilloskope ermöglichen die Auswahl einer Abtastmethode zur Erfassung von Signalen. Es ist zu beachten, dass diese Auswahlmöglichkeit bei niedrigen Zeitbasis-Einstellungen keinen Unterschied macht und nur dann eine Auswirkung hat, wenn der AD-Wandler nicht schnell genug abtasten kann, um den Datensatz in einem Durchgang mit Signalpunkten zu füllen. Jede Abtastmethode hat bestimmte Vorteile, die von der Art der durchgeföhrten Messungen abhängen.

Moderne Oszilloskope besitzen in der Regel Bedienelemente, die die Wahl zwischen drei horizontalen Zeitbasis-Betriebsarten ermöglichen. Wenn Sie einfach Signaluntersuchungen durchführen und mit einem schnellen Signal interagieren möchten, verwenden Sie den automatischen oder interaktiven Standardmodus, der die schnellste Bildschirmaktualisierungsrate bietet. Wenn Sie eine präzise Messung und die höchste Echtzeit-Abtastrate, welche die größte Messgenauigkeit liefert, benötigen, wählen Sie den Betriebsmodus mit konstanter Abtastrate. Er ermöglicht die höchste Abtastrate und bietet die beste Echtzeit-Auflösung. Der letzte Modus ist der manuelle Modus, der die direkte und unabhängige Einstellung der Abtastrate und Aufzeichnungslänge ermöglicht.

## Echtzeit-Abtastmethode

Die Echtzeit-Abtastung eignet sich ideal für Signale, deren Frequenzbereich kleiner ist als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops. In diesem Fall kann das Oszilloskop in nur einer „Ablenkung“ des Signals ausreichend viele Punkte erfassen, um ein exaktes Signalbild zu erzeugen (siehe Abbildung 26). Echtzeit-Abtastung ist die einzige Möglichkeit zum Erfassen von schnellen, einmaligen, transienten Signalen mit einem digitalen Oszilloskop.

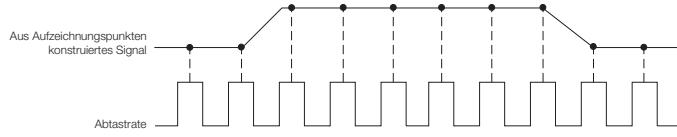


Abbildung 26. Echtzeit-Abtastmethode.

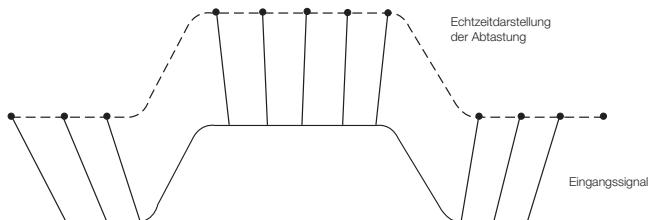


Abbildung 27. Damit dieser 10-ns-Impuls in Echtzeit erfasst werden kann, muss die Abtastrate hoch genug sein, um die Flanken genau zu definieren.

Echtzeit-Abtastung stellt die größte Herausforderung für digitale Oszilloskope dar, da zum exakten Digitalisieren hochfrequenter transienter Ereignisse eine sehr hohe Abtastrate erforderlich ist (siehe Abbildung 27). Diese Ereignisse treten nur einmal auf und müssen im Zeitraum ihres Auftretens erfasst werden.

Wenn die Abtastrate nicht hoch genug ist, können die hochfrequenten Anteile in eine niedrigere Frequenz „gefaltet“ werden und dadurch in der Darstellung Aliasing verursachen (siehe Abbildung 28). Außerdem wird Echtzeit-Abtastung durch den Hochgeschwindigkeitsspeicher, der zum Speichern des Signals nach der Digitalisierung erforderlich ist, noch weiter verkompliziert. Weitere Informationen über die erforderliche Abtastrate und Aufzeichnungslänge zur exakten Charakterisierung hochfrequenter Anteile finden Sie in den Abschnitten über die Abtastrate und Aufzeichnungslänge unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

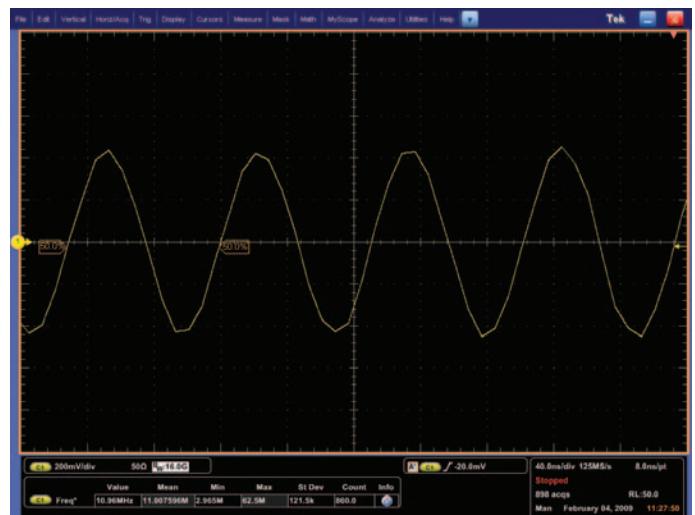
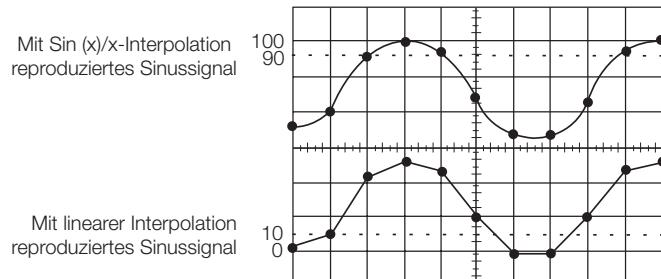


Abbildung 28. Die Unterabtastung eines 100-MHz-Sinussignals verursacht Aliasing-Effekte.

**Bei der Echtzeit-Abtastung mit Interpolation** erfassen digitale Oszilloskope diskrete Abtastungen des Signals, die dargestellt werden können. Es kann jedoch schwierig sein, das durch Punkte dargestellte Signal erkennbar zu machen, insbesondere da nur einige wenige Punkte die hochfrequenten Anteile des Signals darstellen können. Zur Unterstützung der Visualisierung von Signalen verfügen digitale Oszilloskope in der Regel über interpolationsgestützte Darstellungsmodi.

Einfach ausgedrückt werden bei der Interpolation Punkte miteinander verbunden, sodass ein Signal, das nur wenige Male pro Zyklus abgetastet wird, exakt dargestellt werden kann. Bei der Echtzeitabtastung mit Interpolation sammelt das Oszilloskop einige Abtastpunkte des Signals in einem Durchgang im Echtzeitmodus und füllt die Zwischenräume mithilfe von Interpolation auf. Die Interpolation ist ein Verarbeitungsverfahren zur Annäherung an das ursprüngliche Signal auf Basis von einigen wenigen Punkten.

Abbildung 29. Lineare und  $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation.

Bei der linearen Interpolation werden die Abtastpunkte durch gerade Linien verbunden. Diese Interpolationsmethode ist auf die Rekonstruktion von Signalen mit geraden Flanken beschränkt (siehe Abbildung 29) und besser für Rechtecksignale geeignet.

Die vielseitigere  $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation verbindet die Abtastpunkte durch Kurven (siehe Abbildung 29). Die  $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation ist ein mathematisches Verfahren, bei dem Punkte berechnet werden, welche die Zeit zwischen den tatsächlichen Abtastpunkten auffüllen. Diese Interpolationsart eignet sich für geschwungene und unregelmäßige Signalformen, die in der Praxis wesentlich häufiger auftreten als reine Rechtecksignale und -impulse. Daher ist die  $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation die bevorzugte Methode für Anwendungen, bei denen die Abtastrate drei- bis fünfmal größer ist als die Systembandbreite.

### Äquivalentzeit-Abtastmethode

Wenn hochfrequente Signale gemessen werden, ist das Oszilloskop möglicherweise nicht in der Lage, während eines Ablenkvorgangs genug Abtastpunkte zu erfassen. Die Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht die exakte Erfassung von Signalen, deren Frequenz größer ist als die Hälfte der Abtastrate des Oszilloskops (siehe Abbildung 30).

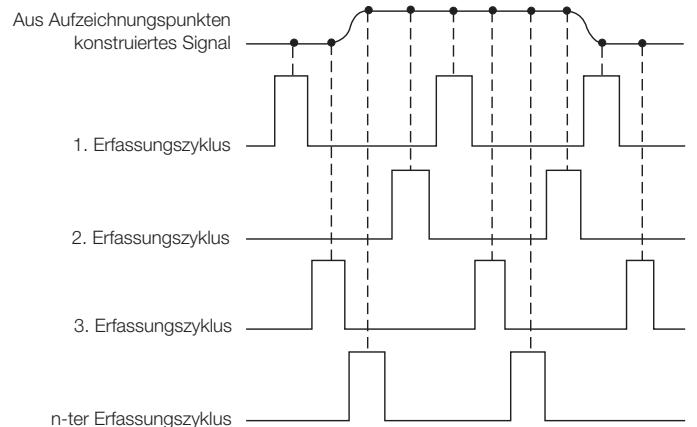
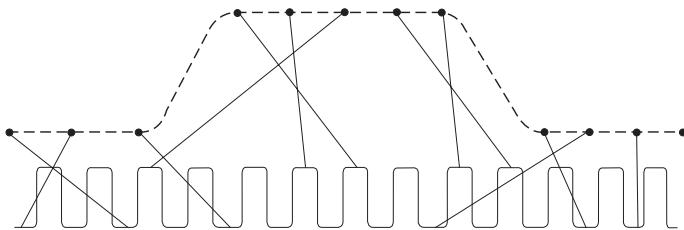


Abbildung 30. Einige Oszilloskope verwenden Äquivalentzeit-Abtastung zum Erfassen und Darstellen sehr schneller, repetitiver Signale.

Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) nutzen die Tatsache, dass die meisten natürlich auftretenden oder von Menschen erzeugten Ereignisse repetitiv sind. Bei der Äquivalentzeit-Abtastung wird ein Bild eines repetitiven Signals erstellt, indem bei jeder Wiederholung ein kleiner Informationsanteil erfasst wird. Das Signal wird langsam aufgebaut wie eine Lichterkette, bei der ein Licht nach dem anderen aufleuchtet. Dies ermöglicht dem Oszilloskop die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich schneller sind als die Abtastrate des Oszilloskops.

Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastmethoden: zufällig und sequenziell. Beide Methoden haben ihre Vorteile. Die zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht die Darstellung des Eingangssignals vor dem Trigger-Punkt, und zwar ohne Verwendung einer Verzögerungsleitung. Die sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung bietet eine wesentlich höhere zeitliche Auflösung und Genauigkeit. Beide Methoden setzen ein repetitives Eingangssignal voraus.

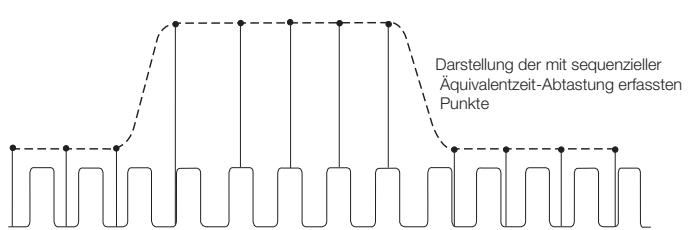


**Abbildung 31.** Bei der zufälligen Äquivalentzeit-Abtastung wird die Abtasttakt asynchron zum Eingangssignal und Trigger ausgeführt.

### Zufällige Äquivalentzeit-Abtastung

Zufalls-Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) verwenden einen internen Takt, der gegenüber dem Eingangssignal und dem Signal-Trigger asynchron ausgeführt wird (Abbildung 31). Abtastungen werden kontinuierlich unabhängig von der Trigger-Position durchgeführt und auf Basis der Zeitdifferenz zwischen der Abtastung und dem Trigger dargestellt. Obwohl die Abtastungen zeitlich sequenziell durchgeführt werden, erfolgen sie in Bezug auf den Trigger rein zufällig – daher die Bezeichnung zufällige Äquivalentzeit-Abtastung. Abtastpunkte erscheinen nach dem Zufallsprinzip entlang des Signals, wenn dieses auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt wird.

Die Fähigkeit zum Erfassen und Darstellen von Abtastungen vor dem Trigger-Punkte ist der entscheidende Vorteil dieser Abtastmethode, bei der externe Vortriggersignale oder Verzögerungsleitungen entfallen. Je nach der Abtastrate und dem Zeitfenster der Anzeige kann auch bei der zufälligen Abtastung mehr als eine Abtastung pro getriggertem Ereignis erfasst werden. Bei schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten wird das Erfassungsfenster jedoch immer schmäler, bis der Digitalisierer nicht mehr bei jedem Trigger abtasten kann. Häufig werden gerade bei diesen schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten sehr genaue Timing-Messungen durchgeführt, und hier ist die außergewöhnliche Zeitauflösung der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung von größtem Vorteil. Die Bandbreitenbegrenzung für die zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ist kleiner als für die sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung.



**Abbildung 32.** Bei der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung wird eine einzelne Abtastung für jeden erkannten Trigger nach einer Zeitverzögerung durchgeführt, die nach jedem Zyklus erhöht wird.

### Sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung

Bei der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung wird eine Abtastung pro Trigger durchgeführt, und zwar unabhängig von der Zeit/Div-Einstellung oder der Ablenkgeschwindigkeit (siehe Abbildung 32). Wenn ein Trigger erkannt wird, wird nach einer sehr kurzen, aber genau definierten Verzögerung eine Abtastung durchgeführt. Wenn der nächste Trigger auftritt, wird zu dieser Verzögerung ein kleines Zeitinkrement –  $\Delta t$  – addiert, 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. Die 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 relativ zum Trigger-Punkt zu messen, wie dies bei zufälligen Abtastungen erforderlich ist. Diese präzise gemessene Verzögerung ermöglicht die hervorragende Zeitauflösung der sequenziellen Abtastung. Da bei der sequenziellen Abtastung die Abtastung nach Ermitteln des Trigger-Pegels durchgeführt wird, kann der Trigger-Punkt nicht ohne analoge Verzögerungsleitung dargestellt werden. Dies kann wiederum die Bandbreite des Messgeräts verringern. Wenn ein externer Vortrigger bereitgestellt werden kann, wird die Bandbreite nicht beeinträchtigt.

## Position und Sekunden pro Skalenteil

Mit dem Bedienelement für die horizontale Position kann das Signal nach links und rechts genau an die gewünschte Stelle auf dem Bildschirm verschoben werden.

Die Sekunden-pro-Div-Einstellung (Sek/Skalenteil) 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 Skalenteil 1 ms dar und die gesamte Bildschirmbreite 10 ms bzw. zehn Skalenteile. Durch Ändern der Sek/Div-Einstellung können längere und kürzere Zeitintervalle des Eingangssignals angezeigt werden.

Wie die vertikale Volt/Teil-Skala kann auch die horizontale Sek/Teil-Skala eine variable Timing-Einstellung haben, sodass die horizontale Zeitskala zwischen den diskreten Einstellungen festgelegt werden kann.

## Zeitbasis-Optionen

Das Oszilloskop verfügt über eine Zeitbasis, die in der Regel als Hauptzeitbasis bezeichnet wird. Viele Oszilloskope verfügen auch über eine so genannte verzögerte Zeitbasis – eine Zeitbasis mit einer Ablenkung, die relativ zu einer vorbestimmten Zeit während der Hauptzeitbasis-Ablenkung starten kann (oder deren Start getriggert werden kann). Mit 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.

Die verzögerte Zeitbasis erfordert die Einstellung einer Zeitverzögerung und die mögliche Verwendung von verzögerten Trigger-Modi und anderen Einstellungen, die in diesem Einführungshandbuch nicht beschrieben werden. Informationen zur Verwendung dieser Funktionen finden Sie in dem mit Ihrem Oszilloskop gelieferten Handbuch.

## Zoom/Verschieben

Das Oszilloskop kann über spezielle horizontale Vergrößerungseinstellungen verfügen, mit denen ein vergrößerter Abschnitt des Signals am Bildschirm angezeigt werden kann. Einige Oszilloskope verfügen zusätzlich zur Zoomfunktion auch über eine Verschiebefunktion. Zum Einstellen des Zoomfaktors oder der Zoomskala sowie für die Verschiebung des Zoomfelds über dem Signal werden Drehknöpfe verwendet.

## Suchen

Einige Oszilloskope bieten Such- und Markierungsfunktionen, die bei langen Erfassungen eine schnelle Navigation für die Suche nach benutzerdefinierten Ereignissen ermöglichen.

## XY-Modus

Die meisten Oszilloskope verfügen über einen XY-Modus, mit dem auf der horizontalen Achse anstelle der Zeitbasis ein Eingangssignal dargestellt werden kann. Dieser Betriebsmodus eröffnet eine völlig neue Ära für Messverfahren im Bereich der Phasenverschiebung. Dies wird im Abschnitt „Oszilloskop-Messverfahren“ in diesem Einführungshandbuch erläutert.

## Z-Achse

Ein Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) stellt eine hohe Anzahl von Abtastwerten auf dem Bildschirm dar und besitzt die Fähigkeit, Intensitätsinformationen zu erfassen. Mit der Intensitätsache (Z-Achse) kann das DPO eine dreidimensionale Echtzeitdarstellung liefern, die der eines analogen Oszilloskops ähnlich ist. Wenn Sie die Signaldarstellung auf einem DPO betrachten, können Sie hellere Bereiche erkennen – das sind die Bereiche, in denen ein Signal am häufigsten auftritt. Diese Darstellung erleichtert die Unterscheidung zwischen der grundlegenden Signalform und einer Transienten, die nur selten auftritt – das grundlegende Signal erscheint wesentlich heller. Eine Anwendung der Z-Achse ist die Einspeisung speziell getakteter Signale in den separaten Z-Eingang, um in bekannten Intervallen hervorgehobene Markierungspunkte des Signals zu erzeugen.

