

# Grundlagen zu analogen und digitalen Oszilloskopen

## Allgemeines zum analogen Oszilloskop

Analoge Oszilloskope sind bildgebende Messinstrumente und dienen meist der Darstellung zweier (oder mehrerer) voneinander unabhängiger *Spannungen*  $u(t)$  über der Zeit  $t$ . Üblicherweise wird die Abszisse für die Zeit  $t$  und die Ordinate für die Spannung(en)  $u$  verwendet. Das entstehende Bild wird als *Oszillogramm* bezeichnet.

*Ströme* können mittels Stromzangen (Strom-Spannungs-Wandler) oder indirekt als Spannung über einem bekannten Widerstand gemessen werden. *Phasenverschiebungen* können quantitativ aus der  $u(t)$ -Darstellung oder qualitativ über *Lissajous-Figuren* ermittelt werden. Durch geeignete Messaufbauten sind auch *Bauteilkennlinien* und unter Zuhilfenahme spezieller Generatoren sogar *Amplitudenfrequenzgänge* darstellbar.

Oszilloskope verfügen über verschiedene *Betriebsmodi*, die neben periodischen Signalverläufen meist auch einmalige (transiente) Vorgänge (s. u.) anzeigen können. Außerdem verfügen Sie über Einstellmöglichkeiten u. a. von Verstärkung und Zeitmaßstab und ermöglichen so eine für die jeweils vorliegende Messaufgabe zweckmäßige Darstellung der zu untersuchenden Größen. Analoge Oszilloskope, die eine Elektronenstrahlröhre zur Signaldarstellung verwenden, erzeugen das Bild über eine Leuchtbeschichtung auf der Bildröhrenvorderseite und nutzen das Nachleuchten dieser Schicht aus. Solche Geräte können allerdings nur periodisch wiederkehrende Vorgänge darstellen. Rein analog arbeitende Oszilloskope sind weitgehend verdrängt worden. Moderne Modelle verfügen (auch wenn Bedienung und äußeres Erscheinungsbild an die analogen Vorgänger angelehnt sind) mindestens über einen internen Zwischenspeicher zur Messwertaufnahme und ausgewählte Messfunktionen. Außerdem können diese mit zusätzlichem Speicher ausgerüsteten Geräte einmalige Vorgänge über längere Zeit anzeigen. Häufig besitzen sie eine Rechnerschnittstelle, die es ermöglicht, das Schirmbild (bzw. die dem Schirmbild zu Grunde liegenden Messdaten) zur weiteren Verwendung auszulesen.

