

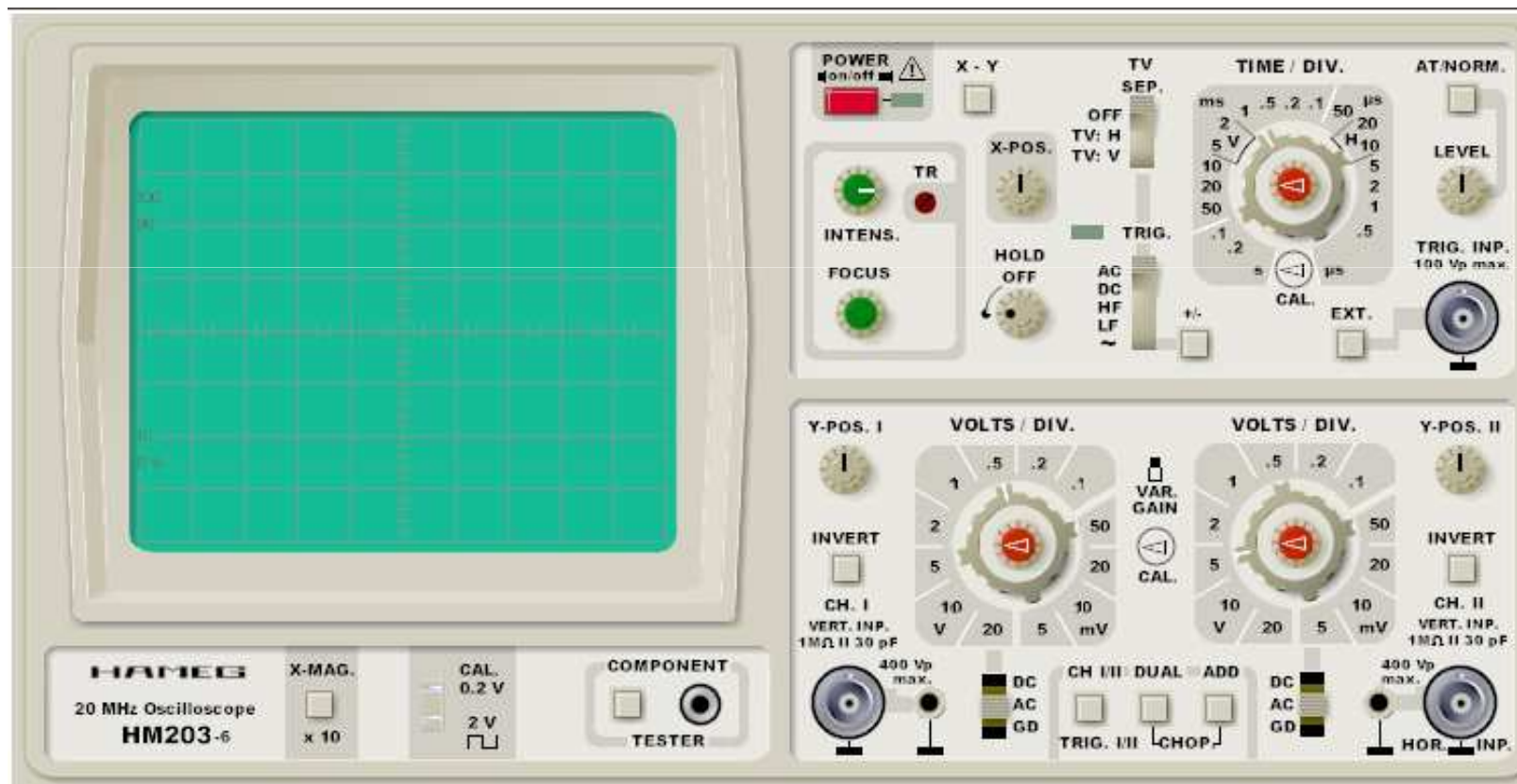
6 Das Oszilloskop - Darstellen des Zeitverlaufs elektrischer Signale

Überblick

- wichtige Aufgabe der Messtechnik: Erfassung zeitlicher Signalverläufe.
- Bestimmung von Amplitude (Maximalwerte), Periodendauer, Frequenz.
- Beurteilung von Signalverläufen hinsichtlich Störungen (periodische Störungen, Spikes..)
- wichtigstes Instrument: Oszilloskop
- Oszilloskop
 - Elektronenstrahloszilloskop
 - Digitaloszilloskop