## XYZ-Modus

Einige DPOs können den Z-Eingang verwenden, um eine XY-Anzeige mit Helligkeitsmodulation zu erzeugen. In diesem Fall tastet das DPO den Momentandatenwert 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 verwendet werden. Der XYZ-Modus eignet sich besonders zur Darstellung der Richtcharakteristiken, die häufig bei der Prüfung von drahtlosen Kommunikationsgeräten verwendet werden, wie z. B. ein Konstellationsdiagramm. Eine andere Methode zur Darstellung von XYZ-Daten ist die XYZ-Datensatzanzeige. In diesem Modus werden die Daten aus dem Erfassungsspeicher verwendet und nicht die DPO-Datenbank.

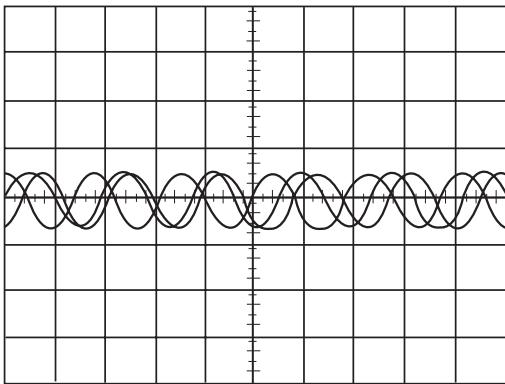


Abbildung 33. Ungetriggerte Darstellung.

## Triggersystem und Bedienelemente

Die Triggerfunktion eines Oszilloskops synchronisiert die horizontale Ablenkung am richtigen Signalpunkt. Dies ist für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend. Mithilfe von Trigger-Bedienelementen können repetitive Signale stabilisiert und Einzelschusssignale erfasst werden. Der Trigger lässt repetitive Signale auf der Oszilloskopanzeige statisch erscheinen, indem derselbe Teil des Eingangssignals wiederholt dargestellt wird. Die Darstellung auf dem Bildschirm wäre völlig unübersichtlich, wenn jede Ablenkung an einer anderen Stelle des Signals beginnen würde (siehe Abbildung 33).

Die bei analogen und digitalen Oszilloskopen verfügbare Flankentriggerung ist die grundlegende und häufigste Trigger-Art. Zusätzlich zur Schwellenwert-Triggerung, die sowohl bei analogen als auch bei digitalen Oszilloskopen verfügbar ist, bieten viele digitale Oszilloskope auch zahlreiche spezialisierte Trigger-Einstellungen, die bei analogen Messgeräten nicht vorhanden sind. Diese Trigger reagieren auf bestimmte Zustände des Eingangssignals. Dadurch lässt sich beispielsweise ein unzulässig schmaler Impuls leicht erkennen. Ein solcher Zustand könnte mit einem Spannungsschwellenwert-Trigger allein nicht erkannt werden.

Mithilfe von erweiterten Trigger-Bedienelementen können bestimmte zu untersuchende Ereignisse isoliert werden, um die Abtastrate und Aufzeichnungslänge des Oszilloskops zu optimieren. Die erweiterten Triggerfunktionen einiger Oszilloskope ermöglichen eine hochselektive Steuerung. Sie können auf Impulse triggern, die durch die Amplitude definiert werden (wie z. B. Runt-Impulse), die durch die Zeit qualifiziert werden (Impulsbreite, Glitch, Anstiegsrate, Setup-and-hold-Zeit und Timeout), und die durch einen logischen Zustand bzw. ein logisches Muster beschrieben werden (Logik-Trigger).

Zu den erweiterten Triggerfunktionen gehören:

- **Pattern Lock-Triggerung:** Die Pattern Lock-Triggerung fügt der seriellen Bitmuster-Triggerung für NRZ-kodierte Daten eine neue Dimension hinzu, indem sie dem

Oszilloskop ermöglicht, synchronisierte Erfassungen eines langen seriellen Prüfmusters mit extrem hoher Genauigkeit der Zeitbasis durchzuführen. Mithilfe von Pattern Lock-Triggerung kann zufälliger Jitter aus langen seriellen Datenmustern entfernt werden. Die Effekte bestimmter Bitübergänge können untersucht werden, und Mittelwertbildung kann mit Maskentests angewendet werden.

- **Serielle Bitmustertriggerung:** Die serielle Bitmuster-Triggerung kann für die Fehlersuche bei seriellen Architekturen verwendet werden. Dabei wird ein Trigger auf das serielle Muster eines seriellen NRZ-Datenstroms mit integrierter Taktrückgewinnung angewendet, und die Ereignisse auf der physikalischen Schicht und der Verbindungsschicht werden korreliert. Das Messgerät kann das Taktignal zurückgewinnen, Übergänge und ermöglicht es, die gewünschten kodierten Wörter für den seriellen Bitmustertrigger zur Erfassung festzulegen.
- **A- und B-Triggerung:** Einige Triggersysteme bieten mehrere Triggerarten nur für ein einzelnes Ereignis (A-Ereignis), wobei die Auswahl eines verzögerten Triggers (B-Ereignis) auf Flanken-Triggerung beschränkt ist. Sie bieten deshalb häufig keine Möglichkeit zum Zurücksetzen der Triggersequenz, wenn das B-Ereignis nicht auftritt. Moderne Oszilloskope können das ganze Spektrum erweiterter Triggerarten für A- und B-Trigger sowie die logische Qualifizierung zur Steuerung des Zeitpunkts zur Beobachtung dieser Ereignisse bieten. Sie ermöglichen außerdem zeitversetzte Triggerung, damit die Triggersequenz nach einem festgelegten Zeitpunkt, Zustand oder Übergang erneut beginnt. So können sogar Ereignisse in hochkomplexen Signalen erfasst werden.
- **Such- und Markierungstriggerung:** Hardware-Trigger können nur einen Ereignistyp gleichzeitig beachten, die Suchfunktion kann jedoch nach mehreren Ereignistypen gleichzeitig suchen. Ein Beispiel ist die Suche nach Setup-Zeit- und Hold-Zeit-Verletzungen auf mehreren Kanälen. Die Suchfunktion kann einzelne Markierungen zur Kennzeichnung der Ereignisse setzen, welche die Suchkriterien erfüllen.
- **Triggerkorrektur:** Da das Trigger- und das Datenerfassungssystem verschiedene Pfade gemeinsam nutzen, tritt zwischen der Triggerposition und den erfassten Daten eine inhärente zeitliche Verzögerung ein. Dies kann zu Versatz und Trigger-Jitter führen. Mit einem Triggerkorrektursystem passt das Messgerät die Triggerposition an und gleicht die Verzögerungsdifferenz zwischen Triggerweg und Datenerfassungsweg aus. Dadurch kann praktisch jeglicher Trigger-Jitter am Triggerpunkt eliminiert werden. In diesem Modus kann der Triggerpunkt als Messreferenz verwendet werden.

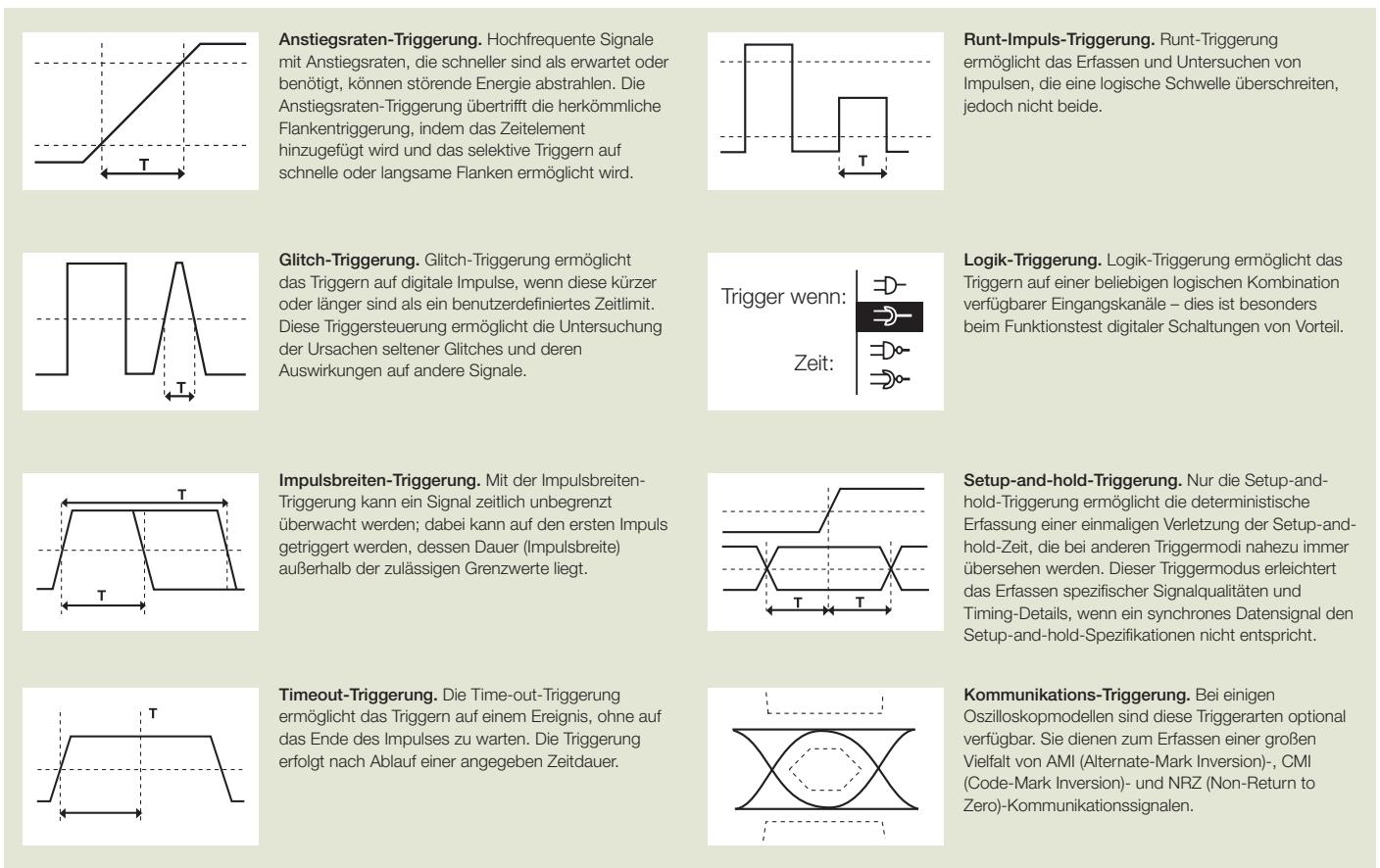


Abbildung 34. Gängige Triggerarten.

- **Bitmustertriggerung auf bestimmte Standardsignale (I2C, CAN, LIN usw.)** – Einige Oszilloskope ermöglichen das Triggern auf bestimmten Signaltypen für serielle Standard-Datensignale wie CAN, LIN, I2C, SPI und andere. Die Dekodierung dieser Signaltypen ist auf vielen heutigen Oszilloskopen ebenfalls verfügbar.
- **Parallelbus-Triggerung** – Mehrere Parallelbusse können gleichzeitig definiert und dargestellt werden, um die Darstellung dekodierter Parallelbusdaten in Abhängigkeit von der Zeit zu vereinfachen. Indem festgelegt wird, welche Kanäle die Takt- und Datenleitungen sind, kann auf einigen Oszilloskopen eine Parallelbusanzeige erstellt werden, die den Businhalt automatisch dekodiert. Zahllose Arbeitsstunden können eingespart werden, indem Parallelbus-Trigger zur Vereinfachung der Erfassung und Analyse eingesetzt werden.

Optionale Trigger-Bedienelemente in einigen Oszilloskopen sind speziell auch für die Untersuchung von Kommunikationssignalen bestimmt. In Abbildung 34 werden einige dieser gängigen Triggerarten ausführlicher dargestellt. Die intuitive Benutzeroberfläche, die in einigen Oszilloskopen verfügbar ist, ermöglicht die rasche Konfiguration von Trigger-Parametern mit hoher Flexibilität beim Prüfungsaufbau, damit Sie Ihre Produktivität maximieren können.

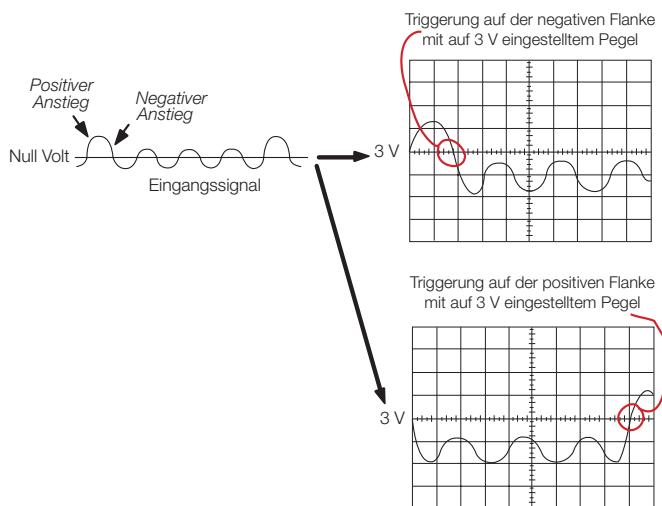


Abbildung 35. Triggerung auf der positiven und negativen Flanke.

### Triggerposition

Das Bedienelement für die horizontale Triggerposition ist nur auf digitalen Oszilloskopen verfügbar. Das Bedienelement für die Triggerposition kann im Bedienabschnitt für die horizontalen Einstellungen des Oszilloskops enthalten sein. Es stellt die horizontale Position des Triggers in der Signalaufzeichnung dar.

Durch Änderung der horizontalen Triggerposition lassen sich Einblicke in das Signalverhalten vor einem Trigger-Ereignis gewinnen. Dies wird als Vortrigger-Darstellung bezeichnet. Dabei wird die Länge des darstellbaren Signals vor und nach einem Triggerpunkt bestimmt.

Digitale Oszilloskope können die Vortrigger-Anzeige ermöglichen, da sie das Eingangssignal laufend verarbeiten, unabhängig davon, ob ein Trigger empfangen wurde oder nicht. Durch das Oszilloskop fließt ein konstanter Datenstrom; der Trigger weist das Oszilloskop nur an, die aktuellen Daten im Speicher zu sichern.

Im Gegensatz dazu stellen analoge Oszilloskope das Signal nur dar, d. h. es wird auf dem Kathodenstrahlbildschirm angezeigt, nachdem der Trigger erhalten wurde. Die Vortrigger-Darstellung ist daher bei analogen Oszilloskopen nicht verfügbar, ausgenommen ein kleiner Vortrigger-Anteil durch eine Verzögerungsleitung im Vertikalsystem.

Die Vortrigger-Darstellung ist eine wertvolles Hilfsmittel für die Fehlersuche. Wenn ein Problem intermittierend auftritt, können Sie auf dem Problem triggern, die Ereignisse aufzeichnen, die zu dem Problem führen, und dadurch möglicherweise die Ursache feststellen.

### Triggerpegel und Flanke

Die Bedienelemente für Triggerpegel und Flanke ermöglichen die grundlegende Triggerpunktdefinition und bestimmen, wie ein Signal dargestellt wird (siehe Abbildung 35).

Die Trigger-Schaltung fungiert als Komparator. Flanke und Spannungspegel werden an einem Eingang des Komparators ausgewählt. Wenn das Triggersignal am anderen Komparatoreingang mit diesen Einstellungen übereinstimmt, erzeugt das Oszilloskop einen Trigger.

Die Flankensteuerung bestimmt, ob der Triggerpunkt auf der ansteigenden oder abfallenden Flanke eines Signals liegt. Eine ansteigende Flanke ist eine positive Flanke, eine abfallende Flanke ist eine negative Flanke. Die Pegelsteuerung bestimmt, wo auf der Flanke der Triggerpunkt liegt.

### Trigger-Quellen

Das Oszilloskop muss nicht unbedingt auf dem dargestellten Signal getriggert werden. Mehrere Quellen können die Ablenkung triggern:

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

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

Das Oszilloskop kann eine alternative Triggerquelle 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.

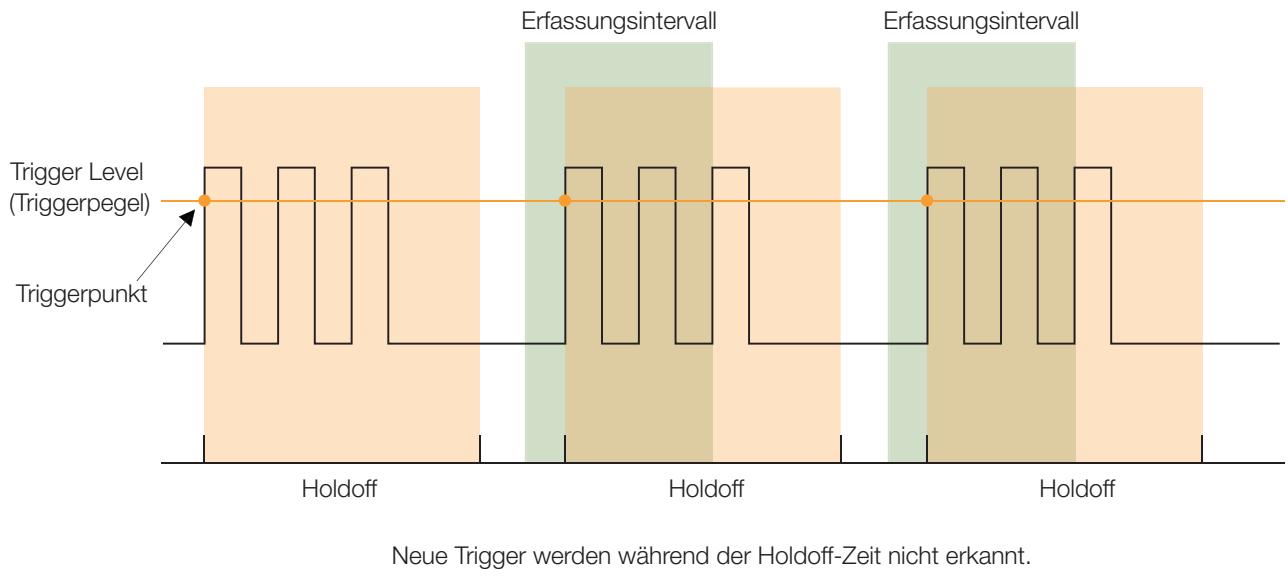


Abbildung 36. Trigger-Holdoff.

## Triggermodi

Der Triggermodus bestimmt, ob das Oszilloskop ein Signal auf der Grundlage eines Signalzustands darstellt oder nicht. Übliche Triggermodi sind Normal und Auto.

Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur dann eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den eingestellten Triggerpunkt erreicht. Ansonsten ist der Bildschirm leer (bei einem analogen Oszilloskop), oder er ist auf dem zuletzt erfassten Signal eingefroren (bei einem digitalen Oszilloskop). Der Normal-Modus kann verwirrend sein, da das Signal u. U. zunächst nicht sichtbar ist, wenn die Pegelsteuerung nicht korrekt eingestellt ist.

Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop selbst dann eine Ablenkung, wenn kein Trigger anliegt. Wenn kein Signal vorhanden ist, triggert ein Zeitgeber im Oszilloskop die Ablenkung. Dies gewährleistet, dass die Anzeige nicht ausgeblendet wird, wenn das Signal keinen Trigger auslöst.

In der Praxis werden Sie wahrscheinlich beide Modi verwenden: Den Normal-Modus, weil Sie damit das zu untersuchende Signal auch bei niedrigen Triggerraten darstellen können, und den Auto-Modus, weil er weniger Einstellungen erfordert.

Viele Oszilloskope bieten auch Spezialmodi für einzelne Ablenkungen, für die Triggerung auf Videosignalen oder für die automatische Einstellung des Triggerpegels.

## Trigger-Kopplung

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

Außer der AC- und DC-Kopplung kann das Oszilloskop auch über eine Triggerkopplung für Hochfrequenzunterdrückung, Niederfrequenzunterdrückung und Rauschunterdrückung verfügen. Diese Sondereinstellungen sind besonders hilfreich zum Eliminieren von Rauschen aus dem Triggersignal, um falsche Triggerung zu vermeiden.

## Trigger-Holdoff

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

Trigger-Holdoff ist eine einstellbare Zeitperiode nach einem gültigen Trigger, während der das Oszilloskop nicht triggern kann. Diese Funktion ist beim Triggern auf komplexe Signalformen von Vorteil, damit das Oszilloskop nur auf einen geeigneten Triggerpunkt triggert. Abbildung 36 zeigt, wie mit Trigger-Holdoff eine verwendbare Darstellung erzeugt werden kann.

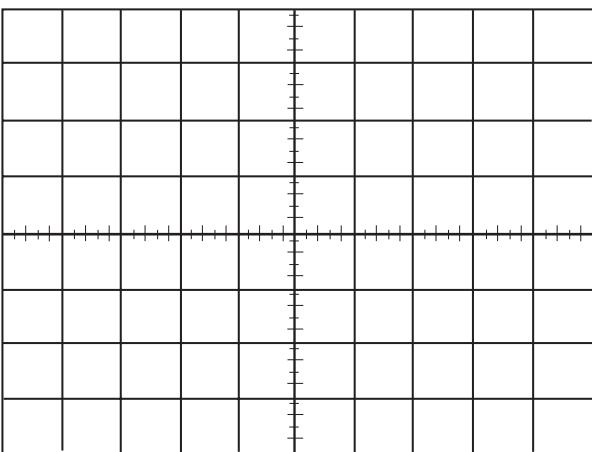


Abbildung 37. Ein Oszilloskop-Raster.

## Anzeigesystem und Bedienelemente

Das vordere Bedienfeld eines Oszilloskops umfasst einen Anzeigebildschirm und die Drehknöpfe, Tasten, Schalter und Anzeigen, mit denen die Signalerfassung und -darstellung eingestellt wird. Wie am Anfang dieses Abschnitts erwähnt, sind die Bedienelemente des vorderen Bedienfelds in der Regel in die Abschnitte Vertikal, Horizontal und Trigger gegliedert. Außerdem umfasst das vordere Bedienfeld auch Eingangsanschlüsse.

Sehen Sie sich den Oszilloskopbildschirm an. Beachten Sie die Rastermarkierungen auf dem Bildschirm – sie erzeugen das Raster. Jede vertikale und horizontale Linie stellt einen Hauptteil dar. Der Raster ist in der Regel mit 8x10 oder 10x10 Skalenteilen ausgelegt. Die Beschriftung der Oszilloskop-Bedienelemente (wie z. B. Volt/Div und Sek/Div) bezieht sich immer auf die Hauptteile. Die Strichmarkierungen auf den mittleren horizontalen und vertikalen Rasterlinien werden als Feinunterteilungen bezeichnet (siehe Abbildung 37). Viele Oszilloskope zeigen auf dem Bildschirm an, wie viele Volt jeder vertikale Teil und wie viele Sekunden jeder horizontale Teil darstellt.

## Weitere Bedienelemente des Oszilloskops

### Mathematik- und Messoperationen

Ihr Oszilloskop bietet möglicherweise auch Operationen, mit denen Sie Signale addieren und so eine neue Signaldarstellung erzeugen können. Analoge Oszilloskope kombinieren die Signale, während digitale Oszilloskope neue Signale auf mathematischem Weg erstellen. Das Subtrahieren von Signalen ist eine weitere mathematische Operation. Die Subtraktion ist bei analogen Oszilloskopen möglich, indem die Kanalinvertierungsfunktion auf ein Signal angewendet und

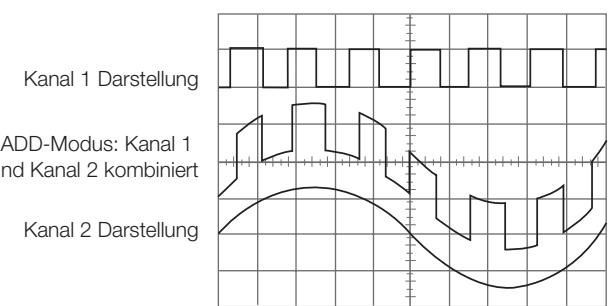


Abbildung 38. Hinzufügen von Kanälen.

dann die Additionsoperation verwendet wird. Bei digitalen Oszilloskopen ist in der Regel eine Subtraktionsoperation verfügbar. Abbildung 38 zeigt ein drittes Signal, das durch die Kombination von zwei verschiedenen Signalen erzeugt wurde.

Mithilfe ihrer leistungsfähigen internen Prozessoren bieten digitale Oszilloskope viele fortgeschrittene mathematische Operationen an: Multiplikation, Division, Integration, FFT-Funktion (Fast-Fourier-Transformation) und mehr. Mit diesen erweiterten Signalverarbeitungsfunktionen können auch Aufgaben ausgeführt werden, wie z. B. das Einfügen eines Blockfilters, der verwendet werden kann, um die Merkmale der Vorrichtung auf dem Prüfling herauszufiltern, oder um einen Filterblock mit dem gewünschten Frequenzgang zu implementieren, wie z. B. ein Tiefpassfilter. Das Schaltungsmodul ist flexibel und nicht spezialisiert; es kann als frei wählbarer Filter fungieren, beispielsweise zur Simulation von Pre-Emphasis/De-Emphasis-Schemata.

### Digitale Timing- und Zustandserfassungen

Die Digitalkanäle eines Mixed-Signal-Oszilloskops bieten einen Funktionsumfang zur Erfassung, der dem von Logikanalysatoren ähnlich ist. Es gibt zwei grundlegende Methoden der digitalen Erfassung. Die erste Methode ist die Timing-Erfassung, bei der das Mixed-Signal-Oszilloskop das digitale Signal in gleichmäßigen Zeitabständen entsprechend der Abtastrate des MSO erfasst. Der an den einzelnen Abtastpunkten erfasste logische Zustand des Signals wird gespeichert und zur zeitabhängigen Darstellung des Signals herangezogen. Die zweite Methode der digitalen Erfassung ist die Zustandserfassung. Bei der Zustandserfassung werden spezielle Zeitpunkte definiert, an denen der logische Zustand des Signals gültig und stabil ist. Dies ist die übliche Vorgehensweise bei synchronen und getakteten digitalen Schaltungen. Über ein Taktsignal wird festgelegt, wann der Zustand des digitalen Signals gültig ist. Ein Beispiel dafür ist eine D-Flipflop-Schaltung mit positiver Flankentriggerung,

für deren Eingangssignal der stabile Zustand um die steigende Taktflanke herum liegt. Der stabile Zustand für das Ausgangssignal derselben Schaltung liegt im Bereich der abfallenden Flanke. Da die Taktdauer einer synchronen Schaltung nicht unbedingt konstant ist, weisen Zustandserfassungen anders als die Timing-Erfassung möglicherweise unterschiedliche Zeitabstände auf.

Die digitalen Kanäle eines Mixed-Signal-Oszilloskops erfassen digitale Signale auf dieselbe Weise wie ein Logikanalysator im Timing-Erfassungsmodus. Das Mixed-Signal-Oszilloskop dekodiert dann die Timing-Erfassung und zeigt den getakteten Bus und eine Ereignistabelle dar, die wiederum der Anzeige eines Logikanalysators im Zustandserfassungsmodus gleicht und wichtige Informationen bei der Fehlersuche liefert.

Es wurden die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente beschrieben, deren Kenntnis für Einsteiger wichtig ist.

Ihr Oszilloskop kann noch weitere Bedienelemente für verschiedene Funktionen haben. Dazu gehören möglicherweise:

- Automatische parametrische Messungen
- Messcursor
- Numerische Tastenfelder für mathematische Operationen oder Dateneingabe
- Druckfunktionen
- Schnittstellen zum Anschließen des Oszilloskops an einen Computer oder direkt an das Internet

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

## Das vollständige Mess-System

### Tastköpfe

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

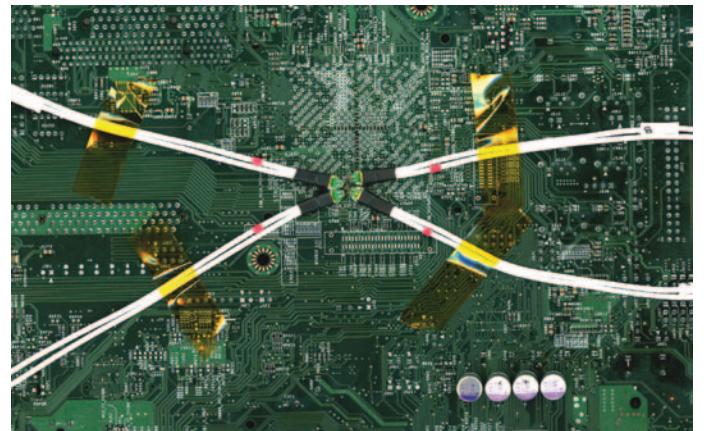


Abbildung 39. Dichtgepackte Bauteile und Systeme erfordern Tastköpfe mit kleinen Formfaktoren.

Um eine genaue Rekonstruktion des Signals sicherzustellen, sollten Sie einen Tastkopf wählen, der zusammen mit dem Oszilloskop die Taktrate um das Fünffache übersteigt.

Tastköpfe werden zum Bestandteil der Schaltung und erzeugen resistive, kapazitive und induktive Lasten, welche die Messung zwangsläufig ändern. Um die genauesten Ergebnisse zu erhalten, sollte ein Tastkopf mit möglichst geringer Last ausgewählt werden. Eine ideale Kombination des Tastkopfs mit dem Oszilloskop minimiert diese Last und ermöglicht es, den gesamten Leistungs- und Funktionsumfang des Oszilloskops zu nutzen.

Ein weiteres Kriterium, das beim Tastkopf zu beachten ist, ist der Formfaktor. Tastköpfe mit kleinem Formfaktor gewähren leichteren Zugang zu den dicht gepackten Schaltungen von heute (siehe Abbildung 39).

Es folgt eine kurze Beschreibung der verschiedenen Tastkopfarten. Weitere Informationen über diese wichtige Komponente des Mess-Systems finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „ABC der Tastköpfe“.



Abbildung 40. Ein üblicher passiver Tastkopf mit Zubehör.

## Passive Tastköpfe

Zum Messen üblicher Signal- und Spannungspegel sind passive Tastköpfe eine einfach zu handhabende Lösung für viele Anwendungen zu einem günstigen Preis. Die Kombination eines passiven Spannungstastkopfs mit einem Stromtastkopf ergibt eine ideale Lösung für Leistungsmessungen.

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

Der 10X (gelesen als „zehnfach“) gedämpfte Tastkopf reduziert die Schaltungsbelastung gegenüber einem 1X-Tastkopf und ist ein ausgezeichneter passiver Allzwecktastkopf. Die Schaltungsbelastung wird bei höheren Frequenzen und/oder Signalquellen mit höherer Impedanz ausgeprägter. Analysieren Sie daher unbedingt die Belastungsinteraktionen zwischen Signal und Tastkopf, bevor Sie einen Tastkopf auswählen. Der 10X gedämpfte Tastkopf verbessert die Genauigkeit der Messungen, verringert jedoch gleichzeitig die Amplitude des Signals am Oszilloskopeingang um den Faktor 10.

Da das Signal gedämpft wird, erschwert der 10X gedämpfte Tastkopf die Untersuchung von Signalen mit weniger als 10 Millivolt Spitze-Spitze. Der 1X-Tastkopf ist dem 10X gedämpften Tastkopf ähnlich, er hat jedoch keine Dämpfungsschaltung. Ohne diese Schaltung wird der Prüfling stärker beeinflusst.

Verwenden Sie den 10X gedämpften Tastkopf als Allzwecktastkopf, halten Sie jedoch den 1X-Tastkopf griffbereit, um Signale mit geringer Geschwindigkeit und geringer Amplitude messen zu können. Einige Tastköpfe verfügen über eine benutzerfreundliche 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 automatisch erkennen, ob ein 1X- oder ein 10X-Tastkopf verwendet wird, und stellen die Messanzeige entsprechend ein. Bei einigen Oszilloskopen müssen Sie die verwendete Tastkopfart jedoch einstellen oder die entsprechenden 1X- oder 10X-Markierungen des Volt/Div-Bedienelements ablesen.

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

Passive Tastköpfe, wie z. B. der in Abbildung 40 dargestellte Tastkopf, sind ausgezeichnete Allzwecktastköpfe. Allzwecktastköpfen können jedoch Signale mit extrem schnellen Anstiegszeiten nicht genau messen und belasten empfindliche Schaltungen möglicherweise übermäßig. Die ständig schneller werdenden Signaltaktraten und Flankengeschwindigkeiten erfordern Tastköpfe für höhere Geschwindigkeiten mit geringerer Schaltungsbelastung. Schnelle aktive und Differentialtastköpfe sind die ideale Lösung zum Messen von Hochgeschwindigkeits- und/oder Differenzsignalen.

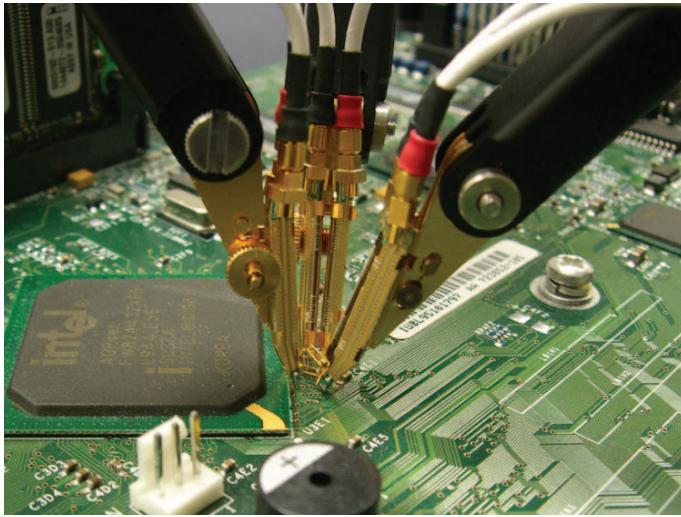


Abbildung 41. Hochleistungstastköpfe sind entscheidend, wenn schnelle Taktraten und Flanken gemessen werden müssen, die in modernen Computerbussen und Datenübertragungsleitungen auftreten.

## Aktive und Differentialtastköpfe

Zunehmende Signalgeschwindigkeiten und Niederspannungs-Logikfamilien erschweren den Erhalt genauer Messergebnisse. Signaltreue und Belastung des Prüflings sind kritische Punkte. Eine vollständige Messlösung bei diesen hohen Geschwindigkeiten umfasst Hochgeschwindigkeitstastkopf-Lösungen mit hoher Signalgüte, die der Leistungsfähigkeit des Oszilloskops entsprechen (siehe Abbildung 41).

Aktive und Differentialtastköpfe verwenden speziell entwickelte integrierte Schaltungen, damit das Signal während der Einspeisung und Übertragung an das Oszilloskop nicht verändert wird, und stellen dadurch die Signalintegrität sicher. Beim Messen von Signalen mit schnellen Anstiegszeiten liefert ein aktiver Hochgeschwindigkeits- oder Differentialtastkopf genauere Ergebnisse (siehe Abbildung 42).

Neuere Tastkopfarten bieten den Vorteil, dass mit einer Konfiguration drei Arten von Messungen durchgeführt werden können, ohne dass die Anschlüsse an der Tastkopfspitze geändert werden müssen. Diese Tastköpfe ermöglichen Messungen im Differentialmodus, asymmetrischen Modus und Normalmodus mit ein und derselben Tastkopfkonfiguration.

## Logiktastköpfe

Der in Abbildung 43 dargestellte Tastkopf bietet zwei Kopfstecker mit jeweils acht Kanälen. Jeder Kanal endet in einer Tastkopfspitze, die sich durch einen zurückgesetzten Erdungsanschluss auszeichnet. Dies ermöglicht einen einfacheren Anschluss an den Prüfling. Das Koax-Kabel

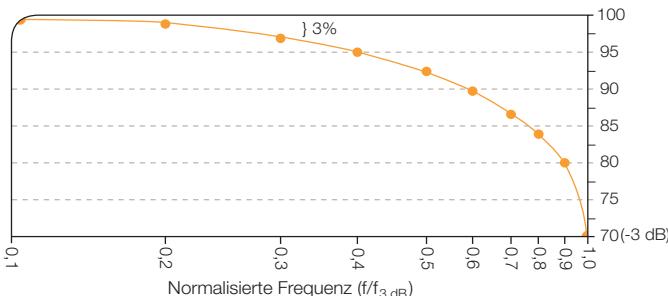


Abbildung 42. Differentialtastköpfe sind in der Lage, Gleichtaktrauschen von dem zu untersuchenden Signalanteil in den schnellen Niederspannungsanwendungen von heute zu separieren. Dies ist besonders wichtig, da digitale Signale immer weiter unter die üblichen Rauschgrenzwerte in integrierten Schaltungen zurückfallen.