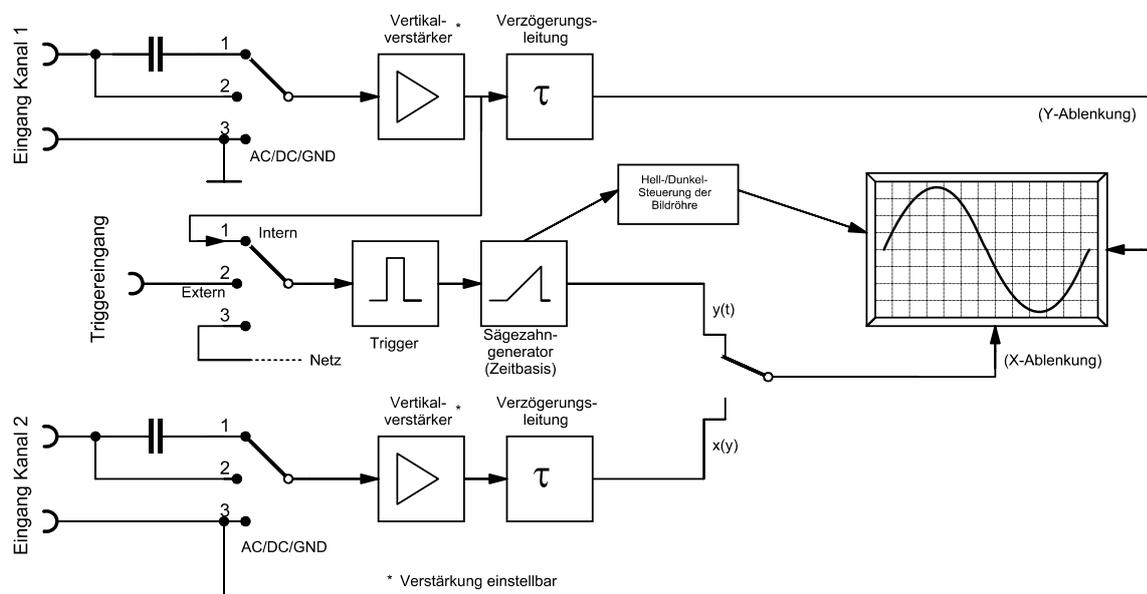


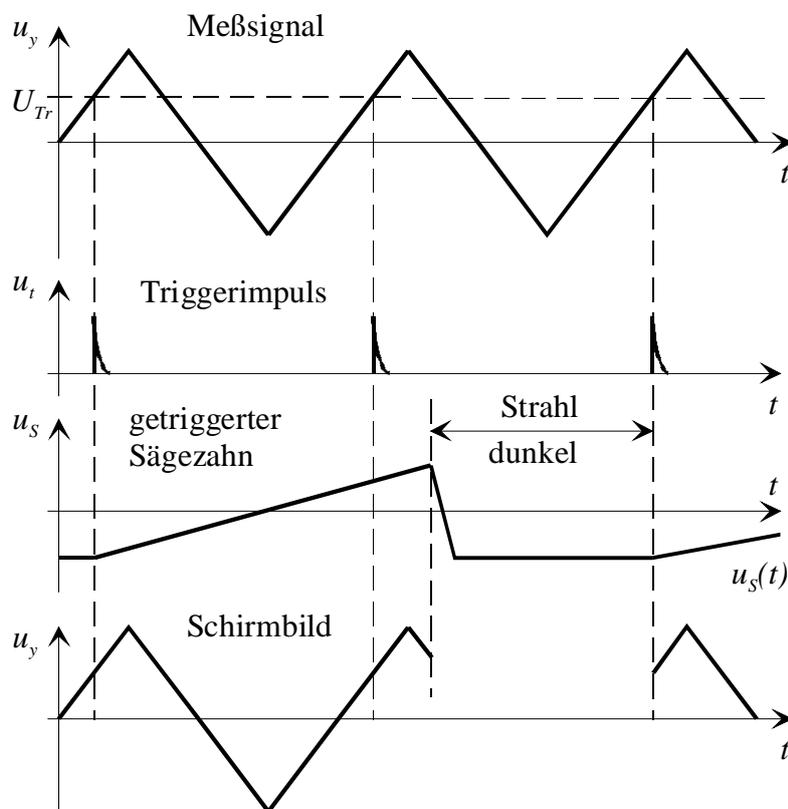
Bild 1: Prinzipschaltbild eines einfachen zweikanaligen Oszilloskops

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines einfachen analogen Oszilloskops mit 2 Eingangskanälen. Direkt vor dem ersten Verstärker befindet sich ein Umschalter für die Ankopplung des Signalpfads: DC (*Direct Current*, Gleichspannungskopplung), AC (*Alternating Current*, Wechselspannungskopplung).

Diese Kopplungsmodi dienen der Entkopplung von Gleichspannungsanteilen (AC-Kopplung) bzw. der Berücksichtigung dieser Signalanteile (DC-Kopplung). Eine dritte Position (GND: *Ground*) verbindet den Eingang des Messverstärkers mit dem Nullpotenzial/Bezugspotenzial und dient zur Einstellung der Nulllage des Strahlbildes. Der Eingangswiderstand des Verstärkers beträgt typischerweise  $1\text{ M}\Omega$  bei einer Eingangskapazität von  $10 \dots 50\text{ pF}$ . Beide Eingangskanäle haben i. d. R. ein gemeinsames (!) Bezugspotenzial, sind also intern miteinander und zusätzlich über den Schuko-Stecker mit dem Schutzleiter des Versorgungsnetzes verbunden.