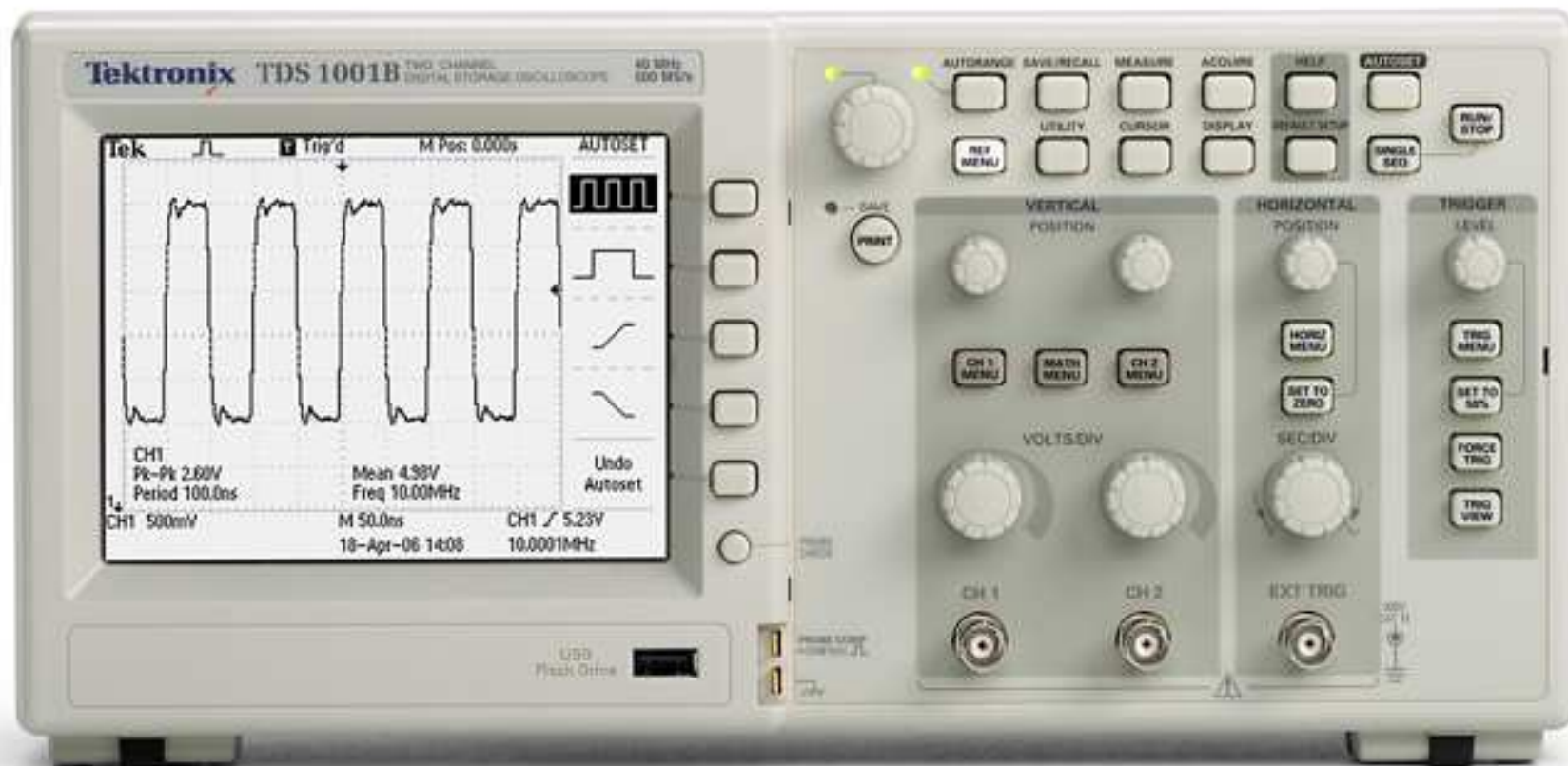
einfaches analoges Oszilloskop

Bandbreite: 20 MHz



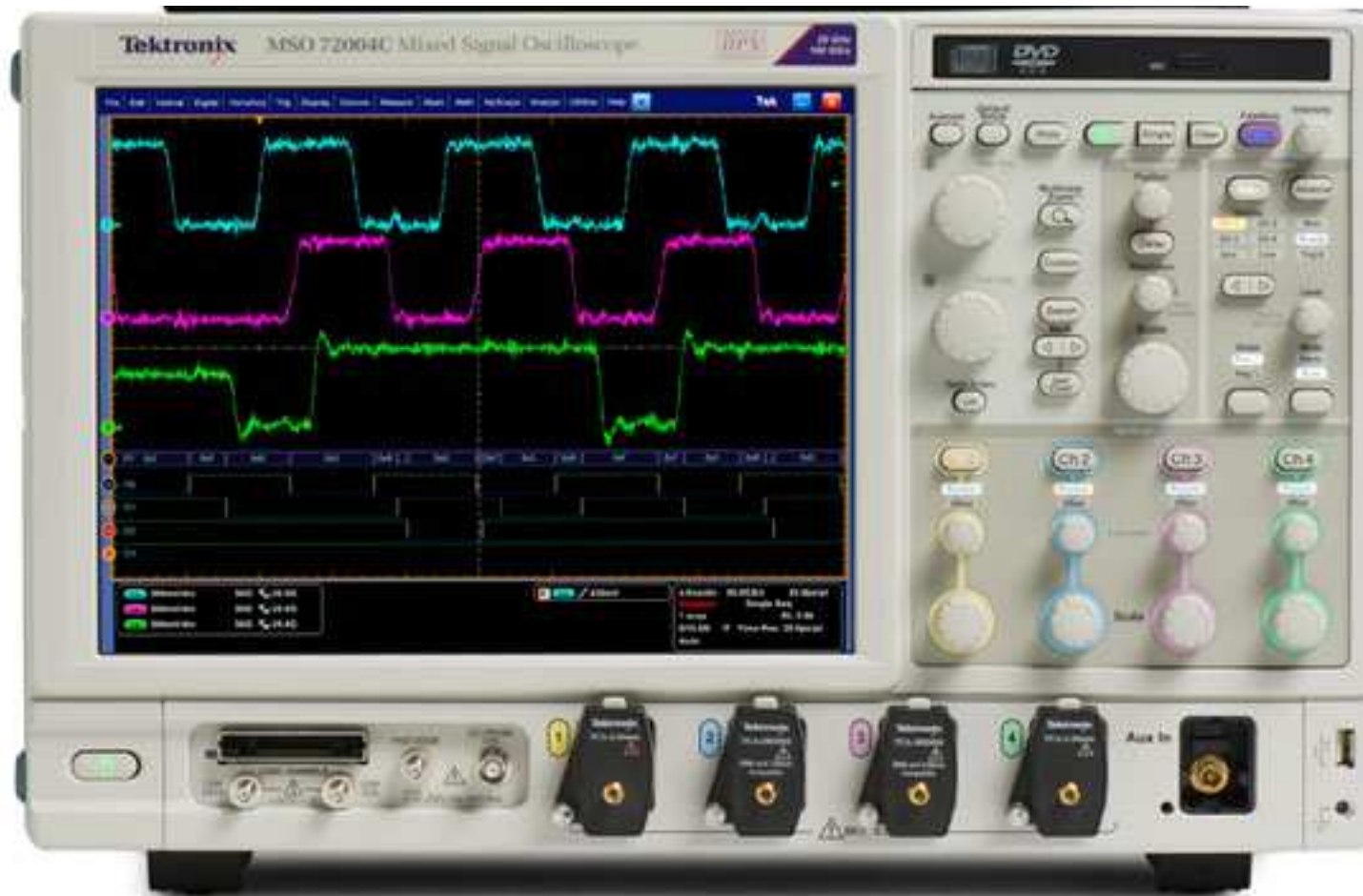
Einfaches Digitaloszilloskop

Bandbreite 40 MHz,
Varianten bis 500 MHz



Komplexes Digital-Oszilloskop

Bandbreite 20 GHz

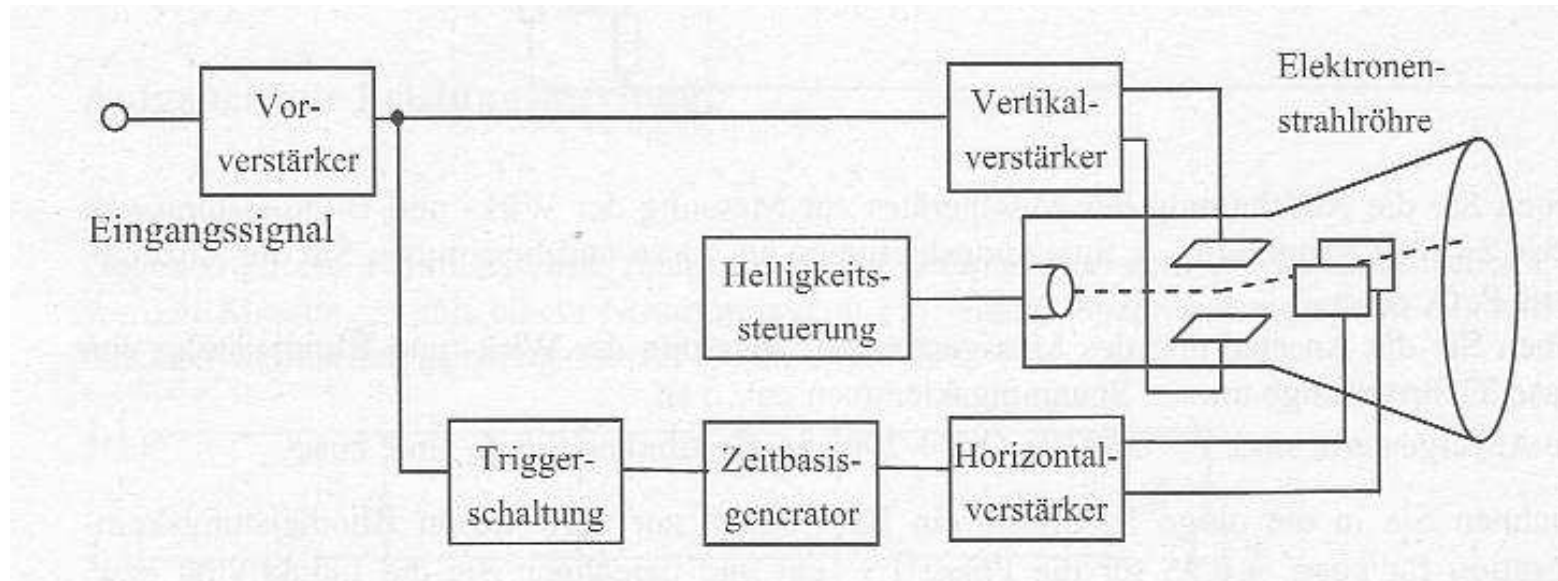


Inhalt

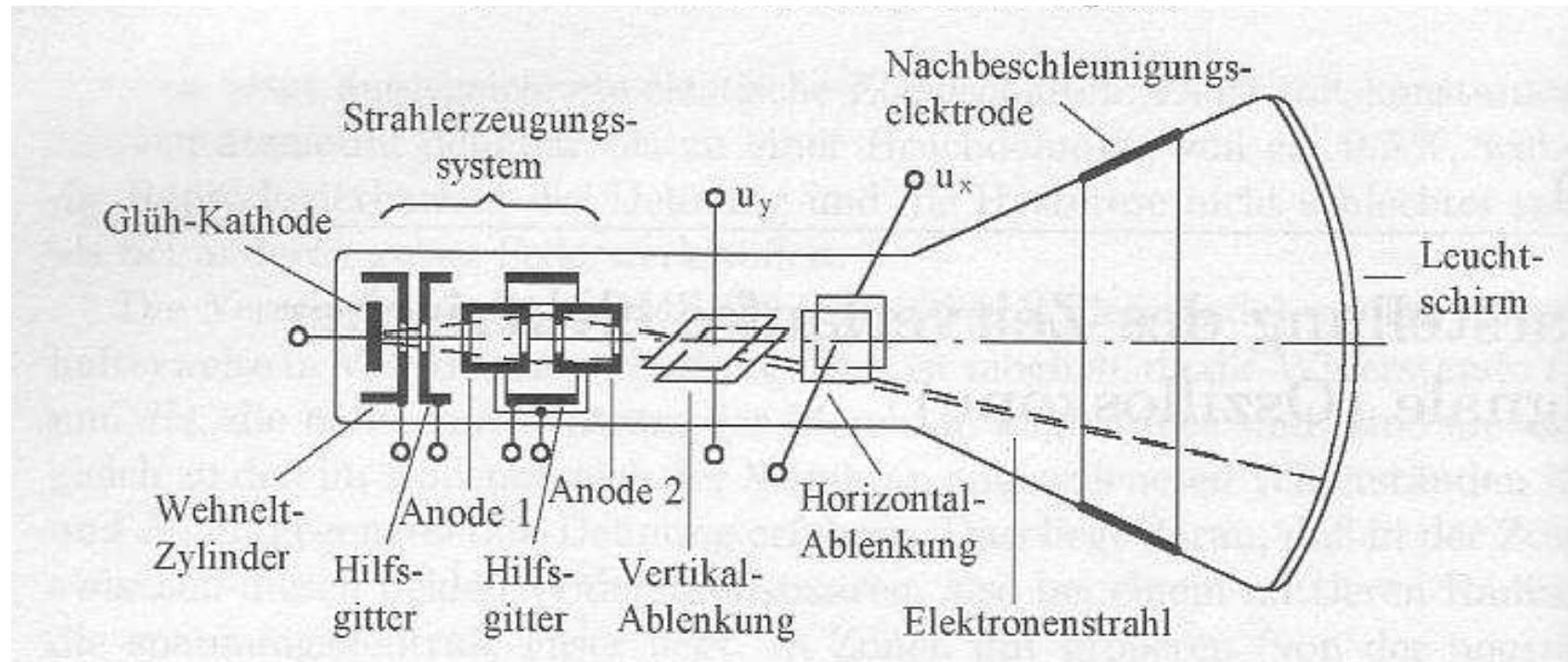
- Architektur – Grundaufbau eines analogen Oszilloskops (Blockschaltbild)
- Elektronenstrahlröhre, Strahlableitung
- Funktionsgruppen, Wirkungsweise, Kennwerte
- Tastköpfe / Teiler
- Messen mit dem Oszilloskop: Anwendungen
- Spezialoszilloskope