Abbildung 43. Logiktastköpfe für ein Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO) machen den digitalen Anschluss an das Gerät einfach.

des ersten Kanals jedes Kopfsteckers ist in blauer Farbe gehalten und damit einfach zu erkennen. Die gemeinsame Erdung ist mit einem Stecker ausgestattet, der das Erstellen individueller Erdungen für den Anschluss an den Prüfling vereinfacht. Zum Anschließen an Flachstecker kann ein Adapter für die Tastkopfspitze verwendet werden. Dadurch wird die Tastkopferdung so verlängert, dass sie bündig mit der Tastkopfspitze abschließt und die Tastkopfspitze mit einem Kopfstecker verbunden werden kann. Diese Tastköpfe bieten außergewöhnliche elektrische Eigenschaften bei minimaler kapazitiver Belastung.



**Abbildung 44.** Die Oszilloskop-Bandbreite ist die Frequenz, bei der ein sinusförmiges Eingangssignal auf 70,7 % der tatsächlichen Signalamplitude gedämpft wird – dieser Wert wird als „-3 dB“-Punkt bezeichnet.

## Spezialtastköpfe

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Tastkopfarten gibt es auch eine Reihe von Spezialtastköpfen und -tastkopfsystemen. Dazu gehören Strom-, Hochspannungs- und optische Tastköpfe, um nur einige zu nennen.

## Tastkopfzubehör

Viele moderne Oszilloskope verfügen über spezielle automatisierte Funktionsmerkmale, die in die Eingänge und zugehörigen Tastkopfanschlüsse integriert sind. Bei intelligenten Tastkopschnittstellen wird beim Anschließen des Tastkops an das Messgerät das Oszilloskop über den Dämpfungsfaktor des Tastkops benachrichtigt. Daraufhin skaliert das Oszilloskop die Anzeige so, dass die Tastkopfdämpfung in der Messwertanzeige auf dem Bildschirm berücksichtigt wird. Einige Tastkopschnittstellen erkennen auch die Art des Tastkops – passiv, aktiv oder Stromtastkopf. Die Schnittstelle kann als Gleichstromquelle für die Tastköpfe dienen. Aktive Tastköpfe verfügen über ihre eigene Verstärker- und Pufferschaltung, die Gleichstrom benötigt.

Erdungskabel und Tastkopfzubehör sind ebenfalls erhältlich, um die Signalintegrität beim Messen von Hochgeschwindigkeitssignalen zu verbessern. Erdungskabel-Adapter sorgen für flexiblen Abstand zwischen der Tastkopfspitze und den Erdungskabelanschlüssen am Prüfling, unter gleichzeitiger Beibehaltung sehr kurzer Kabellängen zwischen Tastkopfspitze und Prüfling.

Weitere Informationen über Tastköpfe und Tastkopfzubehör finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „ABC der Tastköpfe“.

## Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

Wie bereits erwähnt, entspricht ein Oszilloskop in gewissem Sinn einer Kamera, die Signalbilder erfasst, welche anschließend betrachtet und interpretiert werden können. Verschlusszeit, Beleuchtung, Blendenöffnung und die DIN/ASA-Lichtempfindlichkeit des Films beeinflussen die Fähigkeit der Kamera, ein Bild klar und genau aufzunehmen.

Wie die grundlegenden Eigenschaften eines Oszilloskops beeinflussen auch die Leistungskriterien eines Oszilloskops auf signifikante Weise seine Fähigkeit, die erforderliche Signalintegrität zu erreichen.

Das Erwerben neuer Kenntnisse umfasst häufig auch das Erlernen eines neuen Vokabulars. Dies gilt auch für das Erlernen des Umgangs mit einem Oszilloskop. Dieser Abschnitt beschreibt einige hilfreiche Mess- und Oszilloskopleistungsbegriffe. Diese Begriffe dienen zur Beschreibung der Kriterien, mit denen Sie das richtige Oszilloskop für Ihre Anwendung auswählen können. Das Verständnis dieser Begriffe hilft Ihnen, Ihr Oszilloskop zu bewerten und mit anderen Modellen zu vergleichen.

## Bandbreite

Die Bandbreite bestimmt die grundlegende Fähigkeit eines Oszilloskops, ein Signal zu messen. Mit steigender Signalfrequenz verringert sich die Fähigkeit des Oszilloskops, 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 tatsächlichen Signalamplitude gedämpft wird. Dieser Wert wird entsprechend der logarithmischen Notation auch als „-3 dB“-Punkt bezeichnet (siehe Abbildung 44).

Ohne ausreichende Bandbreite ist das Oszilloskop nicht in der Lage, hochfrequente Änderungen zu erfassen. Die Amplitude wird verzerrt. Die Flanken sind kaum sichtbar. Details gehen verloren. Ohne ausreichende Bandbreite haben alle Funktionsmerkmale, Sonderfunktionen und Extras des Oszilloskops keine Bedeutung.

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

$$\text{Oszilloskop-Bandbreite} \geq \frac{\text{Höchster Frequenzanteil}}{\text{des Signals}} \times 5$$

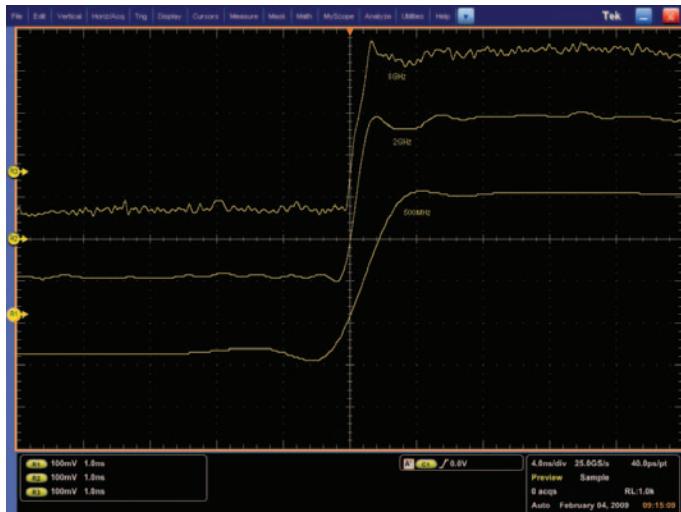


Abbildung 45. Je höher die Bandbreite, desto genauer die Reproduktion des Signals, wie hier mit einem Signal veranschaulicht, das bei den Bandbreitenwerten 250 MHz, 1 GHz und 4 GHz erfasst wurde.

Ein mit der Fünffach-Regel ausgewähltes Oszilloskop ergibt bei den Messungen eine Fehlerrate von weniger als  $\pm 2\%$ . Dies ist in der Regel für heutige Anwendungen ausreichend. Mit zunehmender Signalgeschwindigkeit kann es jedoch unmöglich werden, diese Faustregel zu erfüllen. Es ist grundsätzlich zu beachten, dass eine höhere Bandbreite eine genauere Reproduktion des Signals ermöglicht (siehe Abbildung 45).

Einige Oszilloskope bieten eine Methode zur Vergrößerung der Bandbreite durch digitale Signalverarbeitung. Ein arbiträrer DSP-Entzerrungsfilter kann verwendet werden, um die Kanalantwort des Oszilloskops zu verbessern. Dieser Filter vergrößert die Bandbreite, glättet den Kanalfrequenzgang des Oszilloskops, verbessert die Phasenlinearität und ermöglicht einen besseren Abgleich zwischen den Kanälen. Er verringert außerdem die Anstiegszeit und verbessert die Stufenantwort im Zeitbereich.

## Anstiegszeit

In digitalen Schaltungen sind Messungen der Anstiegszeit von kritischer Bedeutung. Die Anstiegszeit kann ein besser geeignetes Leistungskriterium sein, wenn digitale Signale, wie z. B. Impuls- und Treppensignale, gemessen werden sollen. Wie in Abbildung 46 dargestellt, muss das Oszilloskop über eine ausreichend schnelle Anstiegszeit verfügen, um die Einzelheiten schneller Übergänge genau erfassen zu können.

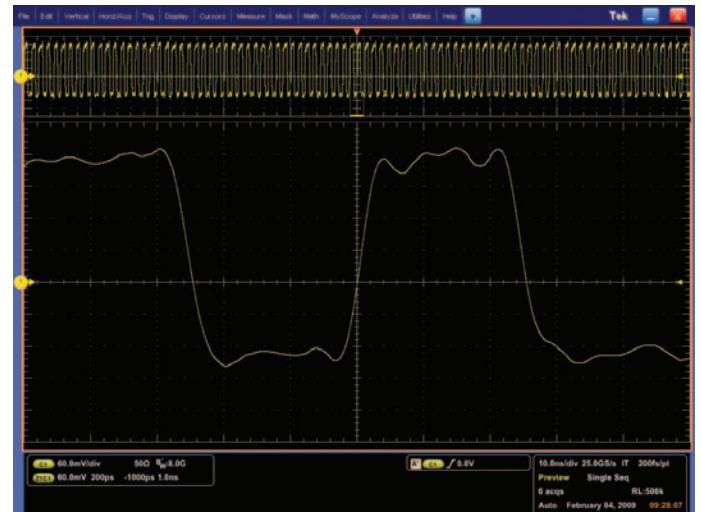


Abbildung 46. Charakterisierung der Anstiegszeit eines digitalen Hochgeschwindigkeitssignals.

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

$$\text{Oszilloskop-Anstiegszeit} \leq \text{Schnellste Anstiegszeit vom Signal} \times \frac{1}{5}$$

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 wichtigen Details schneller Übergänge genauer erfassen kann.

Bei einigen Anwendungen ist möglicherweise nur die Anstiegszeit eines Signals bekannt. Mithilfe einer Konstanten und der folgenden Gleichung können Sie einen Bezug herstellen zwischen Bandbreite und Anstiegszeit des Oszilloskops:

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

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

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 47. Einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere.

Einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere. Dies wird in Abbildung 47 veranschaulicht.

## Abtastrate

Die Abtastrate – angegeben als Abtastungen pro Sekunde (S/s, Samples per second) – bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein digitales Oszilloskop eine Momentaufnahme oder eine Abtastung des Signals durchführt; dies entspricht den Frames einer Filmkamera. Je schneller ein Oszilloskop abtastet (d. h. je höher die Abtastrate ist), desto höher ist die Auflösung, desto mehr Details des dargestellten Signals werden erfasst und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass wichtige Informationen oder Ereignisse verloren gehen (siehe Abbildung 48). Die minimale Abtastrate kann ebenfalls wichtig sein, wenn sich langsam ändernde Signale über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht werden sollen. 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 in dem dargestellten Signaldatensatz beizubehalten.

Wie werden die Anforderungen bezüglich der Abtastrate berechnet? Die verwendete Methode hängt von der Art des zu messenden Signals und der vom Oszilloskop verwendeten Methode der Signalrekonstruktion ab.

Gemäß dem Theorem von Nyquist muss ein Signal mindestens doppelt so schnell wie seine höchste Frequenzkomponente abgetastet werden, damit es genau und ohne Aliasing rekonstruiert werden kann. Dieses Theorem setzt jedoch eine unbegrenzte Speichertiefe und ein kontinuierliches Signal voraus. Da kein Oszilloskop eine unbegrenzte Speichertiefe hat und Glitches per Definition nicht kontinuierlich sind, ist eine Abtastrate, die nur doppelt so hoch ist wie der höchste Frequenzanteil, in der Regel nicht ausreichend.



Abbildung 48. Eine höhere Abtastrate liefert eine bessere Signalauflösung und stellt sicher, dass intermittierende Ereignisse dargestellt werden.

In der Praxis hängt eine genaue Signalrekonstruktion sowohl von der Abtastrate als auch von der Interpolationsmethode ab, mit der die Leerräume zwischen den Abtastpunkten aufgefüllt werden. Bei einigen Oszilloskopen können Sie entweder die Sin(x)/x-Interpolation zum Messen von sinusförmigen Signalen oder die lineare Interpolation für rechteckförmige Signale, Impulse und andere Signaltypen auswählen.

Zur genauen Rekonstruktion mithilfe der Sin(x)/x-Interpolation sollte das Oszilloskop eine Abtastrate haben, die um mindestens 2,5 mal höher ist als der höchste Frequenzanteil des Signals. Bei der linearen Interpolation sollte die Abtastrate um mindestens 10 mal höher sein als der höchste Frequenzanteil des Signals.

Einige Mess-Systeme mit Abtastraten von 10 GS/s und Bandbreiten von bis zu 3+ GHz wurden für das Erfassen sehr schneller, transienter Einzelschussereignisse optimiert. Dazu wird Oversampling bis auf das Fünffache der Bandbreite angewendet.



Abbildung 49. Ein DPO ist ideal geeignet für nicht repetitive Hochgeschwindigkeits- und Mehrkanalanwendungen bei Digitalschaltungen.

## Signalerfassungsrate

Alle Oszilloskope arbeiten mit einer bestimmten Messrate. Das heißt, sie „öffnen ihre Augen“ mit einer bestimmten Häufigkeit pro Sekunde, um das Signal zu erfassen, und halten sie dazwischen geschlossen. Dies ist die Signalerfassungsrate, ausgedrückt in Signale pro Sekunde (wfms/s). Die Abtastrate gibt an, wie häufig das Oszilloskop das Eingangssignal innerhalb eines Signals oder Zyklus abtastet, während die Signalerfassungsrate die Geschwindigkeit angibt, mit der ein Oszilloskop Signale erfasst.

Die Signalerfassungsrate kann stark variieren, je nach Art und Leistungsfähigkeit des Oszilloskops. Oszilloskope mit einer hohen Signalerfassungsrate liefern wesentlich bessere Einsicht in das Signalverhalten und vervielfachen damit die Wahrscheinlichkeit, dass transiente Anomalien, wie z. B. Jitter, Runt-Impulse, Glitches und Übergangsfehler, schnell erfasst werden.

Digital-Speicheroszilloskope (DSOs) verwenden eine serielle Verarbeitungsarchitektur zur Erfassung von 10 bis 5.000 Signalen pro Sekunde. Einige DSOs verfügen über einen speziellen Modus, der eine schnelle Erfassung in einzelne Segmente eines langen Speichers bietet, und dadurch temporär eine höhere Signalerfassungsrate gefolgt von langen Verarbeitungs-Totzeiten erzeugt, wodurch die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass intermittierende Ereignisse erfasst werden.



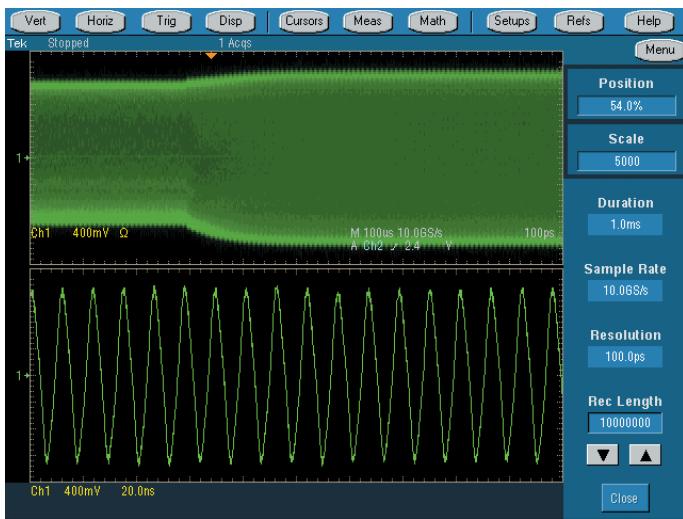
Abbildung 50. Ein DPO ermöglicht eine hervorragende Einsicht in das Signalverhalten, indem es wesentlich höhere Signalerfassungsraten und eine dreidimensionale Darstellung ermöglicht. Dies macht es zum besten Allzweck-Design- und Fehlersuchwerkzeug für einen breiten Anwendungsbereich.

Die meisten Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) verwenden eine parallele Verarbeitungsarchitektur, die wesentlich höhere Signalerfassungsraten ermöglicht. Wie Abbildung 49 zeigt, können einige DPOs Millionen von Signalen in Sekundenschnelle erfassen. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit wesentlich erhöht, dass intermittierende und flüchtige Ereignisse erfasst und Probleme im Signal schneller erkannt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Fähigkeit des DPO, drei Dimensionen des Signalverhaltens in Echtzeit zu erfassen – Amplitude, Zeit und Amplitudenverteilung über der Zeit – eine ausgezeichnete Einsicht in das Signalverhalten (siehe Abbildung 50).

## Aufzeichnungslänge

Die Aufzeichnungslänge, ausgedrückt als die 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 Aufnahmedauer (Zeit) umgekehrt proportional zur Abtastrate des Oszilloskops.

$$\text{Aufnahmedauer} = \frac{\text{Aufzeichnungslänge}}{\text{Abtastrate}}$$



**Abbildung 51.** Die Erfassung des hochfrequenten Details dieses modulierten 85-MHz-Trägersignals erfordert eine Abtastung mit hoher Auflösung (100 ps). Zur Darstellung der vollständigen Modulationshüllkurve ist eine lange Zeitperiode erforderlich (1 ms). Bei einer großen Aufzeichnungslänge (10 MB) kann das Oszilloskop beides darstellen.

Moderne Oszilloskope ermöglichen die Auswahl der Aufzeichnungslänge, um die für eine Anwendung erforderliche Detailerfassung zu optimieren. Wenn Sie ein extrem stabiles sinusförmiges Signal analysieren, kann eine Aufzeichnungslänge von nur 500 Punkten ausreichend sein. Wenn Sie jedoch die Ursachen von Timing-Anomalien in einem komplizierten digitalen Datenstrom isolieren möchten, sind möglicherweise eine Million Punkte oder mehr als Aufzeichnungslänge erforderlich (siehe Abbildung 51).

## Triggerfunktionen

Die Triggerfunktion eines Oszilloskops synchronisiert die horizontale Ablenkung am richtigen Signalpunkt. Dies ist für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend. Mithilfe von Trigger-Bedienelementen können repetitive Signale stabilisiert und Einzelschusssignale erfasst werden.

Weitere Informationen zu Triggerfunktionen finden Sie im Abschnitt „Trigger“ unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

## Effektive Bits

Effektive Bits sind ein Maß für die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, die Form eines Sinussignals genau zu rekonstruieren. Dabei wird der tatsächliche Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers verglichen. Da die tatsächlichen Fehler Rauschen und Verzerrung enthalten, müssen Frequenz und Amplitude des Signals angegeben werden.