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 (Abszisse) kann umschaltbar 2 Funktionen erfüllen:



Triggerspannung  $U_{Tr}$  positiv  
 Triggern auf ansteigender Flanke (+slope)

Bild 2: Zeitverlauf der Ablenkspannung

- Für die Darstellung in Abhängigkeit der Zeit  $u = f(t)$  muss der Elektronenstrahl intern mit konstanter Geschwindigkeit in horizontaler Richtung vom linken zum rechten Schirmrand abgelenkt werden. Die dazu an den X-Ablenkplatten erzeugte Spannung hat eine Rampen- oder Sägezahnform.
- Bei der Koordinatendarstellung zweier Signalspannungen (*XY-Betrieb*) wird der X-Ablenkverstärker mit dem zweiten Signaleingang verbunden (Bezeichnung am Gerät z. B. „*HOR. INPUT*“).

An die im X- und Y-Kanal vorhandenen Verstärker müssen, wie an alle Messverstärker, besondere Anforderungen gestellt werden. Sie sollen vom Gleichspannungsbereich ( $f = 0$  Hz) bis zu einer Maximalfrequenz von z. B. 150 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 ( $> 10$ -fach, besser 30-fach) so hoch wie die Taktfrequenz der untersuchten Schaltung sein, um eine signalgetreue Abbildung zu erreichen.

Im Bild 2 ist der Abbildungsvorgang eines intern getriggerten Oszilloskops dargestellt. Um ein „stehendes“ Bild zu erhalten (also die immer wiederkehrende Darstellung des selben Bildinhaltes), müssen gleiche Abschnitte des Signalverlaufs passend übereinander gezeichnet werden. Die *Triggerschaltung* (engl. trigger: Auslöser) muss also den Ablenkstrahl immer wieder an einer gleichen Stelle der Signalkurve auslösen und so für jedes Bild beim selben Spannungswert starten. Die auslösende Höhe der Triggerspannung (*Trigger Level*,  $U_{Tr}$ ) kann mit einem Potentiometer auf einen positiven oder negativen Wert eingestellt werden (im gezeigten Bild ist  $U_{Tr} > 0$  V). Außerdem kann auf ansteigender (*+Slope*) oder fallender (*-Slope*) Flanke getriggert werden (im Bild *+Slope*). Wenn die zu messende Spannung  $u(t)$  die Triggerschwelle  $U_{Tr}$  auf der eingestellten Flanke erreicht, wird ein Triggerimpuls abgegeben, der die Sägezahnspannung  $u_s(t)$  startet und einen einmaligen Durchlauf dieser Funktion bewirkt. Weitere Triggerimpulse, die während dieses Durchlaufs generiert werden, haben keinerlei Auswirkung auf die Horizontalablenkung. Die Steigung der Ablenkspannung (in Zeit/DIV) wird mit dem Zeitmaßstabschalter, der z. B. in s/DIV oder  $\mu$ s/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 dunkelgetastet.

Die Triggerrung kann intern vom abgebildeten Eingangssignal  $y(t)$  abgeleitet werden, wahlweise von Kanal 1 oder Kanal 2 sowie von einer externen Quelle (Buchse *EXTERN*) oder auch von der Netzspannung (Wahlschalter in Position *LINE ~*) erfolgen. Die Ankopplung an die Triggerschaltung kann als Gleichspannung (*DC*), Wechselspannung (*AC*) oder gefiltert (*HF*, *LF*, *TVL*) erfolgen, was durch den Trigger-Wahlschalter (*Trigger Mode*) eingestellt wird.

Häufig ist es sinnvoll oder notwendig, zwei (oder sogar mehr) Messgrößen  $y_1(t)$  und  $y_2(t)$  gleichzeitig und in ihrem zeitlichen Bezug zueinander darzustellen. Dieses ist im *Zweikanalbetrieb* (YT) 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 anzeigt. Es gibt bei analogen Geräten zwei mögliche Betriebsarten, „chopped“ (engl. zerhackt) und „alternating“ (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 Chopper-Frequenz (Zerhackerfrequenz) muss hierzu erheblich höher sein als die Frequenz der Messsignale. Nur dann erscheinen die Signale dem 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 langsamen Ablenkvorgängen eingesetzt.