Analoges Elektronenstrahloszilloskop

Einführung: Bockschaltbild

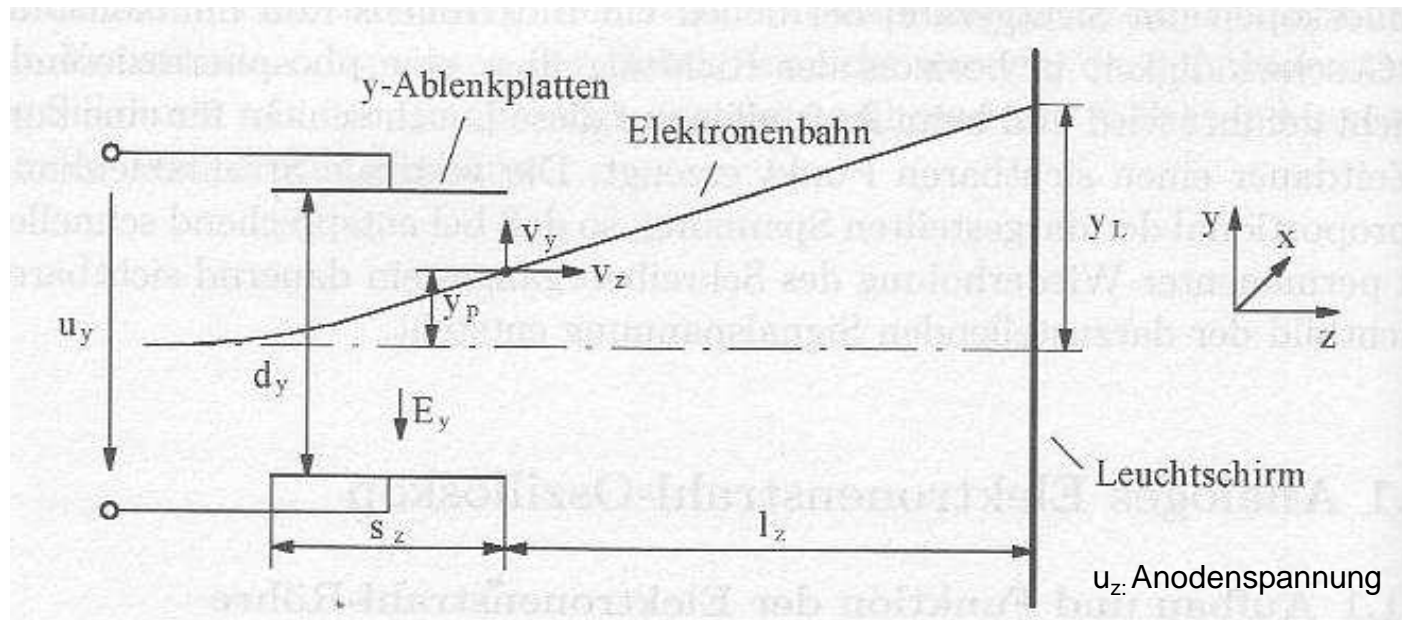


Elektronenstrahlröhre



Strahlerzeugungssystem: Kathode, Wehnelt-Zylinder, Anode 1 u.2 : Spannungen über Potis einstellbar
Strahlerzeugung (Glühemission), Elektronenbeschleunigung, Strahlfokussierung/-bündelung
Strahlablenkung: Vertikal- und Horizontalablenkung
Nachbeschleunigung (Anode, ausgeführt als Grafitwendel, (darf Strahlablenkung und -fokussierung nicht stören))

Strahlablenkung



y-Position auf dem Schirm:

$$y_L \approx \frac{u_y}{u_z} \frac{s_z l_z}{2d_y}$$

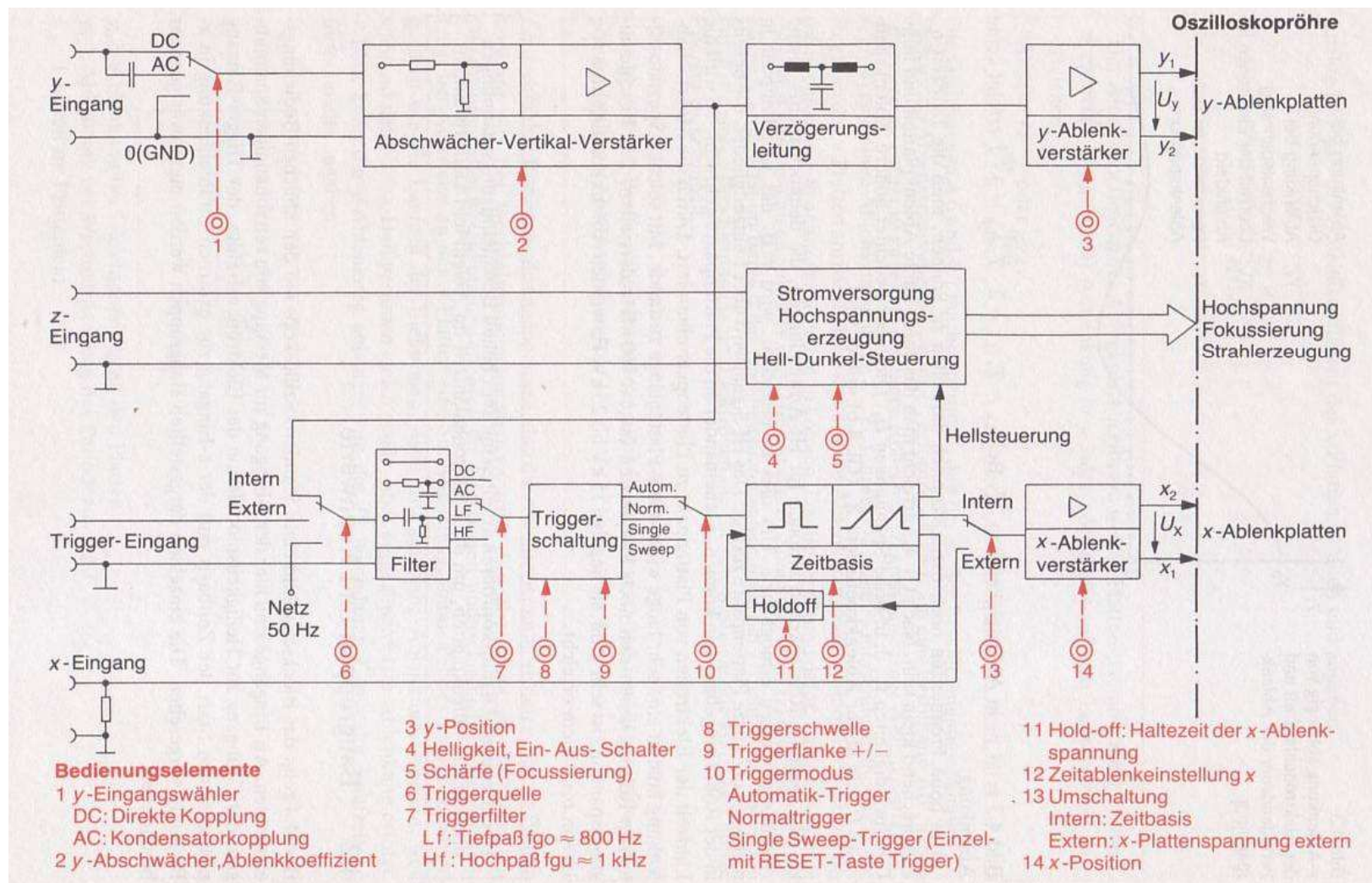
Ablenkkoeffizient

$$K_y = \frac{u_y}{y_L}$$

Ablenkempfindlichkeit

$$S_y = \frac{1}{K_y} = \frac{y_L}{u_y}$$

Funktionsgruppen des Oszilloskops



y-Kanal

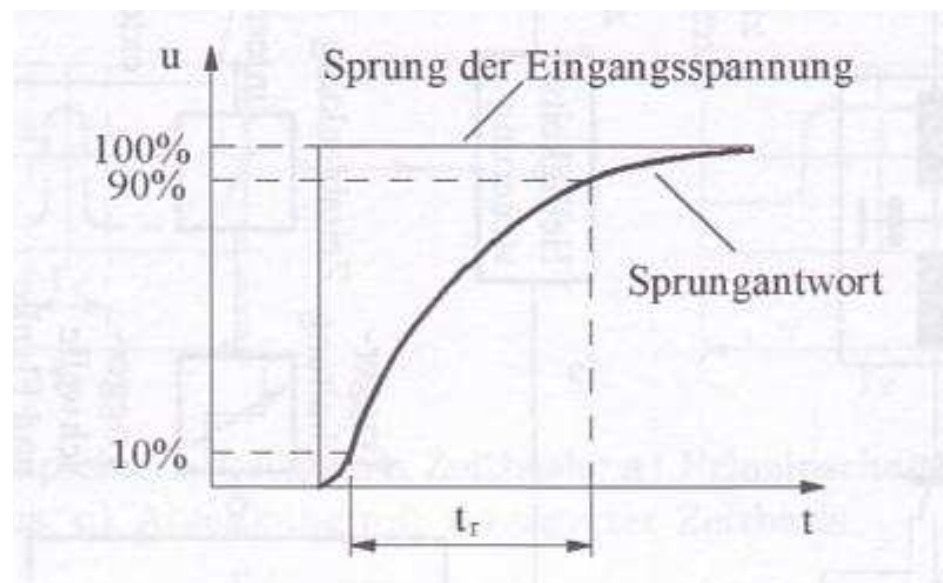
- Momentanwert der y-Eingangsspannung → proportionale Auslenkung y_L auf dem Schirm
- Eingang
 - Kopplung: DC, AC, GND
 - Spannungsteiler / Abschwächer:
 - Einstellung des Ablenkungskoeffizienten K
Beispiel: 10mV/div; 10mV/Teilstrich
 - Spannungsteiler muss frequenzkompensiert sein
 - Eingangswiderstand $Z_e = R_e \parallel C_e$
 - Beispiel: $1\text{M}\Omega \parallel 30\text{pF}$ (siehe Gerätefront)