## Frequenzgang

Die 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 eine ausgezeichnete Impulstreue bei minimalem Überschwingen und Klingeln. Da ein digitales Oszilloskop aus realen Verstärkern, A/D-Wandlern, Übertragungsverbindungen und Relais besteht, ist MFED-Antwort ein Ziel, das nur annäherungsweise erreicht werden kann. Die Impulstreue variiert beträchtlich je nach Modell und Hersteller.

## Vertikalempfindlichkeit

Die vertikale Empfindlichkeit gibt an, wie stark der Vertikalverstärker ein schwaches Signal verstärken kann – in der Regel gemessen in Millivolt (mV) pro Skalenteil. Die kleinste Spannung, die von einem Allzweck-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 Oszilloskopbildschirm geführt werden kann, damit feine Details erkannt werden können. Die Ablenkgeschwindigkeit eines Oszilloskops wird in Zeit (Sekunden) pro Skalenteil angegeben.

## Verstärkungsgenauigkeit

Die Verstärkungsgenauigkeit gibt an, mit welcher Genauigkeit das Vertikalsystem ein Signal dämpfen oder verstärken kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

## Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)

Die horizontale Genauigkeit, oder Zeitbasis-Genauigkeit, gibt an, mit welcher Genauigkeit das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

## Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)

Die vertikale Auflösung des AD-Wandlers (und damit des digitalen Oszilloskops), gibt an, mit welcher Genauigkeit Eingangsspannungen in Digitalwerte umgewandelt werden können. Die vertikale Auflösung wird in Bit gemessen. Die effektive Auflösung lässt sich durch Berechnungsmethoden verbessern. Ein Beispiel dafür ist der Hi-Res-Erfassungsmodus.

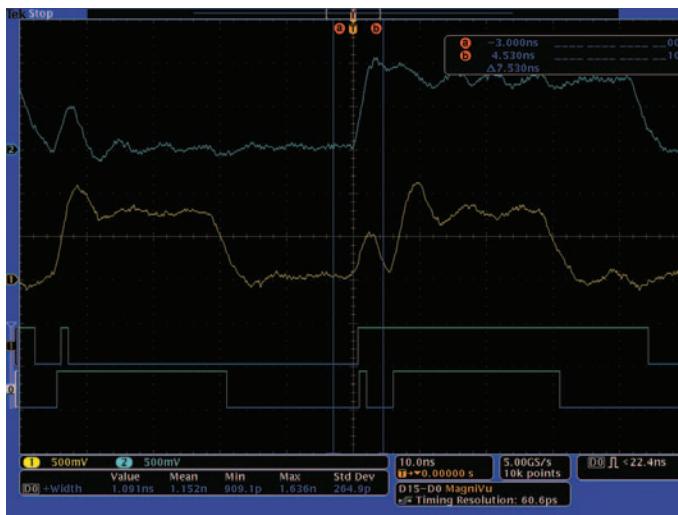


Abbildung 52. Das MSO verfügt über 16 integrierte digitale Kanäle für die Anzeige und Analyse von zeitkorrelierten analogen und digitalen Signalen. Eine Hochgeschwindigkeits-Timing-Erfassung bietet eine höhere Auflösung, sodass auch Ereignisse wie schmale Glitches sichtbar werden.

## Timing-Auflösung (MSO)

Eine wichtige Kenngröße eines Mixed-Signal-Oszilloskops ist die für die Erfassung digitaler Signale mögliche zeitliche Auflösung. Je besser die zeitliche Auflösung bei der Erfassung eines Signals ist, desto genauer können die Zeitpunkte der Signaländerungen erfasst werden. Beispiel: Eine mit 500 MS/s durchgeführte Erfassung hat eine Timing-Auflösung von 2 ns, die Unsicherheit bei der Erfassung der Signalflanke beträgt 2 ns. Bei einer kleineren Timing-Auflösung von 60,6 ps (16,5 GS/s) verringert sich die Unsicherheit bei der Erfassung der Signalflanke auf 60,6 ps, und schnellere Signaländerungen können erfasst werden.

Einige MSOs ermöglichen die Erfassung von digitalen Signalen in zwei Erfassungsmodi gleichzeitig. Die erste Erfassung erfolgt mit standardmäßiger Timing-Auflösung, die zweite Erfassung erfolgt mit einer Hochgeschwindigkeitsauflösung. Die Standardauflösung wird über eine längere Aufzeichnungslänge verwendet, während die Hochgeschwindigkeits-Timing-Erfassung eine höhere Auflösung in einem schmalen Untersuchungsbereich bietet (siehe Abbildung 52).

## Anschlüsse

Messergebnisse zu analysieren, ist nach wie vor von größter Wichtigkeit. Informationen und Messergebnisse einfach und häufig zu dokumentieren und mit anderen auszutauschen, wird ebenfalls immer wichtiger. Die Konnektivität eines Oszilloskops ermöglicht fortgeschrittene Analysefunktionen und vereinfacht die Dokumentation und den Austausch von Ergebnissen. Wie Abbildung 53 zeigt, können einige Oszilloskope über standardmäßige Schnittstellen (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) und Netzwerkkommunikations-Module eine Vielfalt an Funktionen und Bedienungsmöglichkeiten bieten.

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



Abbildung 53. Moderne Oszilloskope verfügen über eine Vielfalt von Kommunikations-schnittstellen, wie z. B. einen standardmäßigen Centronics-Anschluss und optionale Ethernet/RS-232-, GPIB/RS-232- und VGA/RS-232-Module. Auf dem vorderen Bedienfeld befindet sich sogar ein USB-Anschluss (nicht dargestellt).

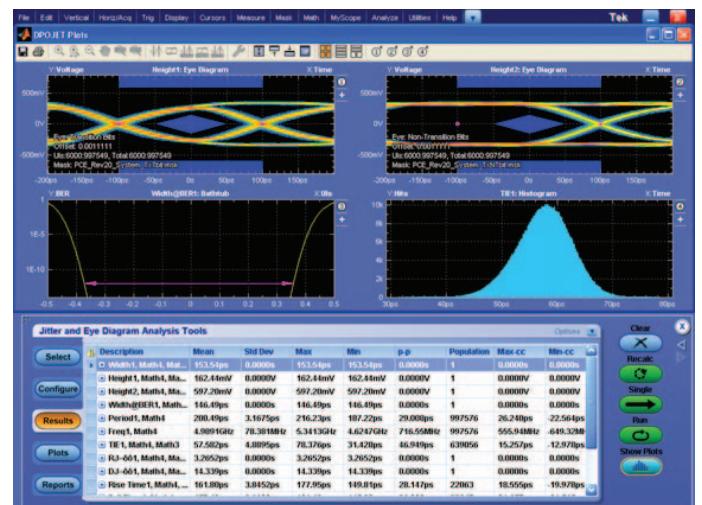


Abbildung 54. Analyse-Softwarepakete wurden speziell für die Anforderungen von Jitter- und Augendiagramm-Messungen bei modernen Hochgeschwindigkeits-Digital-schaltungen konzipiert.

- Erstellen, Bearbeiten und Freigeben von Unterlagen direkt mit dem Oszilloskop – während Sie mit dem Messgerät an Ihrem Arbeitsplatz arbeiten
- Zugreifen auf Netzwerkdruck und Dateifreigabe-Ressourcen
- Zugreifen auf den Windows®-Desktop
- Ausführen von Analyse- und Dokumentationssoftware anderer Hersteller
- Verbindungsherstellung mit Netzwerken
- Zugreifen auf das Internet
- Senden und Empfangen von E-Mail

## Erweiterbarkeit

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

## Einführungshandbuch

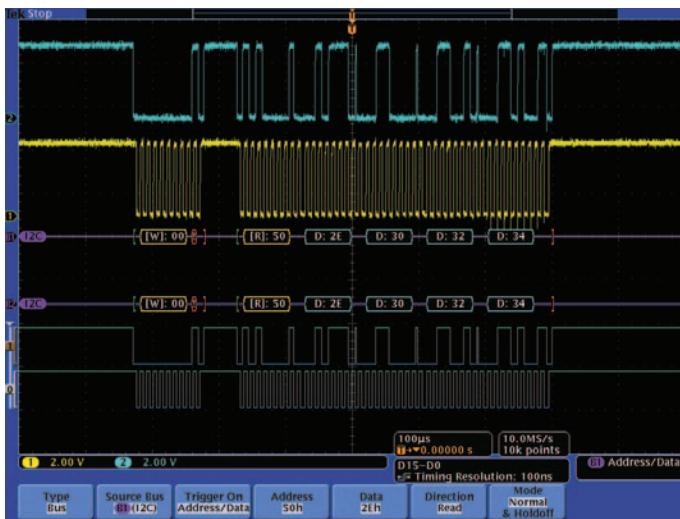


Abbildung 55. Die serielle Busanalyse wird durch automatisierte Triggerung, Dekodierung und Suche im Kontext serieller Pakete beschleunigt.

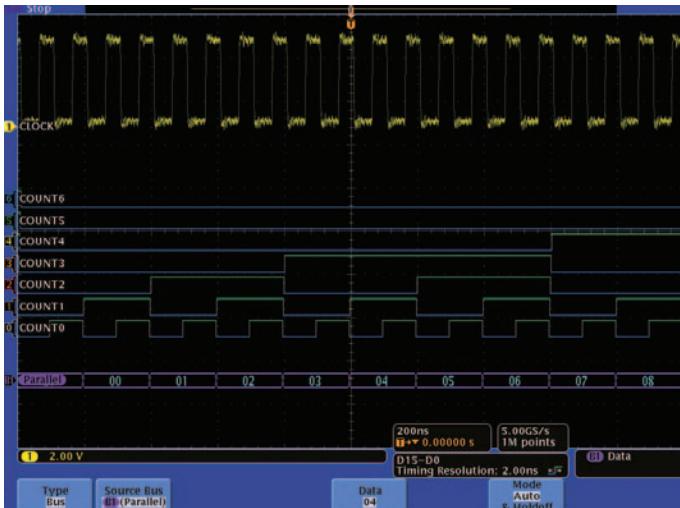


Abbildung 56. Automatische Triggerung, Dekodierung und Suche in getakteten oder ungetakteten Daten von Parallelbussen.

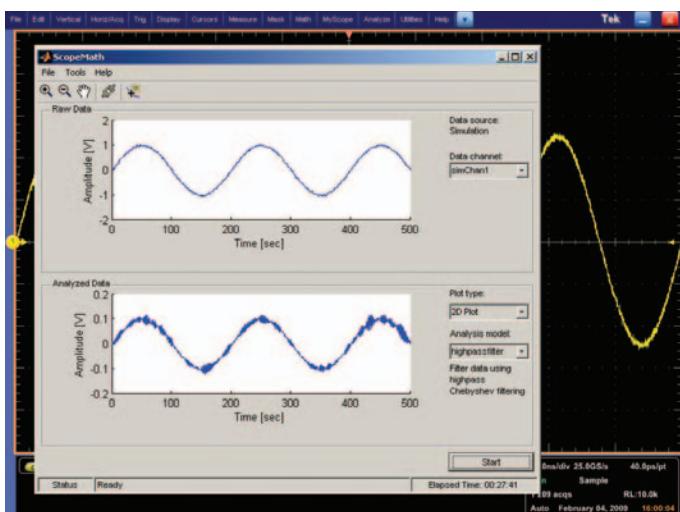


Abbildung 59. Hoch entwickelte Analyse- und Produktivitätssoftware, wie z. B. MATLAB®, kann in Windows-basierten Oszilloskopen installiert werden, um lokale Signalanalysen durchzuführen.

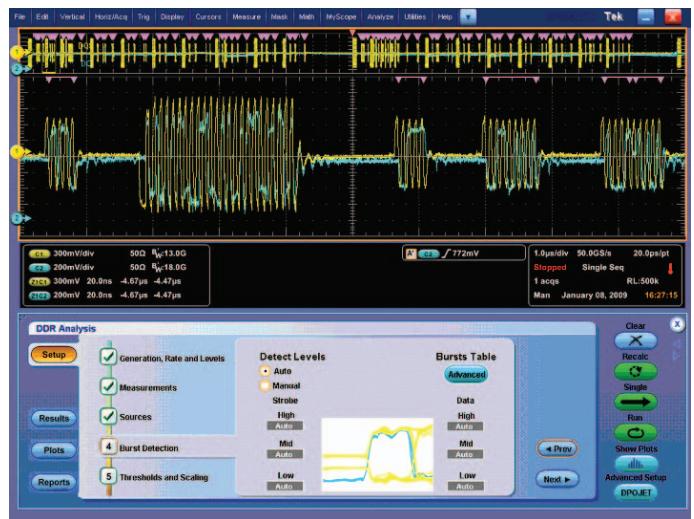


Abbildung 57. Fortschrittliche DDR-Analysetools automatisieren komplexe Speicher-aufgaben wie das Separieren von Lese- oder Schreib-Bursts und die Durchführung von JEDEC-Messungen.

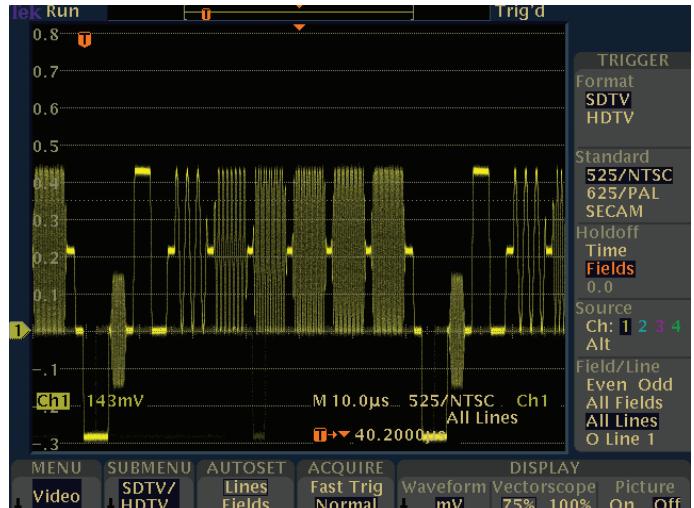


Abbildung 58. Video-Anwendungsmodule machen das Oszilloskop zu einem schnellen vielseitigen Gerät für die Video-Fehlersuche.

- Kanälen Speicher hinzufügen, um größere Speichertiefen zu analysieren
- Anwendungsspezifische Messfunktionen hinzufügen
- Die Leistungsfähigkeit des Oszilloskops durch eine umfassende Auswahl an Tastköpfen und Modulen ergänzen
- Mit gängiger, Windows-kompatibler Analyse- und Produktionssoftware anderer Hersteller arbeiten
- Zubehör, wie Akkusätze und Einbaurahmen, hinzufügen

Mit Anwendungsmodulen und Software können Sie das Oszilloskop in ein hochspezialisiertes Analysegerät verwandeln, das Aufgaben wie Jitter- und Timing-Analyse, Mikroprozessor-Speichersystemprüfung, Überprüfung der Kommunikationsstandards, Festplattenlaufwerksmessungen, Videomessungen, Leistungsmessungen und vieles mehr durchführen kann.



Abbildung 60. Konventionelle analoge Drehknöpfe zum Einstellen von Position, Skala, Intensität usw. – mit der erwarteten Genauigkeit.

## Einfache Bedienung

Die Bedienung von Oszilloskopen sollte leicht zu erlernen und einfach sein, damit Sie Ihre Arbeit mit höchster Effizienz und Produktivität bewältigen können. Damit Sie sich auf Ihre Untersuchungen konzentrieren können und sich nicht auf die Bedienung des Messgeräts konzentrieren müssen. So wie es nicht den typischen Autofahrer gibt, gibt es auch nicht den typischen Oszilloskopbenutzer. Gleichgültig, ob Sie bei Ihrem Messgerät eine konventionelle Oberfläche oder eine Windows®-Benutzeroberfläche vorziehen – wichtig ist eine flexible Oszilloskop-Bedienung.

Viele Oszilloskope bieten einen Kompromiss zwischen Leistung und Einfachheit, indem der Benutzer viele verschiedene Möglichkeiten hat, das Messgerät zu bedienen. Das vordere Bedienfeld (Abbildung 60) enthält ausgewiesene Bedienelemente im Vertikal-, Horizontal- und Trigger-Bereich. Eine grafische Benutzeroberfläche mit zahlreichen Symbolen (Abbildung 61) erleichtert das Verständnis und die intuitive Verwendung erweiterter Funktionen. Berührungsempfindliche Touch-Displays löst die Probleme überladener Arbeitstische und -wagen und bietet gleichzeitig den Zugriff auf eindeutige Bildschirmschaltflächen (siehe Abbildung 62). Die Online-Hilfe umfasst ein benutzerfreundliches integriertes

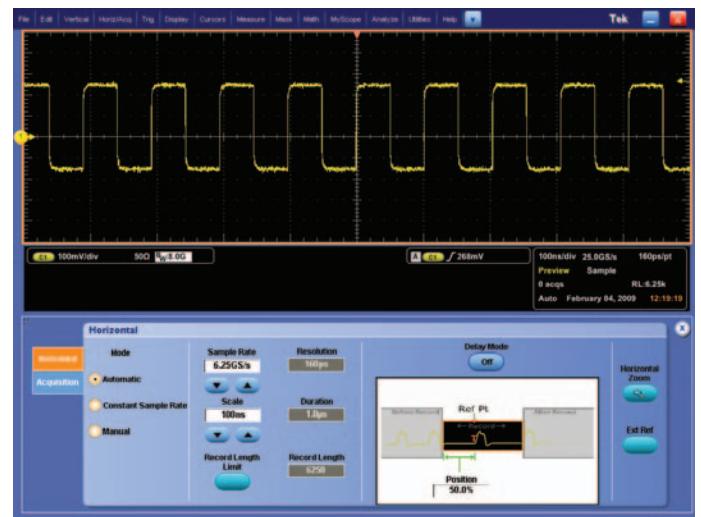


Abbildung 61. Die grafischen Bedienfenster ermöglichen den einfachen und zuverlässigen Zugriff auf die fortgeschrittenen Funktionen.