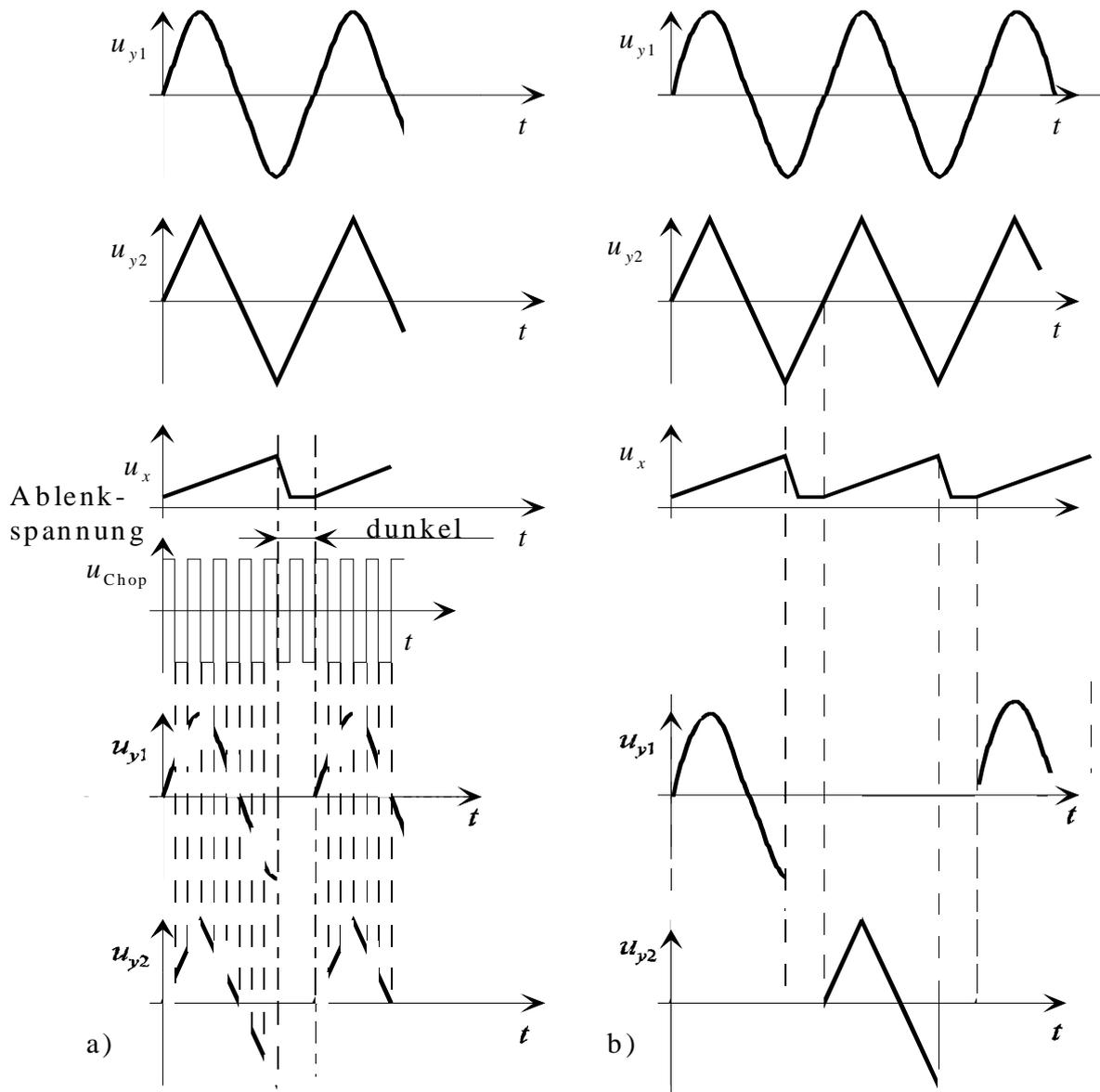


Bild 3: Zweikanalbetrieb beim Oszilloskop  
 a) Betriebsart „chopped“  
 b) Betriebsart „alternating“

Im *Alternating-Betrieb* werden beide Signale im Takt der Zeitablenkung nacheinander dargestellt, wobei jedes Signal nur in jeder zweiten 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. Alternating wird daher hauptsächlich bei schnellen Ablenkzeiten eingesetzt.