y-Kanal

- Eingang
 - Grenzfrequenz / Anstiegszeit

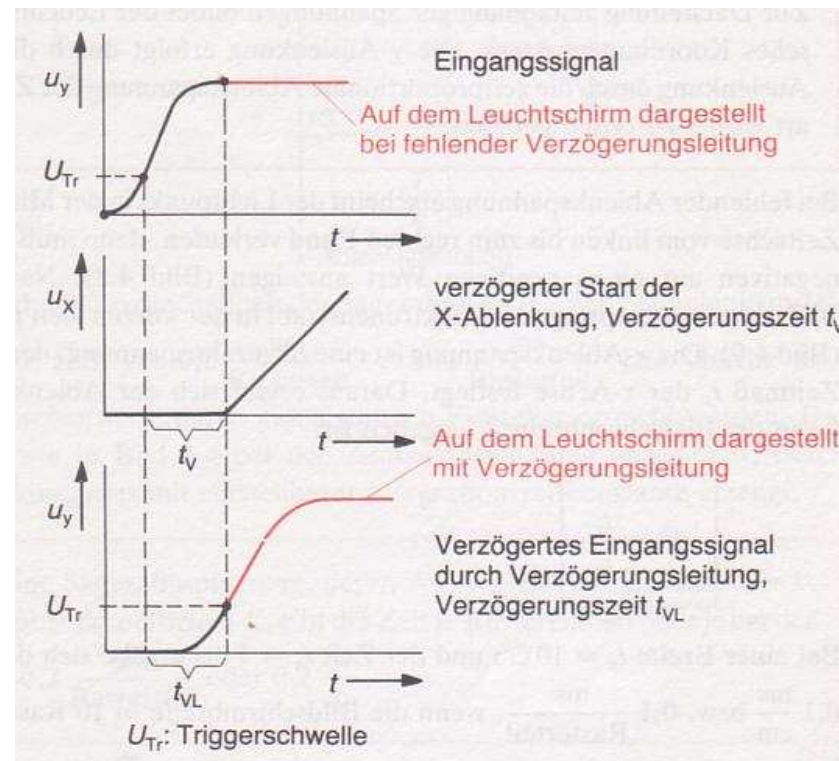
obere Grenzfrequenz: $f_{g,o} = \frac{0,35}{t_r} \quad U_{anz}(f_{g,o}) = \frac{1}{\sqrt{2}} U_0$

Anstiegszeit



y-Kanal

- Verzögerungsschaltung
 - Signal im y-Kanal wird verzögert bis x-Ablenkung nach Triggerimpuls startet



Zeitablenkung

- häufigster Anwendungsfall des Oszilloskops: Darstellung der Signale als Funktion der Zeit
- Ablenkkoeffizient im kartesischen Koordinatensystem des Bildschirms

$$K_t = \frac{t_x}{l_x}$$

t_x : Zeitmaß der x-Achse
 l_x : Länge der x-Achse

- einstellbar, Bsp: 0,1 ms/div; 0,1 ms/Teilstrich

Zeitablenkung

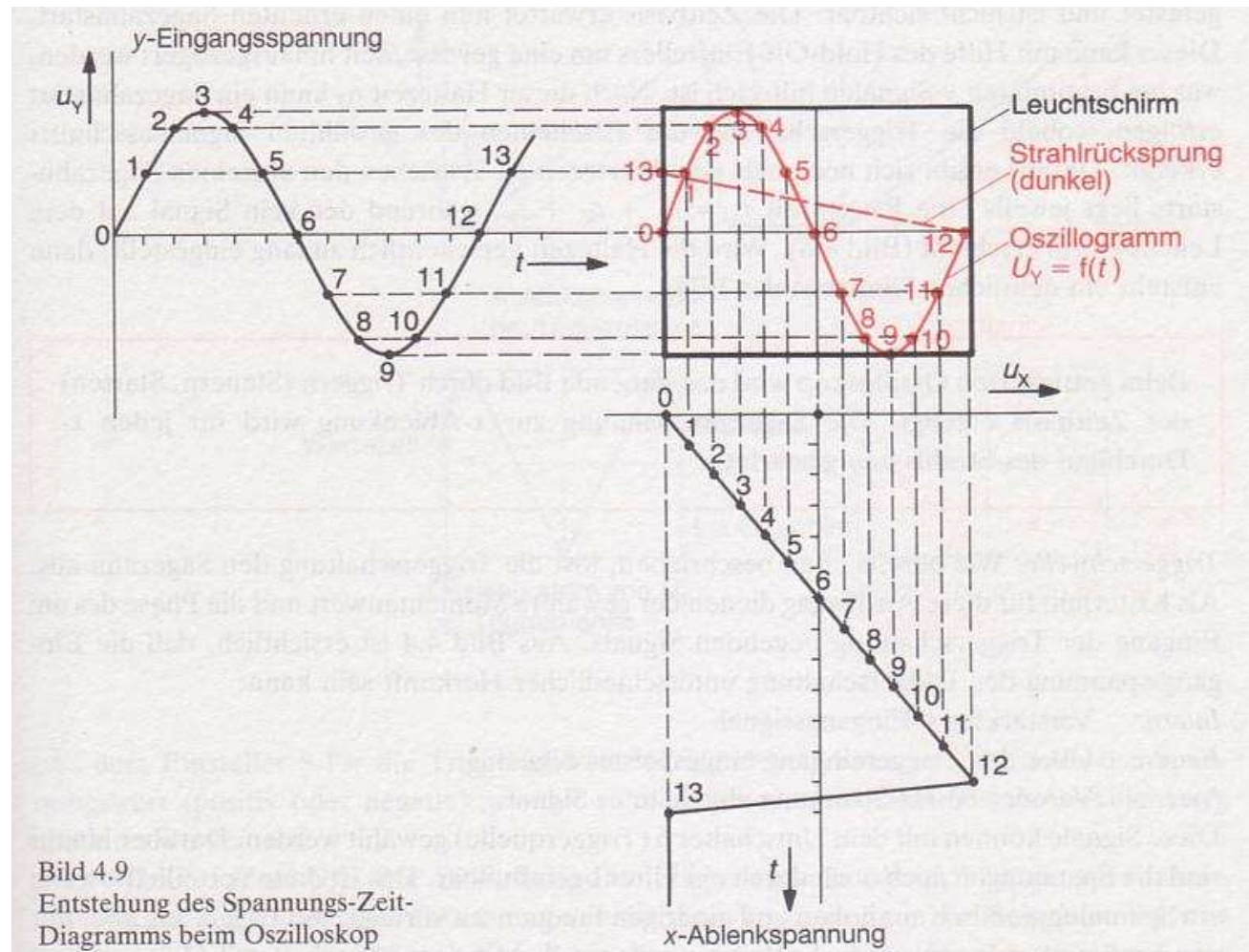


Bild 4.9
Entstehung des Spannungs-Zeit-
Diagramms beim Oszilloskop

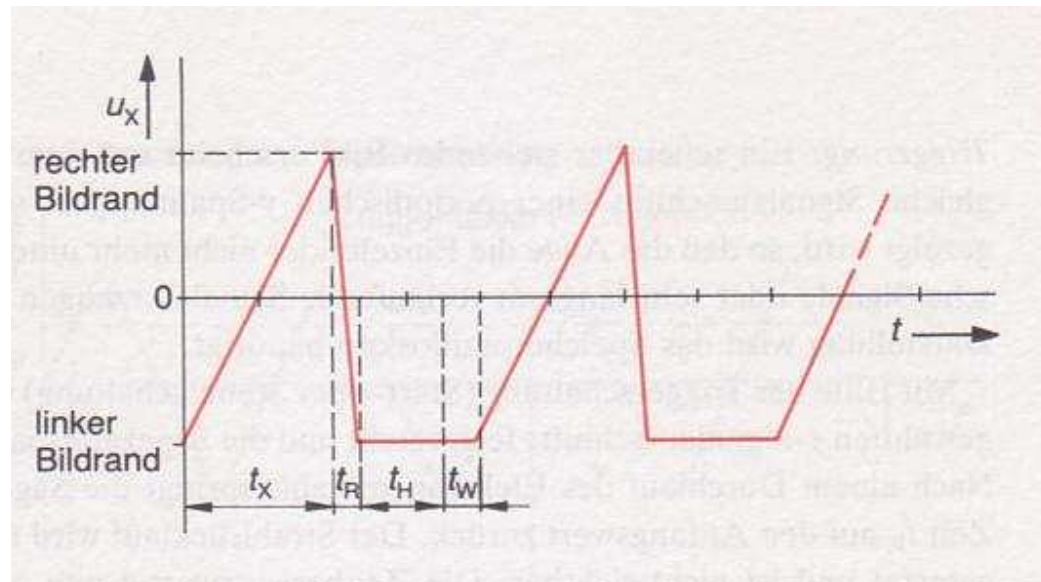
Steuerung (Triggerung) der Zeitablenkung