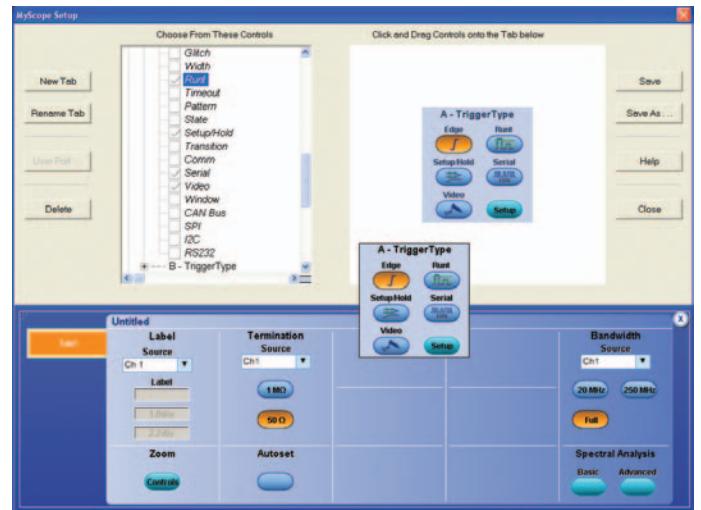


Abbildung 62. Der berührungsempfindliche Touchscreen löst die Probleme überladener Arbeitstische und -wagen und bietet gleichzeitig Zugriff auf eindeutige Bildschirmschaltflächen.

Referenzhandbuch. Die intuitiven Bedienelemente geben selbst dem gelegentlichen Oszilloskop-Benutzer das nötige Selbstvertrauen, während sie gleichzeitig dem Vollzeitbenutzer den leichten Zugang zu den fortgeschrittenen Funktionen des Oszilloskops ermöglichen. Darüber hinaus sind viele Oszilloskope tragbar (siehe Abbildung 63) und können dadurch in vielen verschiedenen Arbeitsumgebungen, sei es im Labor oder vor Ort, effizient eingesetzt werden.



Abbildung 63. Weil viele Oszilloskope tragbar sind, können sie in vielen Arbeitsumgebungen effizient eingesetzt werden.

## Die Bedienung des Oszilloskops

Dieser Abschnitt gibt eine kurze Beschreibung der Vorbereitung und ersten Verwendung eines Oszilloskops – insbesondere, wie Sie das Oszilloskop und sich selbst ordnungsgemäß erden, die Bedienelemente einstellen, das Oszilloskop kalibrieren, die Tastköpfe anschließen und die Tastköpfe kompensieren.

Die ordnungsgemäße Erdung ist ein wichtiger Schritt, wenn Messungen oder Arbeiten an einer Schaltung durchgeführt werden sollen. Die ordnungsgemäße Erdung des Oszilloskops schützt Sie vor gefährlichen Stromschlägen. Ihre eigene Erdung wiederum schützt Ihre Schaltungen vor Schäden.

### Ordnungsgemäße Erdung

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

Die Erdung des Oszilloskops ist aus Sicherheitsgründen erforderlich. Wenn das Gehäuse eines nicht geerdeten Oszilloskops – ein beliebiger Teil des Gehäuses, einschließlich der scheinbar isolierten Drehknöpfe – mit Hochspannung in Kontakt kommt, können Sie einen elektrischen Schlag erhalten. Bei einem ordnungsgemäß geerdeten Oszilloskop wird der Strom jedoch durch den Erdungsleiter (und nicht durch Ihren Körper) in den Erdboden abgeleitet.

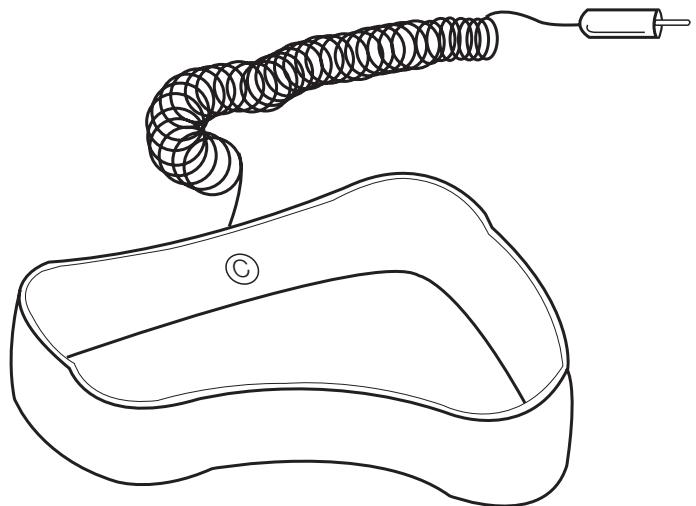


Abbildung 64. Typisches Erdungsband für das Handgelenk.

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

Einige Oszilloskope erfordern keinen separaten Anschluss an Erde oder Masse. Diese Oszilloskope verfügen über isolierte Gehäuse und Bedienelemente, die den Benutzer vor einem möglichen Stromschlag schützen.

Auch wenn Sie mit integrierten Schaltungen (ICs) arbeiten, müssen Sie sich selbst erden. Integrierte Schaltungen haben winzige Leiterpfade, die durch statische Elektrizität beschädigt werden können, die sich in Ihrem Körper aufbaut. Sie können einen teuren IC zerstören, indem Sie einfach über einen Teppichboden gehen oder einen Pullover ausziehen und anschließend die Anschlüsse des IC berühren. Um dieses Problem zu lösen, sollten Sie ein Erdungsband tragen, wie in Abbildung 64 dargestellt. Dieses Erdungsband leitet statische Ladungen an Ihrem Körper sicher in den Erdboden ab.

### Einstellen der Bedienelemente

Sehen Sie sich das vordere Bedienfeld an, nachdem Sie das Oszilloskop an das Netz angeschlossen haben. Wie weiter oben beschrieben, ist das vordere Bedienfeld in der Regel in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als „Vertikal“, „Horizontal“ und „Trigger“ gekennzeichnet sind. Je nach Modell und Typ kann Ihr Oszilloskop auch noch über andere Abschnitte verfügen.

Beachten Sie die Eingangsanschlüsse am 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. Wie bereits erwähnt, haben MSOs auch digitale Eingänge.

Einige Oszilloskope verfügen über die Tasten AUTOSET und/oder STANDARD, mit denen die Bedienelemente in einem Schritt für die Erfassung eines Signals eingerichtet werden können. Wenn Ihr Oszilloskop über diese Funktion nicht verfügt, sollten Sie die Bedienelemente vor Beginn der Messungen auf die Standardeinstellungen bringen.

Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zur manuellen Einstellung des Oszilloskops auf die Standardeinstellungen:

- Schalten Sie Kanal 1 am Oszilloskop ein.
- Stellen Sie die vertikalen Volt/Div-Skala- und Positions-Bedienelemente auf mittlere Positionen ein.
- Schalten Sie variable Volt/Div aus.
- Schalten Sie alle Vergrößerungseinstellungen aus.
- Stellen Sie die Eingangskopplung für Kanal 1 auf DC ein.
- Stellen Sie den Triggermodus auf Automatisch ein.
- Stellen Sie die Triggerquelle auf Kanal 1 ein.
- Stellen Sie Trigger-Holdoff auf den Minimalwert ein, oder schalten Sie es aus.
- Stellen Sie die horizontalen Zeit/Div- und Positions-Bedienelemente auf mittlere Positionen ein.
- Stellen Sie Volt/Div für Kanal 1 so ein, dass das Signal möglichst viele der zehn vertikalen Skalenteile ohne Abschneiden oder Signalverzerrung belegt.

## Kalibrieren des Messgeräts

Zusätzlich zur ordnungsgemäßen Einrichtung des Oszilloskops wird eine periodische Eigenkalibrierung empfohlen, um genaue Messungen zu erhalten. Eine Kalibrierung sollte durchgeführt werden, wenn sich die Umgebungstemperatur seit der letzten Eigenkalibrierung um mehr als 5° C geändert hat, oder einmal wöchentlich. Im Oszilloskop-Menü ist kann dies manchmal unter dem Menüpunkt „Eigenkalibrierung“ eingestellt werden. Ausführlichere Anweisungen finden Sie in dem mit dem Oszilloskop gelieferten Handbuch.

## Anschließen der Tastköpfe

Nun können Sie einen Tastkopf an das Oszilloskop anschließen. Ein gut auf das Oszilloskop abgestimmter Tastkopf ermöglicht Ihnen, das gesamte Leistungsspektrum des Oszilloskops zu nutzen, und gewährleistet die Integrität des gemessenen Signals.

Zum Messen eines Signals sind zwei Anschlüsse erforderlich: der Anschluss an der Tastkopfspitze und der Erdungsanschluss. Tastköpfe werden häufig mit einer Klemme zur Erdung des Tastkopfs gegenüber dem Prüfling geliefert. In der Praxis befestigen Sie die Erdungsklemme an einem bekannten Erdungspunkt in der Schaltung, wie z. B. dem Metallgehäuse eines Produkts, das Sie reparieren. Danach berühren Sie mit der Tastkopfspitze einen Prüfpunkt in der Schaltung.

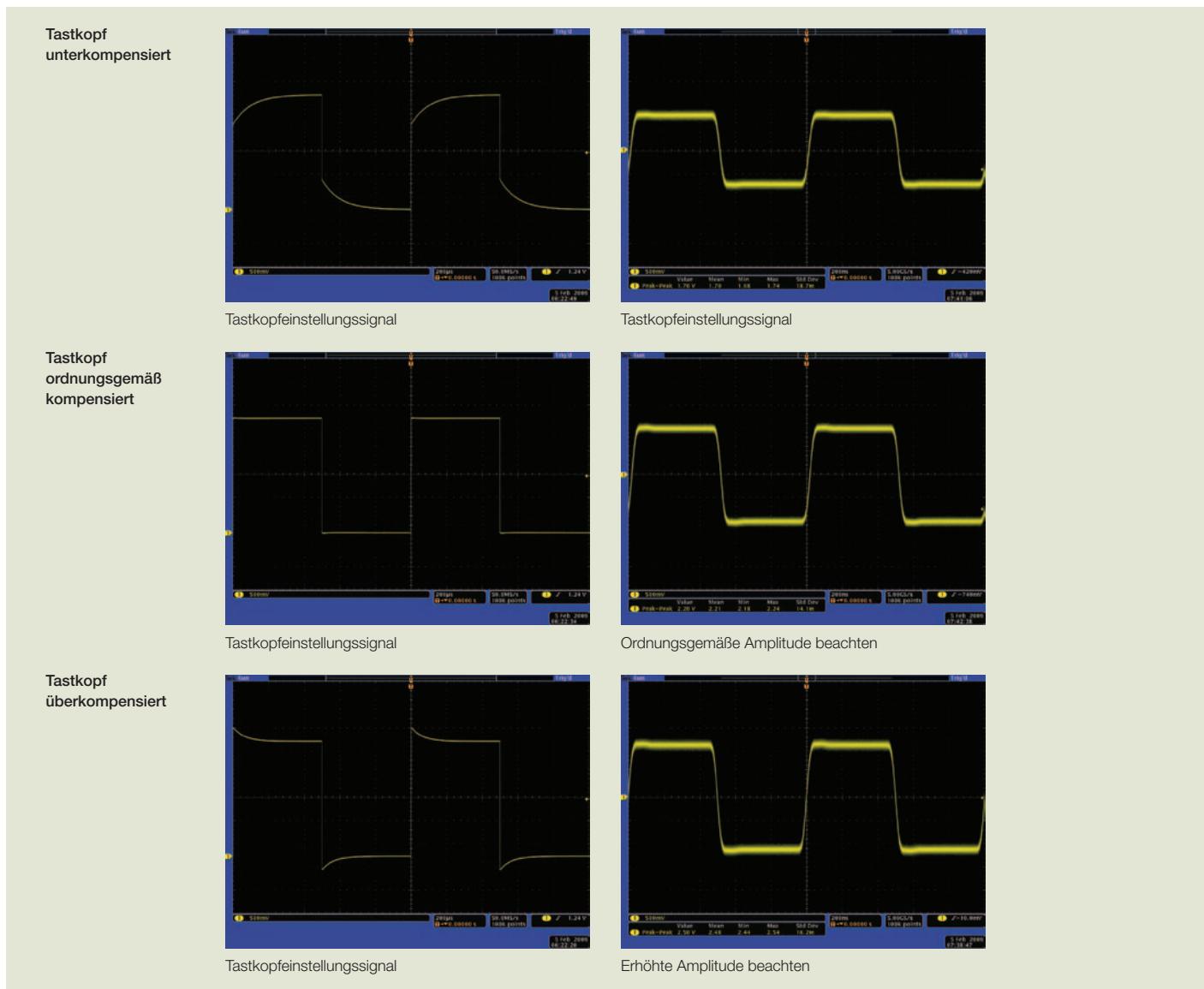
## Kompensation der Tastköpfe

Passive, gedämpfte Spannungstastköpfe müssen mit dem Oszilloskop abgeglichen (kompensiert) werden. Ein passiver Tastkopf muss vor der Verwendung kompensiert werden, d. h. seine elektrischen Eigenschaften müssen mit einem bestimmten Oszilloskop abgeglichen werden.

Machen Sie es sich zur Gewohnheit, den Tastkopf immer zu kompensieren, wenn Sie das Oszilloskop vorbereiten. Ein schlecht abgestimmter Tastkopf kann zu ungenauen Messungen führen. Abbildung 65 veranschaulicht die Auswirkungen auf ein 1-MHz-Prüfsignal, wenn ein schlecht kompensierter Tastkopf verwendet wird.

Bei den meisten Oszilloskopen ist an einer Klemme am vorderen Bedienfeld ein rechteckförmiges Referenzsignal verfügbar, mit dem der Tastkopf kompensiert werden kann. Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zum Kompensieren des Tastkopfs:

- Schließen Sie den Tastkopf an einen Vertikalkanal an.
- Verbinden Sie die Tastkopfspitze mit der Tastkopfkompensation, d. h. dem rechteckförmigen Referenzsignal.
- Befestigen Sie die Erdungsklemme des Tastkopfs an der Erdung.
- Zeigen Sie das rechteckförmige Referenzsignal an.
- Nehmen Sie die entsprechenden Einstellungen am Tastkopf vor, sodass die Ecken des Rechtecks tatsächlich einen rechten Winkel bilden.



**Abbildung 65.** Die Auswirkungen einer nicht ordnungsgemäßen Tastkopfkompensation.

Wenn Sie den Tastkopf kompensieren, müssen Sie alle Zubehörspitzen, die verwendet werden sollen, anbringen und den Tastkopf an den Vertikalkanal anschließen, den Sie

verwenden werden. Dadurch wird sichergestellt, dass das Oszilloskop die gleichen elektrischen Eigenschaften wie bei der Durchführung der Messungen hat.

## Oszilloskop-Messverfahren

In diesem Abschnitt werden grundlegende Messverfahren erläutert. Die zwei grundlegendsten Messungen, die mit dem Oszilloskop durchgeführt werden, sind Spannungs- und Zeitmessungen. Nahezu alle anderen Messungen basieren auf einem dieser beiden grundlegenden Messverfahren.

In diesem Abschnitt werden die Methoden zur visuellen Durchführung von Messungen auf dem Oszilloskop-Bildschirm beschrieben. Dies ist ein bei analogen Messgeräten übliches Verfahren, das auch bei der „Schnellinterpretation“ von Darstellungen bei digitalen Oszilloskopen hilfreich sein kann.

Beachten Sie, dass die meisten digitalen Oszilloskope über automatisierte Messwerkzeuge verfügen, die allgemeine Analyseaufgaben vereinfachen und beschleunigen und dadurch die Zuverlässigkeit der Messungen verbessern. Wenn Sie jedoch wissen, wie Messungen manuell durchgeführt werden, wie es hier beschrieben wird, erleichtert dies das Verständnis und die Prüfung der automatischen Messungen.

### Spannungsmessungen

Spannung ist die Größe des elektrischen Potenzials zwischen zwei Punkten in einer Schaltung und wird in Volt angegeben. Normalerweise ist einer dieser Punkte Masse (null Volt), jedoch nicht immer. Spannungen können auch Spitze-Spitze gemessen werden, d. h. vom Maximum zum Minimum eines Signals. Sie müssen genau angeben, welche Spannung gemessen werden soll.

Das Oszilloskop ist in erster Linie ein Gerät zur Spannungsmessung. Nachdem die Spannung gemessen wurde, können andere Größen leicht berechnet werden. Das Ohm'sche Gesetz besagt beispielsweise, dass die Spannung zwischen zwei Punkten in einer Schaltung gleich dem Produkt aus Stromstärke und Widerstand ist. Mit zwei dieser Größen können Sie die jeweils dritte anhand dieser Formel berechnen:

$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$$

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

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

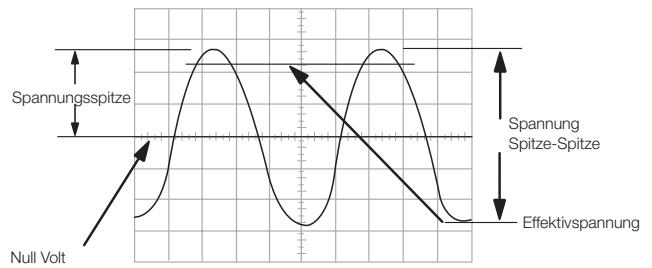


Abbildung 66. Spannungsspitze ( $V_p$ ) und Spitze-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ).

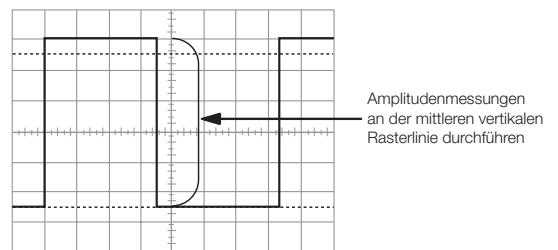


Abbildung 67. Spannungsmessung an der mittleren vertikalen Rasterlinie.

Eine weitere hilfreiche Formel ist die Leistungsgleichung, nach der die Leistung eines Gleichstromsignals gleich dem Produkt aus Spannung und Stromstärke ist. Bei Wechselstromsignalen sind die Berechnungen etwas komplizierter. Der Hauptpunkt ist hier jedoch, dass die Spannungsmessung der erste Schritt zur Berechnung anderer Größen ist. Abbildung 66 zeigt die Spannung einer Spitze ( $V_p$ ) und die Spitze-Spitze-Spannung ( $V_{p-p}$ ).