Die Belastung der Signalquelle durch die Kabelkapazität und die Eingangskapazität eines Oszilloskops lässt sich durch die Verwendung eines *Teilertastkopfes* verringern. Bei ihm wird aus einem Widerstand in der Messspitze ( $R_T$ ) und dem Eingangswiderstand des Oszilloskops ( $R_E$ ) ein Spannungsteiler 10:1 gebildet (d. h., nur noch ein Zehntel der gemessenen Spannung kommt am Eingang des Oszilloskops an). Zum Ausgleich von Kabel- und Eingangskapazität ( $C_L$ ,  $C_E$ ) befindet sich ein kompensierend wirkender Kondensator  $C_T$  im Tastkopf. Dieser Kondensator kann am Tastkopf eingestellt werden (s.u.). Sind die Teilverhältnisse gleich, ergibt sich ein frequenzunabhängiger Spannungsteiler. Als wirksamer Eingangswiderstand (Gleichspannung) ergibt sich bei vernachlässigbar kleinem  $R_L$  die Reihenschaltung von  $R_T$  und  $R_E$ , etwa 10 M $\Omega$ . Als wirksame Eingangskapazität für die Signalquelle ergibt sich die Reihenschaltung von  $C_T$ ,  $C_L||C_E$ , meist ca. 15 pF.

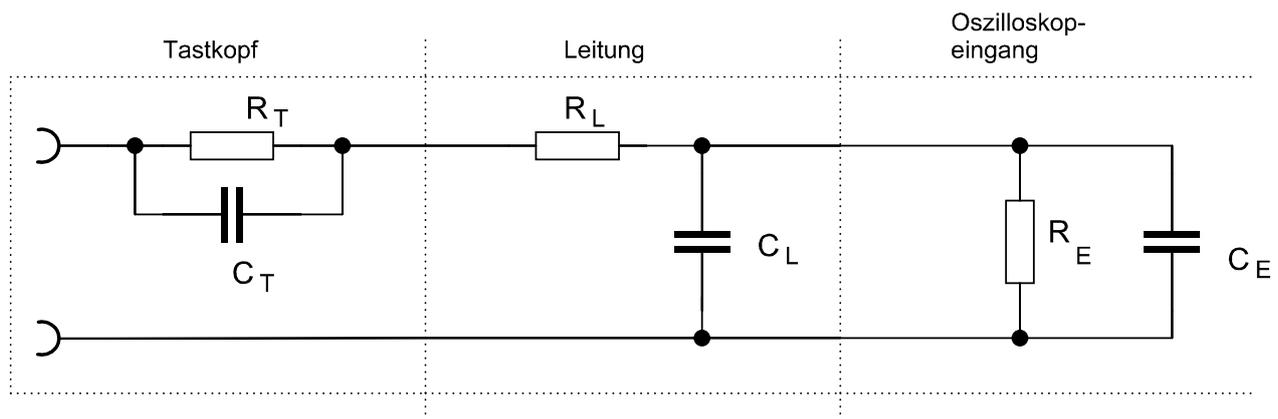


Bild 4: Anschluss eines 10:1 Teilertastkopfes

Für genaue Messungen über einen großen Frequenzbereich sollte der Tastkopf am Oszilloskop auf das korrekte Teilverhältnis durch Einstellen von  $C_T$  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 Teilertastkopf muss berücksichtigt werden, dass die Spannung am Geräteeingang je nach Teilverhältnis z. B. nur noch 1/10 der zu messenden Spannung beträgt und das Gerät deshalb auch nur 1/10 dieser Spannung anzeigt. Moderne Oszilloskope ermöglichen durch Zuschalten eines Faktors von 10 eine Korrektur dieser Signalabschwächung.

In Bild 5 die Hauptbedienelemente eines Oszilloskops dargestellt. Die Beschriftung ist meistens international mit englischen Bezeichnungen.