- nur periodische Signale; nichtperiodische oder sehr langsame Signale → Digitaloszilloskop
- Triggerschaltung steuert Beginn der Zeitablenkung

t_x : Zeit eines Strahldurchlaufs in x-Richtung von links nach rechts
 t_R : Strahlrücklaufzeit
 t_H : Haltezeit (Hold-off)
 t_W : Wartezeit

Pausenzeit:

$$t_P = t_R + t_H + t_W$$



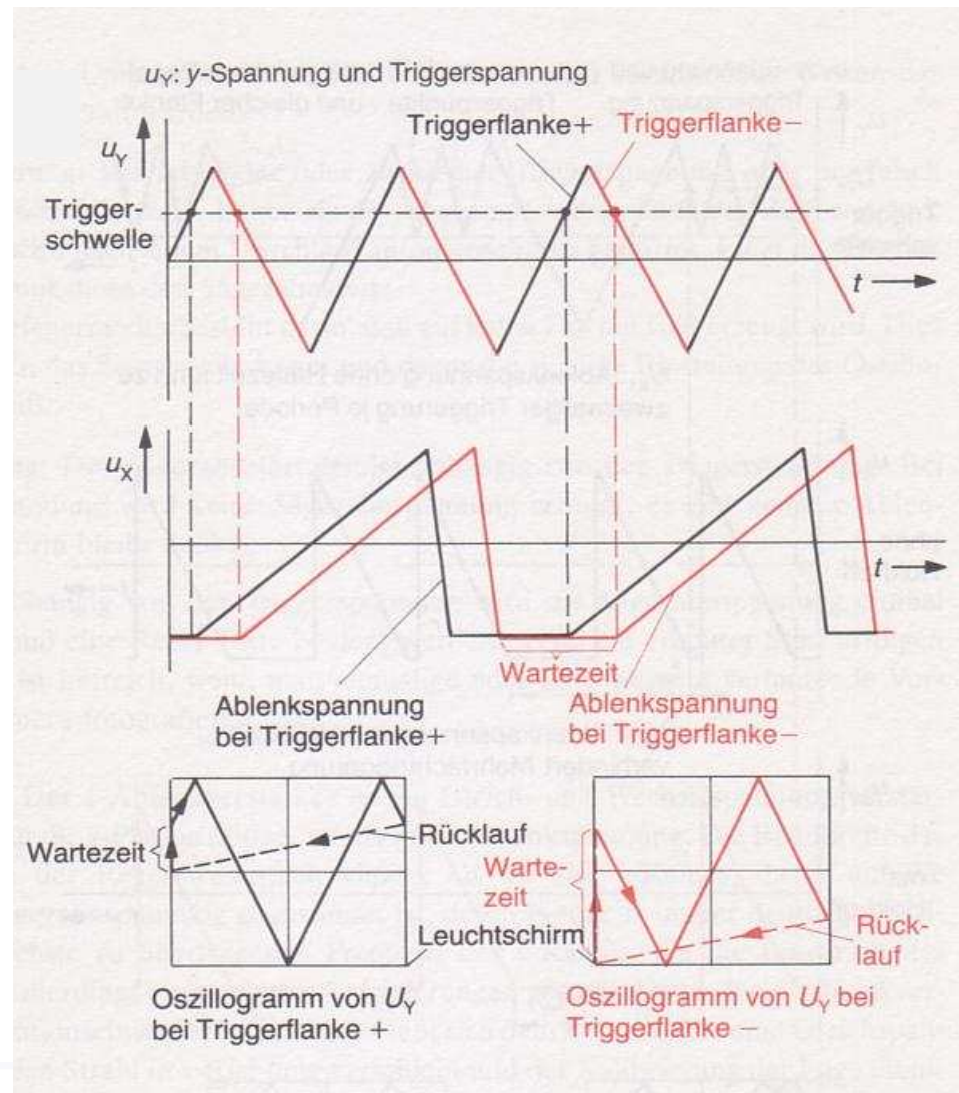
Triggerschaltung

- Auslösekriterium für Auslösung des Zeitsägezahns: Momentanwert und Phase des Eingangssignals der Triggerschaltung
- Triggerquellen
 - Intern (y-Kanal Eingangssignal)
 - Signal am Triggereingang des Oszilloskops
 - Netz: von 50Hz Netzfrequenz abgeleitet
- Triggerfilter
 - DC: direkte Kopplung (ungefiltertes Signal)
 - AC: Wechselstromkopplung (Ausfiltern tiefer Frequenzen)
 - Lf (low frequency): Tiefpaß z.B. mit $f_g=1\text{kHz}$
 - Hf (high frequency): Hochpaß z.B. mit $f_{g,u}=1\text{kHz}$

Triggerschaltung

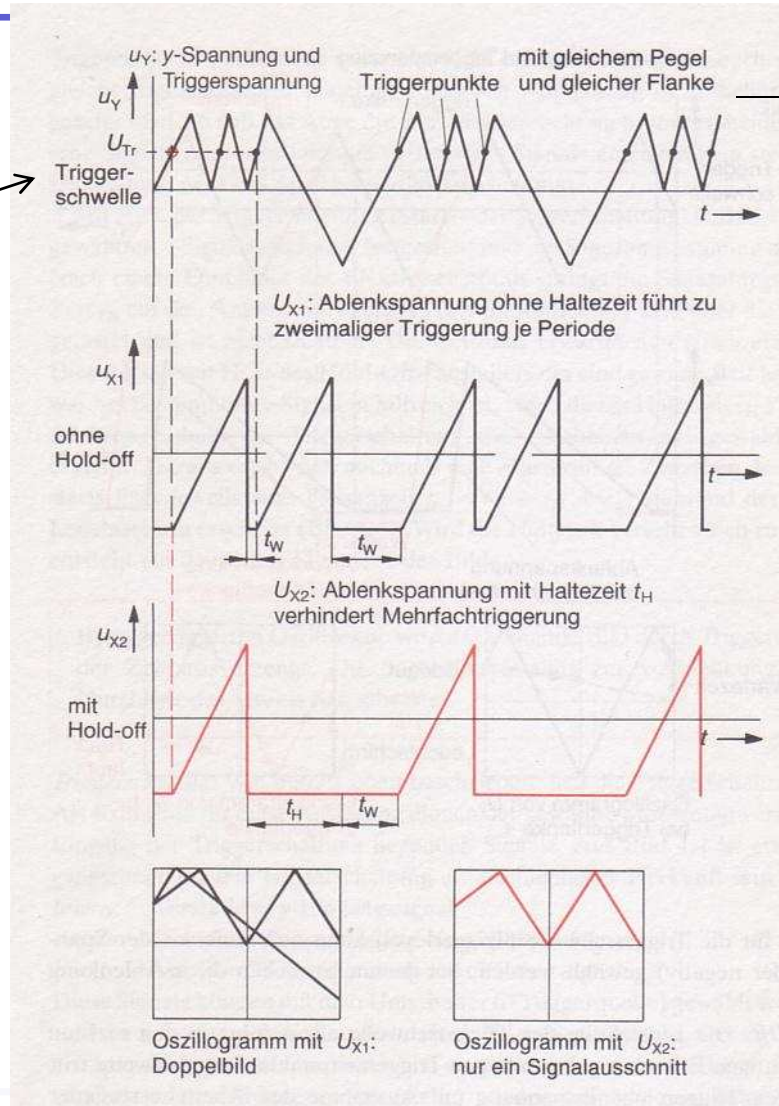
- Triggerschwelle (Triggerlevel): Stufenlose Einstellung eines Spannungswertes bei dessen Erreichen die Triggerung ausgelöst wird
- Triggerflanke: Wahl der positiven (ansteigenden) oder negativen (abfallenden Flanke) zur Triggerung
- Hold-off: Wartezeit („Sperrzeit“) bis zur Auslösung eines neuen Triggerimpulses
- Triggermodus:
 - Auto (Automatik): ohne Triggersignal läuft Sägezahn kontinuierlich, sonst Triggersignal löst Triggerung aus
 - Normal: Triggerspannung bestimmt Triggerung (ohne Triggerspannung keine Triggerung)
 - Single-Sweep: einmaliges Auslösen des Triggerimpulses; danach manueller Reset für nächste Triggerung nötig