Die einfachste Methode der Spannungsmessung besteht darin, die Anzahl der Skalenteile zu zählen, über die sich ein Signal auf der vertikalen Skala des Oszilloskops erstreckt. Wenn das Signal so eingestellt wird, dass es in vertikaler Richtung den Großteil des Bildschirms einnimmt, ergibt dies die besten Spannungsmessungen (siehe Abbildung 67). Je mehr Bildschirmfläche verwendet wird, desto genauer kann der Messwert abgelesen werden.

Viele Oszilloskope verfügen über Cursor, mit denen Signalmessungen automatisch durchgeführt werden können, ohne dass Rasterstriche gezählt werden müssen. Ein Cursor ist einfach eine Linie, die über den Bildschirm bewegt werden kann. 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 rechts und links verschieben. Eine Messwertanzeige zeigt die Spannung oder Zeit an ihren Positionen an.

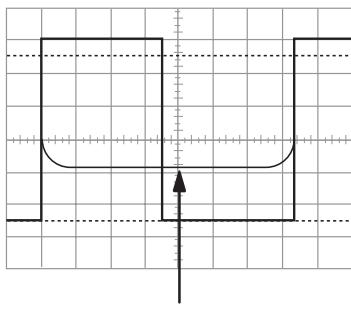


Abbildung 68. Zeitmessung an der mittleren horizontalen Rasterlinie.

## Zeit- und Frequenzmessungen

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

## Impulsbreiten- und Anstiegszeitmessungen

In vielen Anwendungen sind die Details einer Impulsform wichtig. Impulse können verzerrt werden und in einer digitalen Schaltung Fehlfunktionen verursachen. Außerdem ist das Timing von Impulsen in einer Impulsfolge häufig von großer Bedeutung.

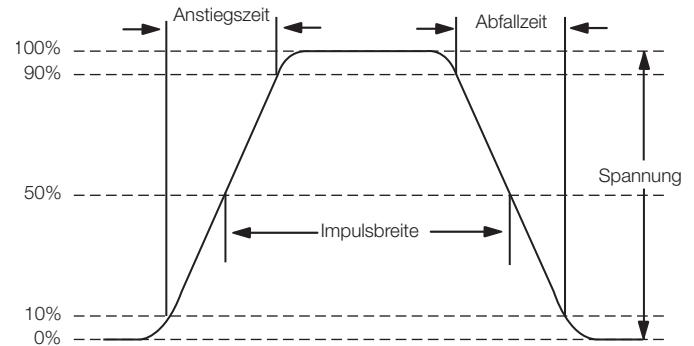


Abbildung 69. Anstiegszeit- und Impulsbreiten-Messpunkte.

Das Messen der Impulsanstiegszeit und Impulsbreite sind standardmäßige Impulsmessungen. Die Anstiegszeit ist die Zeit, die ein Impuls benötigt, um von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel zu wechseln. Gemäß Definition wird die Anstiegszeit zwischen 10 % und 90 % der vollen Spannung des Impulses gemessen. Dadurch werden Unregelmäßigkeiten an den Übergangsflanken des Impulses eliminiert. Die Impulsbreite ist die Zeit, die ein Impuls benötigt, um von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel und wieder zurück zu wechseln. Gemäß Definition wird die Impulsbreite bei 50 % der vollen Spannung gemessen. Abbildung 69 veranschaulicht diese Messpunkte.

Impulsmessungen erfordern häufig eine Feineinstellung des Triggers. Wenn Sie die Erfassung von Impulsen perfekt beherrschen möchten, sollten Sie lernen, wie Trigger-Holdoff verwendet wird und wie das digitale Oszilloskop zum Erfassen von Vortriggerdaten eingesetzt wird, wie im Abschnitt „Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops“ beschrieben. Die horizontale Vergrößerung ist eine weitere hilfreiche Funktion zum Messen von Impulsen, da damit feine Details eines schnellen Impulses sichtbar gemacht werden können.

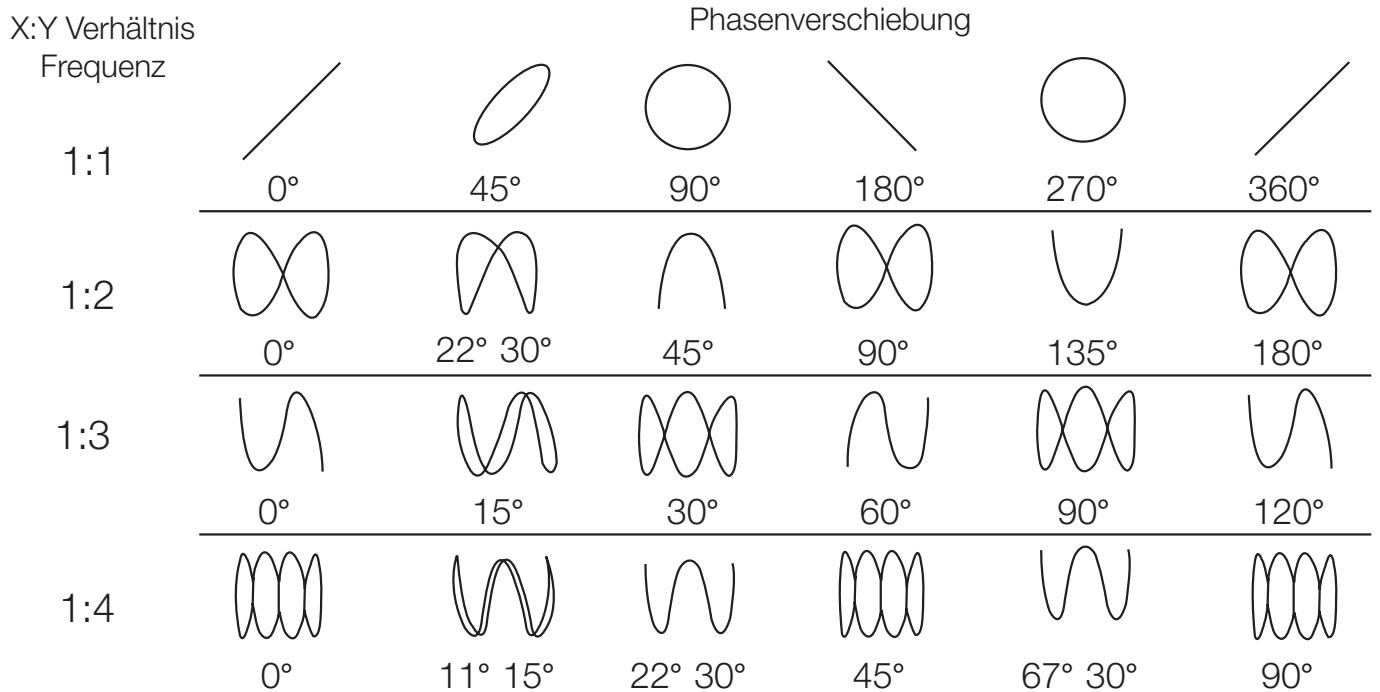


Abbildung 70. Lissajous-Figuren.

## Phasenverschiebungsmessungen

Eine Methode zur Messung von Phasenverschiebungen – dem Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten identischen periodischen Signalen – ist die Verwendung des XY-Modus. Bei diesem Messverfahren wird ein Signal wie gewöhnlich in das Vertikal-System eingespeist, anschließend wird ein weiteres Signal in das Horizontal-System eingespeist. Dies wird als XY-Messung bezeichnet, da sowohl auf der X-Achse als auch auf der Y-Achse Spannungen verfolgt werden. Der bei dieser Anordnung erzeugte Kurvenzug wird Lissajous-Figur genannt (benannt nach dem französischen Physiker Jules Antoine Lissajous). An der Form der Lissajous-Figur kann der Phasenunterschied zwischen zwei Signalen abgelesen werden. Auch deren Frequenzverhältnis kann abgelesen werden. Abbildung 70 zeigt Lissajous-Figuren für verschiedene Frequenzverhältnisse und Phasenverschiebungen.

Die XY-Messtechnik wurde ursprünglich bei analogen Oszilloskopen angewendet. DSOs können Probleme mit der Erzeugung von XY-Darstellungen in Echtzeit haben. Einige DSOs erzeugen ein XY-Bild, indem sie getriggerte Datenpunkte über einen Zeitraum sammeln und dann zwei Kanäle als XY-Darstellung ausgeben.

DPOs dagegen können ein echtes XY-Modus-Bild in Echtzeit erfassen und darstellen, indem sie dazu einen fortlaufenden Strom digitalisierter Daten verwenden. DPOs können auch ein XYZ-Bild mit Helligkeitsmodulierten Flächen darstellen. Im Gegensatz zu XY-Darstellungen auf DSOs und DPOs sind diese Darstellungen auf analogen Oszilloskopen in der Regel auf einige wenige Megahertz Bandbreite begrenzt.

## Andere Messverfahren

In diesem Abschnitt wurden grundlegende Messverfahren erläutert. Andere Messverfahren umfassen das Vorbereiten des Oszilloskops zum Prüfen elektrischer Komponenten in einer Fertigungsstraße, das Erfassen flüchtiger transiente Signale und vieles mehr. Welche Messverfahren Sie verwenden, hängt von Ihrem Anwendungsfall ab. Sie verfügen jetzt aber über ausreichende Grundlagen, um mit den Messungen beginnen zu können. Üben Sie den Umgang mit Ihrem Oszilloskop und lesen Sie weitere Informationen. Schon bald werden Sie mit seiner Bedienung vertraut sein.

## Schriftliche Übungen

Dieser Abschnitt enthält schriftliche Übungen, die sich auf die Informationen in diesem Einführungshandbuch beziehen. Die Übungen sind in zwei Teile gegliedert, Teil I und Teil II, jeweils mit Vokabular- und Anwendungsübungen.

Prüfen Sie, wie gut Sie sich die Informationen in diesen Abschnitten gemerkt haben. Vergleichen Sie dazu Ihre Antworten mit dem Schlüssel am Ende dieses Abschnitts auf Seite 55.

### Teil I A: Vokabularübungen

Schreiben Sie den Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben den richtigen Begriff in der linken Spalte.

Begriff	Definition
1. <input type="text"/> Erfassung	A Die Einheit des elektrischen Potenzialunterschieds.
2. <input type="text"/> Analog	B Ein Leistungskriterium, das die Genauigkeit eines AD-Wandlers gemessen in Bit angibt.
3. <input type="text"/> Bandbreite	C Ein Begriff, der sich auf Gradangaben innerhalb der Periode eines Signals bezieht.
4. <input type="text"/> Digital-Phosphor	D Die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde.
5. <input type="text"/> Frequenz	E Die Zeit, in der ein Zyklus vollständig durchlaufen wird.
6. <input type="text"/> Glitch	F Ein gespeicherter Digitalwert, der die Spannung eines Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt.
7. <input type="text"/> Periode	G Eine gängige Signalform mit einer ansteigenden Flanke, einer Breite und einer abfallenden Flanke.
8. <input type="text"/> Phase	H Ein Leistungskriterium, das die Geschwindigkeit der ansteigenden Flanke eines Impulses angibt.
9. <input type="text"/> Impuls	I Oszilloskop-Schaltung, die das Timing der Ablenkung steuert.
10. <input type="text"/> Signalpunkt	J Eine intermittierende Spitze in einer Schaltung.
11. <input type="text"/> Anstiegszeit	K Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt.
12. <input type="text"/> Abtastpunkt	L Der Oszilloskop-Vorgang zum Sammeln von Abtastpunkten aus dem AD-Wandler, deren Verarbeitung und Speicherung im Oszilloskop-Speicher.
13. <input type="text"/> Digitalspeicher	M Arbeitet mit kontinuierlich sich ändernden Werten.
14. <input type="text"/> Zeitbasis	N Digitales Oszilloskop, das drei Dimensionen der Signalinformation in Echtzeit erfasst.
15. <input type="text"/> Transienten	O Digitales Oszilloskop mit serieller Verarbeitung.
16. <input type="text"/> AD-Wandler-Auflösung	P Frequenzbereich eines Sinussignals, definiert durch den -3 dB-Punkt.
17. <input type="text"/> Volt	Q Die unbearbeiteten Daten aus einem AD-Wandler, mit denen Signalpunkte berechnet und dargestellt werden.

**Teil I bezieht sich auf Informationen in folgenden Abschnitten:**

- Das Oszilloskop
- Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

**Teil II bezieht sich auf Informationen in folgenden Abschnitten:**

- Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops
- Die Bedienung des Oszilloskops
- Oszilloskop-Messverfahren

## Teil I B: Anwendungsübungen

Kreisen Sie die besten Antworten für die einzelnen Aussagen ein. Für einige Aussagen gibt es mehr als eine richtige Antwort.

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

- a. Die Frequenz eines Signals berechnen.
- b. Fehlerhafte elektrische Komponenten suchen.
- c. Signaldetails analysieren.
- d. Alle obigen Aussagen.

**2. Der Unterschied zwischen analogen und digitalen Oszilloskopen ist:**

- a. Analoge Oszilloskope haben keine Bildschirmmenüs.
- b. Analoge Oszilloskope tragen die Mess-Spannung direkt auf das Anzeigesystem auf, während digitale Oszilloskope die Spannung zuerst in Digitalwerte umwandeln.
- c. Analoge Oszilloskope messen analoge Signale, während digitale Oszilloskope Ziffern messen.
- d. Analoge Oszilloskope haben kein Erfassungssystem.

**3. Das Vertikal-System eines Oszilloskops dient Folgendem:**

- a. Erfasst Abtastpunkte mit einem AD-Wandler.
- b. Startet eine horizontale Ablenkung.
- c. Dienst zur Einstellung der Helligkeit der Anzeige.
- d. Dämpft oder verstärkt das Eingangssignal.

**4. Die Zeitbasis-Steuerung des Oszilloskops dient Folgendem:**

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

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

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

**6. Alle sich wiederholenden Signale haben folgende Eigenschaften:**

- a. Eine in Hertz gemessene Frequenz.
- b. Eine in Sekunden gemessene Periode.
- c. Eine in Hertz gemessene Bandbreite.
- d. Alle obigen Aussagen.

**7. Wenn Sie das Computerinnere mit einem Oszilloskop überprüfen, finden Sie wahrscheinlich folgen Signalarten:**

- a. Impulsfolgen.
- b. Rampen.
- c. Sinussignale.
- d. Alle obigen Aussagen.

**8. Bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit eines analogen Oszilloskops sollten Sie u. a. folgende Punkte berücksichtigen:**

- a. Die Bandbreite.
- b. Die vertikale Empfindlichkeit.
- c. Die AD-Wandler-Auflösung.
- d. Die Ablenkgeschwindigkeit.

**9. Der Unterschied zwischen einem Digital-Speicheroszilloskop (DSO) und einem Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) ist:**

- a. Das DSO hat eine höhere Bandbreite.
- b. Das DPO erfasst drei Dimensionen von Signalinformationen in Echtzeit.
- c. Das DSO hat eine Farbdarstellung.
- d. Das DSO erfasst mehr Signaldetails.

## Teil II A: Vokabularübungen

Schreiben Sie den Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben den richtigen Begriff in der linken Spalte.

Begriff	Definition
1. <input type="text"/> Mittelwertmodus	A Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, wodurch ein Signal verzerrt wird.
2. <input type="text"/> Schaltungsbelastung	B Ein Leiter, der elektrischen Strom mit Masse verbindet.
3. <input type="text"/> Kompensation	C Ein Abtastmodus, in dem das digitale Oszilloskop so viele Abtastpunkte wie möglich erfasst, während das Signal auftritt, und dann eine Darstellung erzeugt, bei Bedarf mithilfe von Interpolation.
4. <input type="text"/> Kopplung	D Ein Abtastmodus, in dem das digitale Oszilloskop ein Bild eines repetitiven Signals erzeugt, indem es bei jeder Wiederholung einen kleinen Teil der Informationen erfasst.
5. <input type="text"/> Erdung	E Eine Vorrichtung, die bestimmte physikalische Größen, wie z. B. Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität in ein elektrisches Signal umwandelt.
6. <input type="text"/> Äquivalentzeit	F Ein Prüfgerät zum Einleiten eines Signals in einen Schaltungseingang.
7. <input type="text"/> Raster	G Ein Verarbeitungsverfahren, das von digitalen Oszilloskopen verwendet wird, um Rauschen in einem dargestellten Signal zu eliminieren.
8. <input type="text"/> Interpolation	H Die Methode zum Zusammenschließen zweier Schaltungen.
9. <input type="text"/> Echtzeit	I Ein Verarbeitungsverfahren, mit dem durch Verbinden von Punkten ein Näherungsbild eines schnellen Signals mit einigen wenigen Abtastpunkten erzeugt wird.
10. <input type="text"/> Signalgenerator	J Die Rasterlinien auf einem Bildschirm zum Messen der Oszilloskop-Abtastungen.
11. <input type="text"/> Einzelablenkung	K Ein Trigger-Modus, der die Ablenkung einmal auslöst und für ein weiteres Trigger-Ereignis zurückgesetzt werden muss.
12. <input type="text"/> Sensor	L Eine Tastkopfeinstellung für 10X gedämpfte Tastköpfe, welche die elektrischen Eigenschaften des Tastkopfs mit den elektrischen Eigenschaften des Oszilloskops abgleicht.

## Teil II B: Anwendungsübungen

Kreisen Sie die besten Antworten für die einzelnen Aussagen ein. Für einige Aussagen gibt es mehr als eine richtige Antwort.