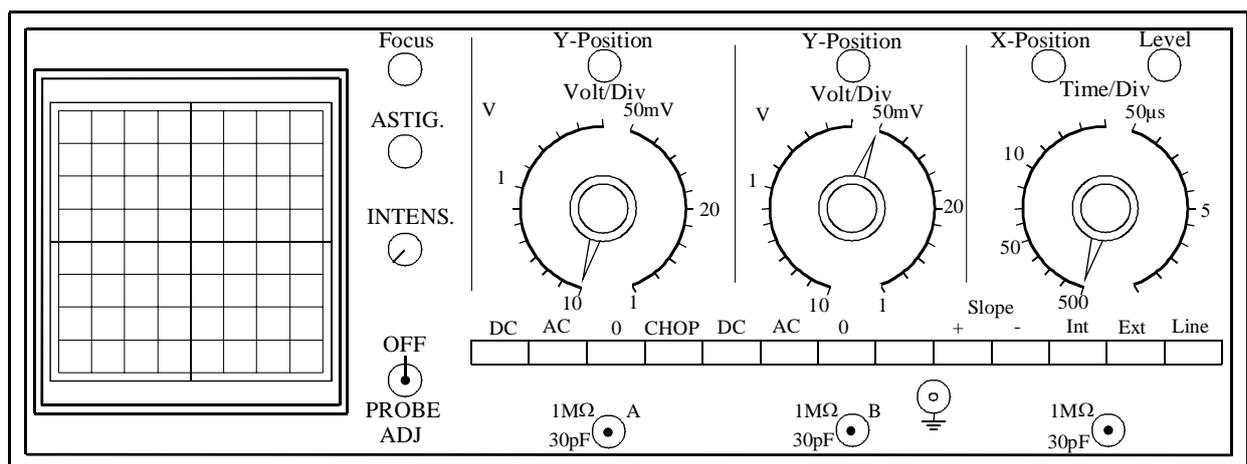


Bild 5: Bedienungsfeld eines Zweikanal-Oszilloskops (vereinfacht)

## Digitales Speicher-Oszilloskop

Bei den meisten Speicher-Oszilloskopen ist das übliche Blockschaltbild eines analogen Oszilloskops erweitert um einen digitalen Speicher, der die im Analog-Digital-Wandler (A/D) gewandelten Signalwerte zwischenspeichert und über einen Digital-Analog-Wandler (D/A) wieder auf eine vergleichbare Bildröhre oder ein elektronisches Display gibt. Häufig lassen sich sogar die Betriebsarten „analog“ und „digital“ umschalten.

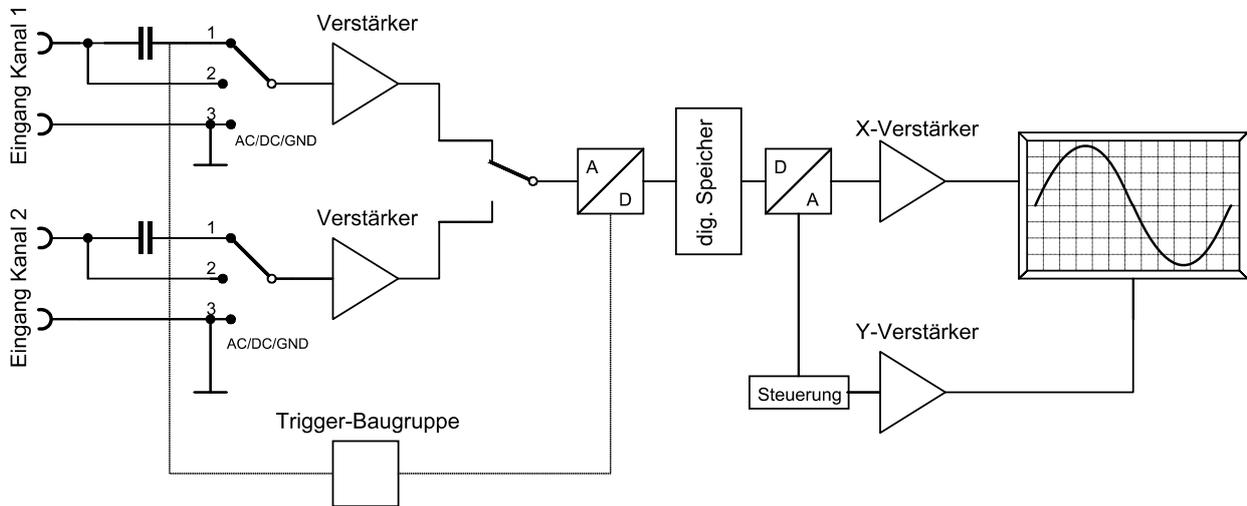


Bild 6: Blockschaltbild eines digitalen Speicher-Oszilloskops.