Triggerung auf positive und negative Flanke



Anwendung Hold-off Funktion

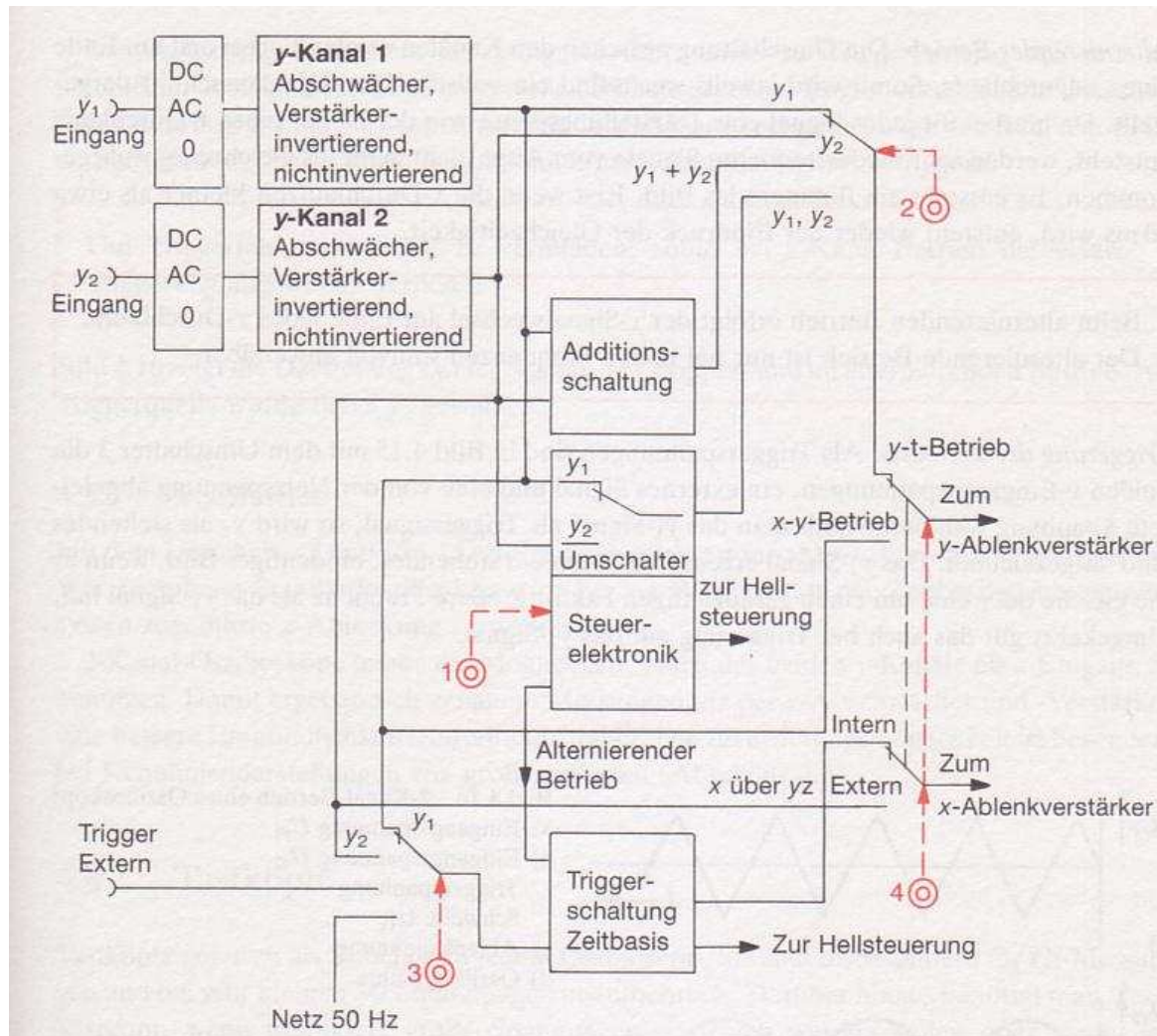
Triggerschwelle
 $U_{tr} < U_{max, signal}$



Triggerschwelle $U_{tr} > U_{max, signal}$

→ im Modus Normal keine Auslösung der Triggerrung

Mehrere Eingangskanäle (y-Kanäle)

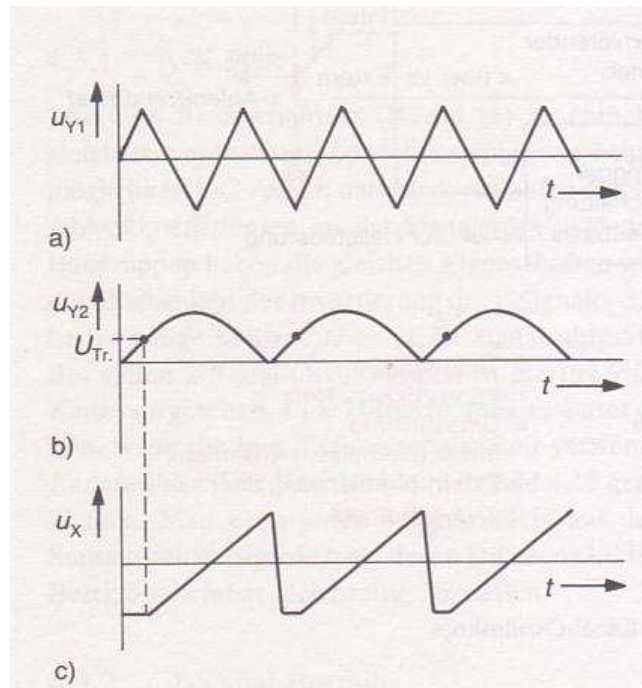


- 1 Umschalter
Alternierend (Alternated)
Chopperbetrieb (Chopped)
- 2 Kanalwähler
 y_1 : Kanal 1
 y_2 : Kanal 2
 $y_1 + y_2$: Summensignal
 y_1, y_2 : 2-Kanal-Betrieb

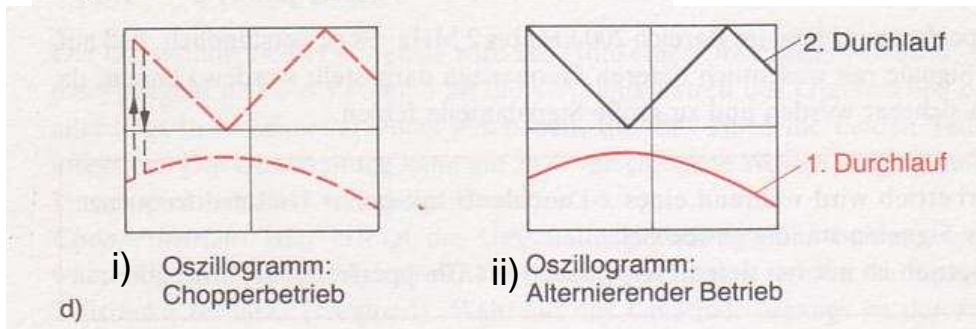
- 3 Triggerquelle
 y_1, y_2 , Extern, Netz
- 4 Umschaltung
Intern (Zeitbasis, y-t-Betrieb)
Extern (x-Ablenkung über
 y_2 , x-y-Betrieb)

Anzeigearten bei Mehrkanalbetrieb

2 Kanal-Betrieb



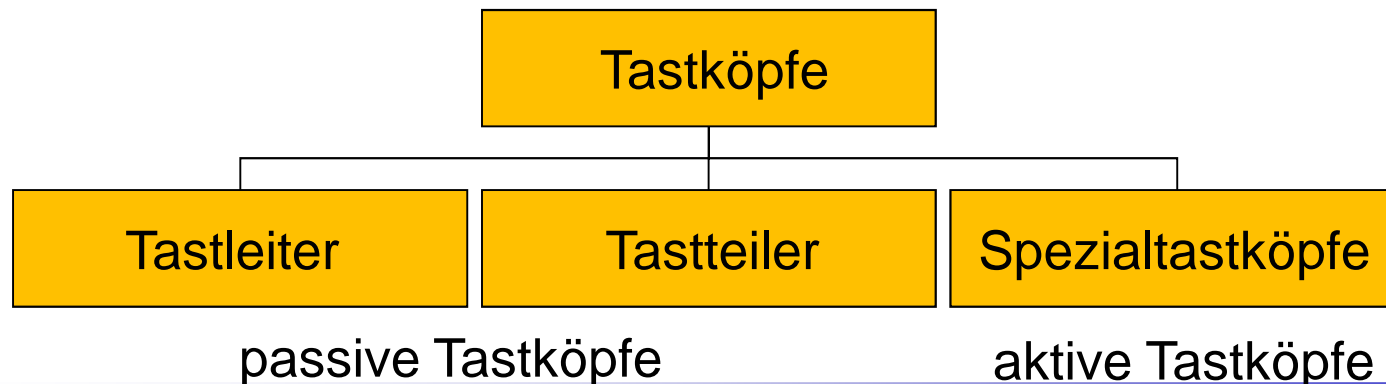
- a) Eingangssignal $y_1(t)$
- b) Eingangssignal $y_2(t)$
- c) Zeitablenkung
Triggerung auf y_2
- d) Schirmbilder für
 - i) Chopperbetrieb
 - ii) Alternierender Betrieb



außerdem möglich:
x-y-Betrieb

Tastköpfe -“probes“-

- Zubehör zu jedem Scope, insbesondere für
 - HF-Messungen
 - sehr kleine Spannungen
 - sehr kleine Geometrien
 - große Spannungen, Ströme
 - Anwendung bei zu erwartenden Rückkopplungen auf das DUT*
 - potentialfreie Messungen nötig
 - Spezialtastköpfe: z.B. zur Signalumwandlung (optical probes)