- 1. Um ein Oszilloskop sicher zu bedienen, sollten Sie:**
  - a. Das Oszilloskop mit dem entsprechenden Netzkabel erden.
  - b. Lernen, potenziell gefährliche elektrische Komponenten zu erkennen.
  - c. Keine freiliegenden Anschlüsse in einem Prüfling berühren, selbst wenn der Strom abgeschaltet ist.
  - d. Alle obigen Aussagen.
- 2. Ein Oszilloskop muss folgenden Gründen geerdet werden:**
  - a. Aus Sicherheitsgründen.
  - b. Um einen Referenzpunkt für die Durchführung von Messungen zu erhalten.
  - c. Um den Strahl auf die horizontale Achse des Bildschirms auszurichten.
  - d. Alle obigen Aussagen.
- 3. Schaltungsbelastung wird verursacht durch:**
  - a. Ein Eingangssignal mit zu großer Spannung.
  - b. Die Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling.
  - c. Einen unkompenzierten 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. Verhindern der Beschädigung des Prüflings.
  - c. Verbesserung der Messgenauigkeit.
  - d. Alle obigen Aussagen.
- 5. Die Steuerung der Strahldrehung (Strahllage) ist für Folgendes hilfreich:**
  - a. Skalieren von Signalen auf dem Bildschirm.
  - b. Erkennen von Sinussignalen.
  - c. Ausrichten des Signalzugs mit der horizontalen Achse des Bildschirms bei einem analogen Oszilloskop.
  - d. Messen der Impulsbreite.
- 6. Das Bedienelement für Volt/Teil wird für Folgendes verwendet:**
  - a. Vertikales Skalieren eines Signals.
  - b. Vertikales Positionieren eines Signals.
  - c. Dämpfen oder Verstärken eines Eingangssignals.
  - d. Einstellen der Voltzahl, die jeder Skalenteil 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. Lässt erkennen, wo auf dem Bildschirm Null Volt liegt.
  - 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 eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den Trigger-Punkt erreicht. Andernfalls ist der Bildschirm leer.
  - c. Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop auch ohne Triggerung laufend eine Ablenkung.
  - d. Alle obigen Aussagen.
- 10. Der Erfassungsmodus, der Rauschen in einem sich wiederholenden Signal am besten unterdrückt, ist der:**
  - a. Abtastmodus.
  - b. Spitzenwertaufnahmemodus.
  - c. Hüllkurvenmodus.
  - d. Mittelwertmodus.

- 11. Die zwei grundlegendsten Messungen, die mit einem Oszilloskop durchgeführt werden können, sind:**
  - a. Zeit- und Frequenzmessungen.
  - b. Zeit- und Spannungsmessungen.
  - c. Spannungs- und Impulsbreitenmessungen.
  - d. 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 von 8 x 10 Skalenteilen), wie folgt:**
  - a. 62,5 Millivolt Spitze-Spitze.
  - b. 8 Volt Spitze-Spitze.
  - c. 4 Volt Spitze-Spitze.
  - d. 0,5 Volt Spitze-Spitze.
- 13. Wenn Sek/Teil auf 0,1 ms eingestellt ist, beträgt die über die gesamte Bildschirmbreite dargestellte Zeit:**
  - a. 0,1 ms.
  - b. 1 ms.
  - c. 1 Sekunde.
  - d. 0,1 kHz.
- 14. Gemäß Definition wird die Impulsbreite gemessen:**
  - a. Bei 10% der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
  - b. Bei 50 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
  - c. Bei 90 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
  - d. Bei 10 % und 90 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
- 15. Sie schließen einen Tastkopf an die zu prüfende Schaltung an, aber der Bildschirm ist leer. Sie sollten folgende Schritte ausführen:**
  - a. Überprüfen, ob die Bildschirmintensität aktiviert ist.
  - b. Überprüfen, ob das Oszilloskop so eingestellt ist, dass es den Kanal anzeigt, an den der Tastkopf angeschlossen ist.
  - c. Den Trigger-Modus auf Auto einstellen, da im Normal-Modus der Bildschirm leer ist.
  - d. Die vertikale Eingangskopplung auf AC einstellen und Volt/ Teil auf den größten Wert einstellen, da ein großes DC-Signal nach oben oder unten über den Bildschirmrand hinausgehen kann.
  - e. Überprüfen, ob der Tastkopf nicht kurzgeschlossen ist, und sicherstellen, dass er ordnungsgemäß geerdet ist.
  - f. Überprüfen, ob das Oszilloskop zur Triggerung auf dem verwendeten Eingangskanal eingestellt ist.
  - g. Alle obigen Aussagen.

## Antwortschlüssel

Dieser Abschnitt enthält die Antworten zu allen schriftlichen Prüfungen im vorhergehenden Abschnitt.

### Teil IA: 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 IB: 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 IIA: 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 IIB: 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	

## Glossar

### A

**Ablenkgeschwindigkeit** – Entspricht der Zeitbasis.

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

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

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

**Abtastung** – Vorgang, bei dem ein Teil eines Eingangssignals in eine Reihe von diskreten elektrischen Werten umgewandelt wird, damit diese gespeichert, verarbeitet und/oder dargestellt werden können. Es gibt zwei Arten: Echtzeit-Abtastung und Äquivalentzeit-Abtastung.

**Amplitude** – Eine charakterisierende Größe oder die Stärke eines Signals. In der Elektronik bezieht sich die Amplitude entweder auf Spannung oder Leistung.

**Analog-Digital-Wandler (ADW)** – Eine digitale elektronische Komponente, die ein elektrisches Signal in diskrete Binärwerte umwandelt.

**Analogen 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 Phosphor-Schicht auf der Kathodenstrahl-Bildröhre erzeugt beim Auftreffen des Strahls eine Leuchtspur.

**Analogen Signal** – Ein Signal mit sich kontinuierlich ändernden Spannungen.

**Anstiegszeit** – Die Zeit, die die ansteigende Flanke eines Impulses benötigt, um vom niedrigsten zum höchsten Wert zu gelangen, gewöhnlich gemessen zwischen 10 % und 90 %.

**Äquivalentzeit-Abtastung** – Eine Abtastmethode, bei der das Oszilloskop ein Bild eines repetitiven Signale erstellt, indem bei jeder Wiederholung ein kleiner Teil der Informationen erfasst wird. Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastungen: zufällig und sequenziell.

**Aufzeichnungslänge** – Die Anzahl der Signalknoten, die zum Erstellen einer Signalaufzeichnung verwendet werden.

### B

**Bandbreite** – Ein Frequenzbereich, in der Regel begrenzt durch -3 dB.

**Belastung** – Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, die das Signal verzerrt.

### C

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

### D

**Dämpfung** – Eine Verringerung der Signalamplitude während ihrer Übertragung von einem Punkt zu einem anderen.

**Digitale Oszilloskope** – Eine Oszilloskop-Art, die einen Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) eingesetzt, um die gemessene Spannung in eine digitale Information umzuwandeln. Es gibt folgende Arten: Digital-Speicher-, Digital-Phosphor-, Mixed-Signal- und Digital-Sampling-Oszilloskope.

**Digitale Signalverarbeitung** – Die Anwendung von Algorithmen, um die Genauigkeit gemessener Signale zu verbessern.

**Digitales Signal** – Ein Signal, dessen Spannungsabtastpunkte durch diskrete Binärzahlen dargestellt werden.

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

**Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO)** – Ein digitales Oszilloskop, das im Wesentlichen die Eigenschaften eines analogen Oszilloskops aufweist und gleichzeitig die Vorteile konventioneller digitaler Oszilloskope bietet (Signalspeicherung, automatisierte Messungen usw.). Das DPO verwendet eine parallele Verarbeitungsarchitektur zur Weiterleitung an den Rasterbildschirm, der eine helligkeitsmodulierte Darstellung der Signalcharakteristiken in Echtzeit bietet. Das DPO stellt Signale in drei Dimensionen dar: Amplitude, Zeit und Verteilung der Amplitude in Abhängigkeit von der Zeit.

**Digital-Sampling-Oszilloskop** – Ein digitales Oszilloskop, das die Äquivalentzeit-Abtastmethode zum Erfassen und Darstellen von Abtastungen eines Signals nutzt. Es eignet sich ideal für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich höher sind als die Abtastrate des Oszilloskops.

**Digital-Speicheroszilloskop (DSO)** – Ein digitales Oszilloskop, das Signale über digitales Sampling (mithilfe eines Analog-Digital-Wandlers) erfassst. Es verwendet eine serielle Verarbeitungsarchitektur zur Steuerung der Erfassung, Benutzeroberfläche und Rasterdarstellung.

### E

**Echtzeit-Abtastung** – Ein Abtastmodus, bei dem das Oszilloskop in einer einzigen getriggerten Erfassung so viele Abtastpunkte wie möglich erfassst. Ideal geeignet für Signale, deren Frequenzbereich kleiner als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ist.

**Effektive Bits** – Ein Maß für die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, die Form eines Sinussignals genau zu rekonstruieren. Diese Messung vergleicht den tatsächlichen Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers.

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

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

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

#### Erdung –

1. Eine leitende Verbindung, durch die eine elektrische Schaltung oder Vorrichtung mit Masse verbunden ist, um einen Referenzspannungsspeigel zu erzeugen und aufrechtzuerhalten.
2. Der Spannungsreferenzpunkt in einer Schaltung.

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

## F

**Flanke** – In einem Graphen oder in einer Oszilloskop-Anzeige ist dies das Verhältnis eines vertikalen Abstands zu einem horizontalen Abstand. Eine positive Flanke steigt von links nach rechts an, eine negative Flanke fällt von links nach rechts ab.

**Fokus** – Das Bedienelement eines analogen Oszilloskops, 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 gleich 1/Periode.

**Frequenzgang** – Frequenzgangkurven eines Oszilloskops definieren die Genauigkeit der Amplitudendarstellung des Eingangssignals als Funktion der Frequenz des Signals. Um die maximale Signaltreue zu erhalten, sollte das Oszilloskop einen flachen (stabilen) Frequenzgang über die gesamte angegebene Oszilloskop-Bandbreite aufweisen.

## G

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

**Gleichstrom (DC)** – Ein Signal mit einer konstanten Spannung und/oder Stromstärke. Wird auch verwendet, um die Signal-Kopplungsart anzugeben.

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

## H

**Helligkeitsmodulation** – Liefert Informationen über die Häufigkeit des Auftretens 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 bewirkt, dass ein Signal gezeichnet wird.

**Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)** – Gibt an, mit welcher Genauigkeit das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

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

## I

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

**Impulsbreite** – Die Zeitspanne, die der Impuls für den Übergang von niedrig zu hoch und wieder zurück benötigt, in der Regel gemessen bei 50 % der vollen Spannung.

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

**Interpolation** – Ein Verarbeitungsverfahren, das durch Verbinden von Punkten ein Näherungsbild eines schnellen Signals auf Basis weniger Abtastpunkte erstellt. Es gibt zwei Arten: linear und  $\sin(x)/x$ .

## K

**Kilohertz (kHz)** – 1.000 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 Transistor verbundene Schaltungen sind indirekt gekoppelt (AC).

## L

**Logikanalysator** – Ein Messgerät, mit dem die logischen Zustände vieler digitaler Signale in Abhängigkeit von der Zeit sichtbar gemacht werden können. Es analysiert die digitalen Daten und kann die Daten als Echtzeit-Software-Ausführung, Datenstromwerte, Zustandsfolgen usw. darstellen.

## M

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

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

**Mikrosekunden (μs)** – Zeiteinheit, die 0,000001 Sekunden entspricht.

**Millisekunden (ms)** – Zeiteinheit, die 0.001 Sekunden entspricht.

**Mittelwertbildung** – Ein Verarbeitungsverfahren, das von digitalen Oszilloskopen verwendet wird, um Rauschen in einem dargestellten Signal zu eliminieren.

**Mixed-Domain-Oszilloskop (MDO)** - Ein digitales Oszilloskop, das einen HF-Spektrumanalysator mit einem MSO oder DPO kombiniert und auf diese Weise zeitkorrelierte Darstellungen von Signalen aus dem Digital-, Analog- und HF-Bereich ermöglicht.

**Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO)** – Ein digitales Oszilloskop, das die grundlegenden Funktionen eines 16-Kanal-Logikanalysators mit der bewährten Leistungsfähigkeit eines 4-Kanal-Digital-Phosphor-Oszilloskops kombiniert.

## N

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

## O

**Oszilloskop** – Ein Messgerät, mit dem Spannungsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit sichtbar gemacht werden können. Der Begriff Oszilloskop kommt von „oszillieren“ (schwingen), da Oszilloskope häufig zum Messen schwingender Spannungen verwendet werden.

## P

**Periode** – Die Zeit, in der ein Zyklus vollständig durchlaufen wird. Die Periode ist 1/Frequenz.

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

**Phasenverschiebung** – Der Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen.

## R

**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** – Eine Anzeigeart.

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

**Rechtecksignal** – Eine gängige Signalform, die aus sich wiederholenden Rechteckimpulsen besteht.

## S

**Schaltungsbelastung** – Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, wodurch das Signal verzerrt wird.

**Schreibgeschwindigkeit** – Die Fähigkeit eines analogen Oszilloskops, eine sichtbare Strahlspur 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.

**Sensor** – Eine Vorrichtung, die bestimmte physikalische Größen, wie z. B. Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität, in ein elektrisches Signal umwandelt.

**Signalerfassungsrate** – Bezieht sich auf die Geschwindigkeit, mit der ein Oszilloskop Signale erfassen kann, angegeben in Signale pro Sekunde (wfms/s).

**Signalintegrität** – Die genaue Rekonstruktion eines Signals, bestimmt 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 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 gelesen. Auch unter der Bezeichnung Signalgenerator bekannt.

**Signalzug** – Die grafische Darstellung einer Spannung, die sich im Laufe der Zeit ändert.

**Sinusignal** – Eine gängige geschwungene Signalform, die mathematisch definiert ist.

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

**Spitze (Vp)** – Der maximale Spannungspegel, gemessen von einem Null-Referenzpunkt.

**Spitzenwerterfassung** – Ein Erfassungsmodus bei digitalen Oszilloskopen, der die Darstellung von Signaldetails ermöglicht, die ansonsten übersehen werden. Ist besonders zur Darstellung schmaler Impulse in großem zeitlichem Abstand von Vorteil.

**Spitze-Spitze (Vp-p)** – Die zwischen Maximum und Minimum eines Signals gemessene Spannung.

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

## T

**Tastkopf** – Ein Oszilloskop-Eingabegerät, gewöhnlich ausgestattet mit einer Metallspitze zum Herstellen eines elektrischen Kontakts mit einem Schaltungs-Bauteil, einem Leiter zur Verbindung mit der Massereferenz einer Schaltung und einem flexiblen Kabel zur Signalübertragung und Erdung an das Oszilloskop.

**Teil (Skalenteil)** – Messmarkierungen auf dem Oszilloskop-Raster, die die Messpunkte anzeigen.

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

**Trigger** – Die Schaltung, die eine horizontale Ablenkung auf einem Oszilloskop auslöst.

**Trigger-Flanke** – Die Flanke, die ein Trigger-Quellensignal erreichen 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 Triggermodi sind Normal und Auto.

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

## V

**Verstärkung** – Eine Erhöhung der Signalamplitude während ihrer Übertragung von einem Punkt zu einem anderen.

**Verstärkungsgenauigkeit** – Gibt an, mit welcher Genauigkeit das Vertikalsystem ein Signal dämpfen oder verstärken kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

**Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)** – Gibt an, wie genau ein Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) in einem digitalen Oszilloskop Eingangsspannungen in digitale Werte (gemessen in Bit) 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 Skalenteil.

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

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

**Vortrigger-Darstellung** – Die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, das Verhalten eines Signals vor einem Trigger-Ereignis zu erfassen. Bestimmt die Länge des darstellbaren Signals vor und nach einem Trigger-Punkt.

## W

**Wechselstrom (AC)** – Ein Signal, bei dem sich Stromstärke und Spannung in einem sich wiederholenden Muster im Laufe der Zeit ändern. Wird auch verwendet, um die Signal-Kopplungsart anzugeben.

**Welle (Signal)** – Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich im Laufe der Zeit wiederholt. Übliche Arten sind: Sinus, Symmetrisches Rechteck, Asymmetrisches Rechteck, Sägezahn, Dreieck, Treppe, Impuls, Periodisch, Nichtperiodisch, Synchron, Asynchron.

## X

**XY-Modus** – Ein Messverfahren, bei dem ein Signal wie gewöhnlich in das Vertikalsystem eingespeist wird, und ein weiteres Signal in das Horizontalsystem, um Spannungen sowohl auf der X-Achse als auch auf der Y-Achse zu verfolgen.

## Z

**Z-Achse** – Das Darstellungsattribut eines Oszilloskops, das die Helligkeitsvariationen beim Aufbau der Signaldarstellung anzeigt.

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

**Tektronix-Kontaktdaten:**

ASEAN/Australien und Pazifik (65) 6356 3900

Österreich\* 00800 2255 4835

Balkan, Israel, Südafrika und andere ISE-Länder +41 52 675 3777

Belgien\* 00800 2255 4835

Brasilien +55 (11) 3759 7627

Kanada 1 (800) 833-9200

Mittel-/Osteuropa und Baltikum +41 52 675 3777

Mitteleuropa und Griechenland +41 52 675 3777

Dänemark +45 80 88 1401

Finnland +41 52 675 3777

Frankreich\* 00800 2255 4835

Deutschland\* 00800 2255 4835

Hong Kong 400-820-5835

Indien 000-800-650-1835

Italien\* 00800 2255 4835

Japan 81 (3) 6714-3010

Luxemburg +41 52 675 3777

Mexiko, Mittel-/Südamerika und Karibik 52 (55) 56 04 50 90

Naher/Mittlerer Osten, Asien und Nordafrika +41 52 675 3777

Niederlande\* 00800 2255 4835

Norwegen 800 16098

Volksrepublik China 400-820-5835

Polen +41 52 675 3777

Portugal 80 08 12370

Republik Korea 001-800-8255-2835

Russland und GUS-Staaten +7 (495) 7484900

Südafrika +27 11 206 8360

Spanien\* 00800 2255 4835

Schweden\* 00800 2255 4835

Schweiz\* 00800 2255 4835

Taiwan 886 (2) 2722-9622

Vereinigtes Königreich und Irland\* 00800 2255 4835

USA 1 (800) 833-9200

\* Wenn die europäische Telefonnummer nicht erreichbar ist,  
rufen Sie an unter +41 52 675 3777

Letzte Aktualisierung der Kontaktliste: 10. Februar 2011

**Weitere Informationen**

Tektronix verfügt über eine umfassende, laufend erweiterte Sammlung an Applikationsbroschüren, technischen Informationsblättern und anderen Ressourcen für Ingenieure, um Ihnen bei ihrer Pionierarbeit mit den neusten Technologien zu helfen. Besuchen Sie unsere Website unter [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)



Copyright © 2011, Tektronix. Alle Rechte vorbehalten. Tektronix-Produkte sind durch erteilte und angemeldete Patente in den USA und anderen Ländern geschützt. Die Informationen in dieser Broschüre ersetzen alle einschlägigen Angaben älterer Unterlagen. Änderungen der Spezifikationen und der Preise vorbehalten. TEKTRONIX und TEK sind eingetragene Marken von Tektronix, Inc. Alle anderen in diesem Dokument aufgeführten Handelsnamen sind Servicemarken, Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Inhaber.

12/12 EA/FCA-POD

03G-8605-6

TEK1511

**Tektronix®**