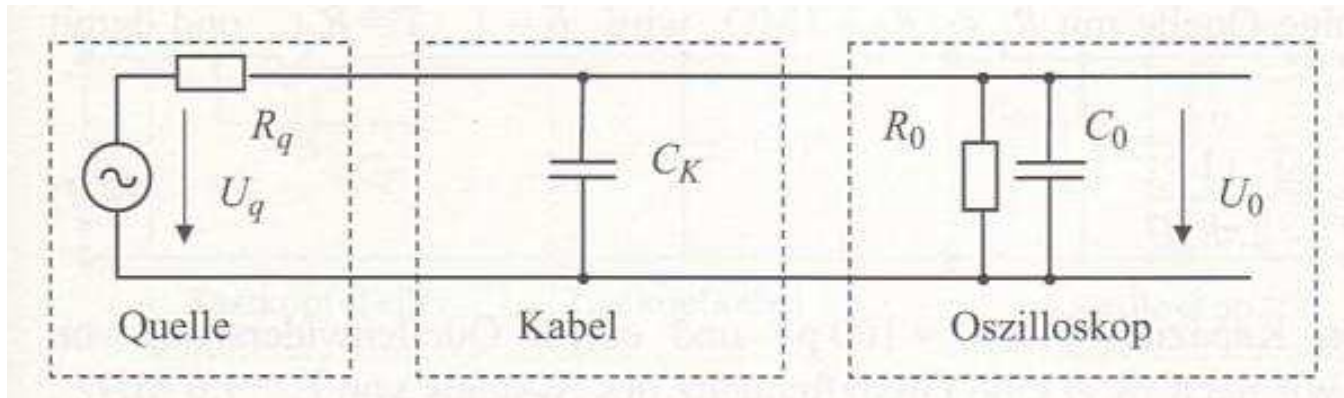
*device under test

Tastleiter

- einfachster Fall einer probe:
 - Messspitze, Greifklemme, „dritte Hand“ (immer incl. Masseanschluss)
 - abgeschirmte Koaxial-Leitung zum Oszilloskop
 - Anschlussbox (incl. BNC-Stecker) für Oszilloskop
- Verhinderung von kapazitiver bzw. induktiver Verkopplung zwischen mehreren Messkanälen
- Abschirmung (Fremdspannungseinstreuung)

Tastleiter

■ Ersatzschaltbild



typische Werte:

Eingangsimpedanz des Oszilloskops: $R_0=1\text{M}\Omega$; $C_0=10\dots30\text{pF}$

Kabelimpedanz: $C_K=80\dots150\text{pF}$ (für niedrige Frequenzen: Kabel $\rightarrow C_K$)

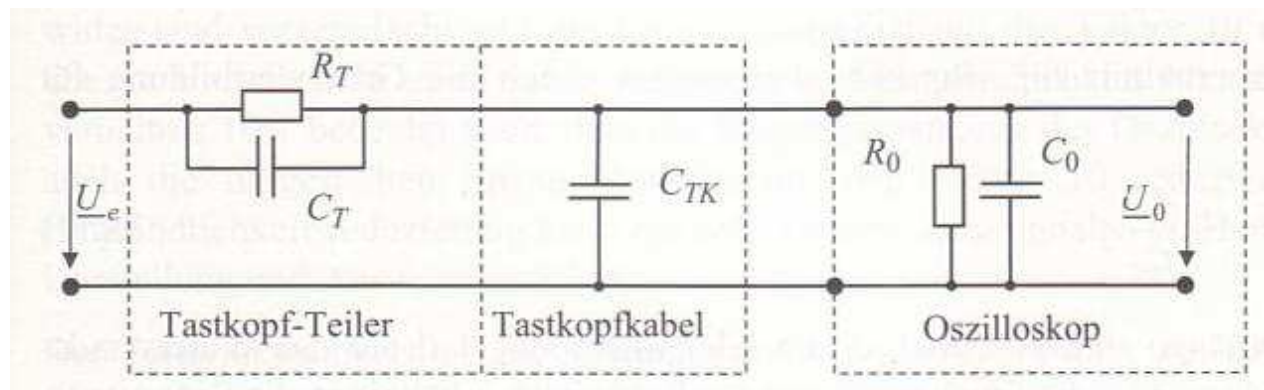
Quelle (DUT) wird durch $\underline{Z} = R_0 \parallel (C_K + C_0) = \frac{R_0}{1 + j\omega R_0 C}$ belastet.

Tastleiter – System 1. Ordnung: Grenzfrequenz

- zusammengesetztes System Tastleiter/
Quelle/Oszi ist System 1. Ordnung (Tiefpass)
- typische Werte
 - $C=C_K+C_0=100\text{pF}$, $R_0=1\text{M}\Omega$
 - Quelleninnenwiderstand $R_q=1\text{k}\Omega$
 - \rightarrow Grenzfrequenz des Systems $f_g = \frac{1}{2\pi T} = 1,6\text{MHz}$
- \rightarrow für die meisten Anwendungen nicht
ausreichend
- \rightarrow Absenkung $\underline{U}_0 = \underline{U}_{\text{Mess}} = \underline{Z}\underline{U}_q$ frequenzabhängig
 $\omega=2\pi f$

Tastteiler

- Passiver Spannungstastkopf, passive voltage probe
- frequenzkompensiert (Teilerverhältnis ist unabhängig von ω ,
- Ersatzschaltbild



Teilerverhältnis:

$$\underline{V} = \frac{\underline{U}_e}{\underline{U}_0}$$

Tastteiler

Teilerverhältnis V

- $$\underline{V} = \frac{\underline{U}_e}{\underline{U}_0} = 1 + \frac{R_T(1 + j\omega R_0 C)}{R_0(1 + j\omega R_T C_T)} \quad \text{mit } C = C_{TK} + C_0$$

- a) $\omega=0 \rightarrow \underline{V} = \frac{\underline{U}_e}{\underline{U}_0} = 1 + \frac{R_T}{R_0} = V_{TR}$

- b) $\omega \rightarrow \infty \rightarrow \underline{V} = \frac{\underline{U}_e}{\underline{U}_0} = 1 + \frac{C}{C_T} = V_{TC}$

- frequenzkompensiert, wenn $R_0 C = R_T C_T$

$$\underline{V} = 1 + \frac{R_T}{R_0} = 1 + \frac{C}{C_T}$$

Resultat:

- a) Eingangswiderstand R_e wird erhöht
- b) Eingangskapazität C_e wird reduziert

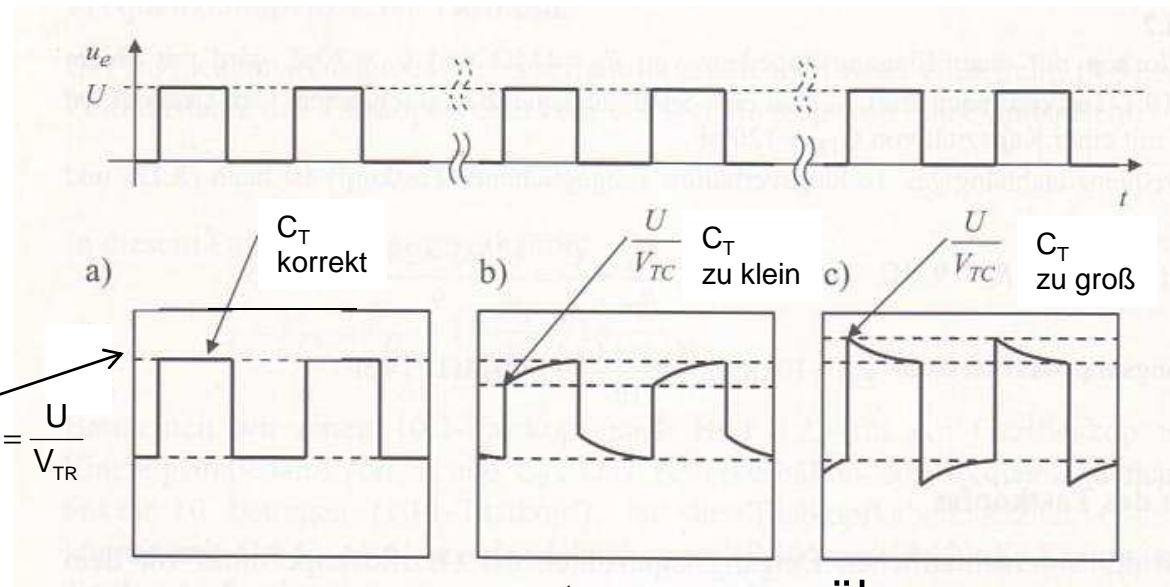
Tastteiler Abgleich

- Einstellung von C_T zu Beginn der Messreihen
- Vergleich mit interner Rechteck-Quelle

Signal der internen Rechteckquelle

Oszilloskop-Bild mit Tastkopf

$$\frac{U}{1 + \frac{R_T}{R_0}} = \frac{U}{V_{TR}}$$



kompensiert

unter-kompensiert

über-kompensiert

Amplitude hoher Frequenzen:

zu stark gedämpft

zu wenig gedämpft

Spezialtastköpfe

- Tastrichter
 - Gleichrichtung, Demodulation von amplitudenmodulierten Signalen
- aktiver (Verstärker-) Tastkopf (active probe)
 - Tastkopf mit eingebauten Verstärker
 - Vergrößerung von \underline{Z}_e ohne Reduktion der Empfindlichkeit, Bandbreiten bis in GHz Bereich
 - Energiequelle nötig
- Differenztastköpfe (differential probes)
 - keine Masseverbindung
 - potentialfreie Erfassung von Messsignalen

Spezialastköpfe

- passive Strom-Tastköpfe (current probes)
 - Messwandler für Wechselstrom / Stromzange

- aktive Strom-Tastköpfe
 - Hallelement-Kompensationsschaltungen für Gleich- und Wechselstrommessung

- beide Messprinzipien: siehe auch Messung von Strom und Spannung; Kapitel 8

Messungen mit dem Oszilloskop

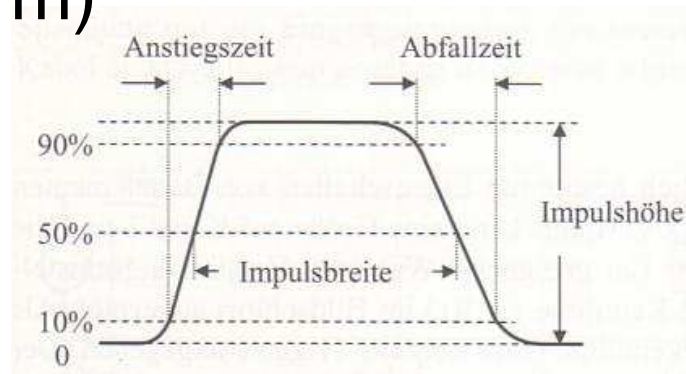
Spannungsmessung

- Gleich-, Wechsel-, Mischspannungen
- Momentanwert, Amplitude, Spitze-Spitze, Mittelwert
- DC-Kopplung: Vollständige Eingangsspannung
- AC-Kopplung: nur Wechselanteil
- GND: Festlegung der Null-Linie
- Genauigkeit 1....5% gegeben durch Ablesung
- Achtung aufpassen: keine potentialfreie Messung möglich, da Messkabel-GND an Masse liegt → Differenzmesskopf

Messungen mit dem Oszilloskop

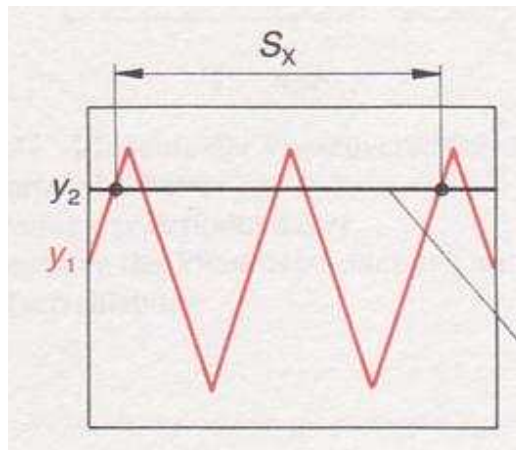
Zeit- und Frequenzmessung

- Zeitmessung (incl. Charakterisierung der Impulsform)



$t = K_t \times \text{Anzahl devisions}$
Marker:
kalibrierte Differenzmarker

- Frequenzmessung



Beispiel:
2 Perioden

$$f = \frac{1}{T} = \frac{2}{S_x K_t}$$

Bezugs-
linie

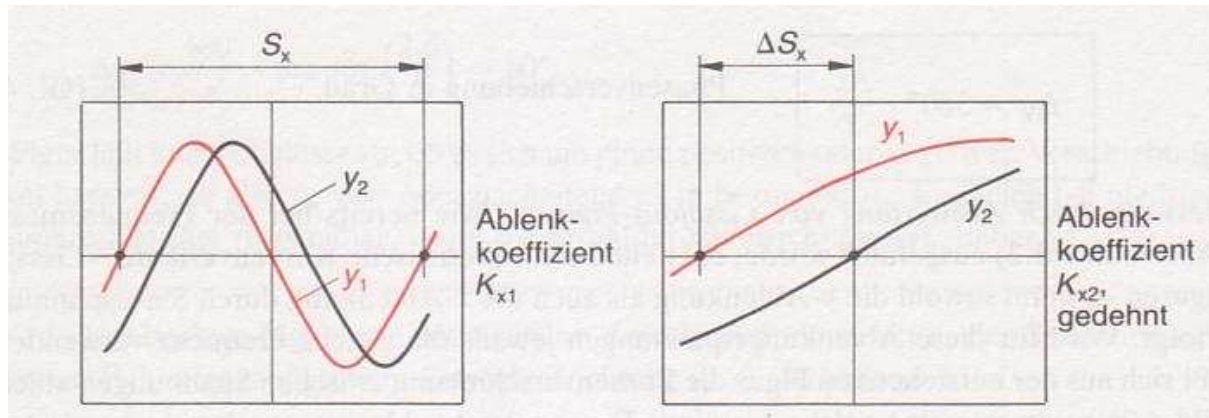
Marker:
kalibrierte Differenzmarker:
- Periodendauer
- Frequenz

Messungen mit dem Oszilloskop

Phasendifferenzmessung

Schritt 1: Messung von T

Schritt 2: Messung von Δt



Auswertung:

$$T = S_x K_{x,1}$$

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = \frac{\Delta S_x}{K_{x,2}}$$

mit S_x Anzahl der divisions
 $K_{x,1}$ Ablenkoeffizient

Genauigkeit: 1...5%

im x/y-Modus:
 Lissajous-Figuren

Messungen mit dem Oszilloskop

Darstellung von Kennlinien

- Kennlinien von Bauelementen, Schaltungen
- $u_a = u_a(u_e)$
- periodisches Eingangssignal (z.B. Dreieck)
- Darstellung der Signale u_e , u_a im x-t-Modus
- Umschaltung in x/y-Modus $x = u_e$; $y = u_a$
- direkte Darstellung der Kennlinie $u_a = u_a(u_e)$
- bei sinusförmiger $u_e \rightarrow$ x-Achse nichtlinear
- Darstellung von Strömen $i_a = i_a(i_e)$ mit Hilfe der Spannungen über Stromföhlwiderständen

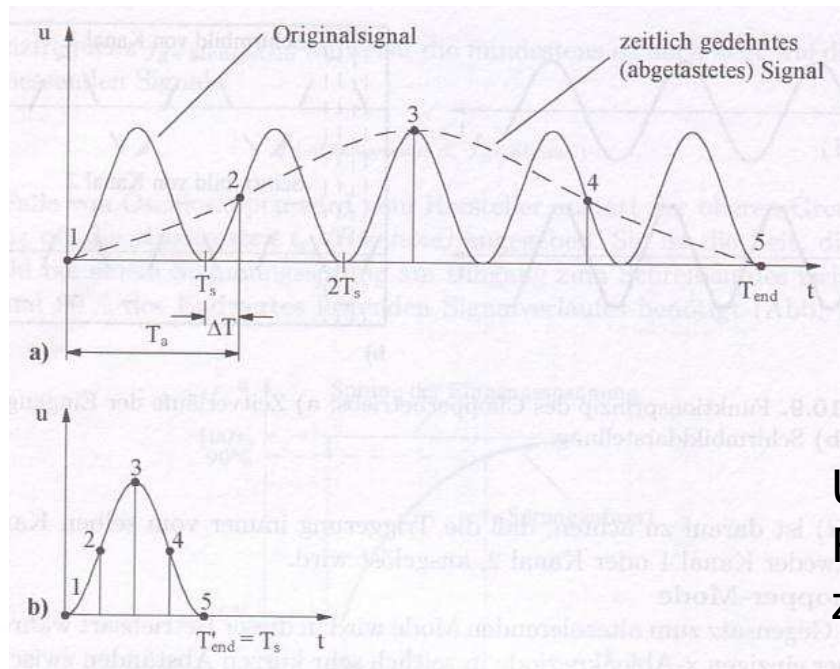
Spezialoszilloskope

- Analoges Speicheroszilloskop
 - für nichtperiodische Signale
 - früher häufig, heute kaum noch in Anwendung
 - speicherfähiger Leuchtschirm
 - single sweep → Bild stand nach Trigger
- Digitales Speicheroszilloskop
 - heute weit verbreitet
 - digitalisierung der Signale nach schneller Abtastung
 - vielfältige Anwendungen durch Speichermöglichkeit der Signale → Digitaloszilloskop

Spezialoszilloskope

Sampling-Oszilloskop

- Standardoszilloskope → limitiert auf Signalfrequenzen von wenigen 100 MHz
- Sampling-Technik in Äquivalenzzeit (gedehnte Zeitbasis)
- Unterabtastung des Signals (eine Abtastung pro Periode) → Zusammensetzung der Signalform



Abtastperiode $T_a = T_s + \Delta T$

Verschiebung der Abtastpunkte $\Delta T = \frac{1}{f_a} - \frac{1}{f_s}$

Anzahl Abtastungen $N = \frac{T_s}{\Delta T} = \frac{f_a}{f_s - f_a}$

Umrechnung Real-/Äquivalenzzeit

$$dv_t = \frac{T_{\text{end}}}{T'_{\text{end}}} = \frac{f_s}{f_s - f_a}$$

Lernziele Kapitel 6

- Architektur – Grundaufbau eines analogen Oszilloskops (Blockschaltbild)
- Elektronenstrahlröhre, Strahlableitung
- Funktionsgruppen, Wirkungsweise, Kennwerte
- Tastköpfe / Teiler
- Messen mit dem Oszilloskop: Anwendungen
- Spezialoszilloskope