

Einführungslabor ETD WS

Basiswissen Oszilloskop Technik

Messung von zeitabhängigen Größen

Erweiterte Funktionen eines Oszilloskops

Das Oszilloskop als Mixed-Signal Messgerät

Messung passiver Bauelemente im Zeit- und Frequenzbereich

Basiswissen Oszilloskop Technik



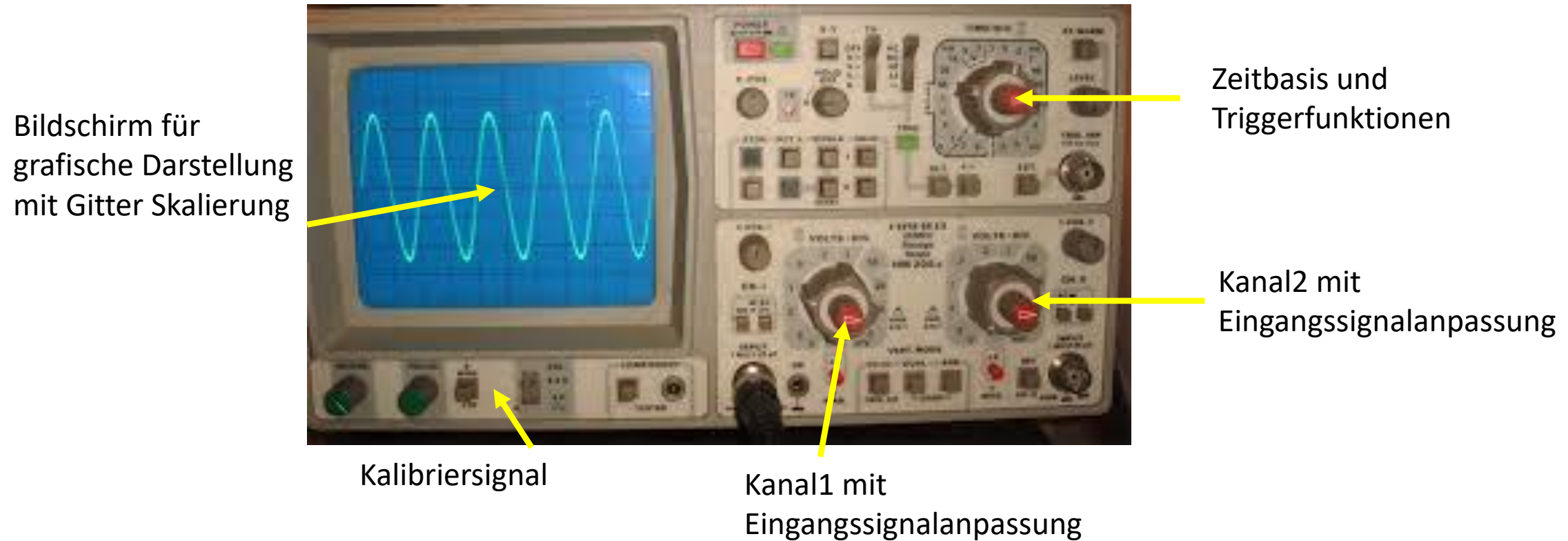
Inhalte & Wissen

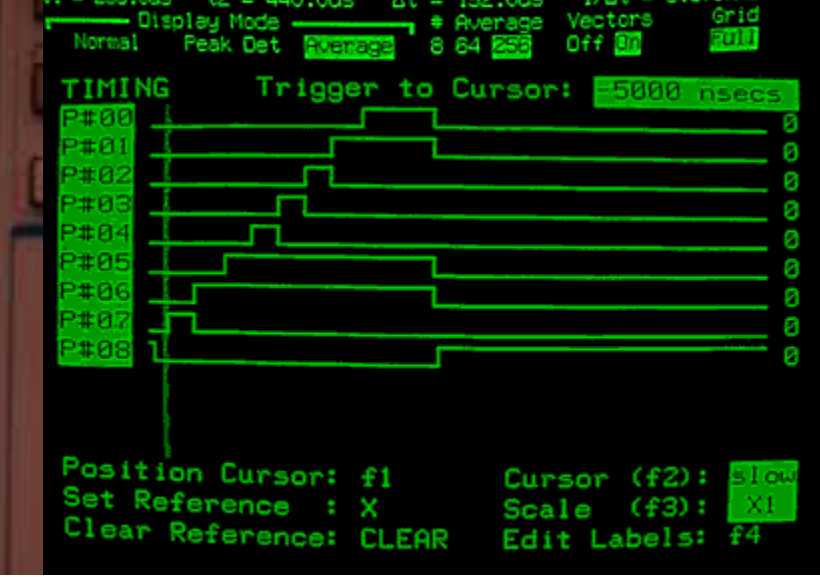
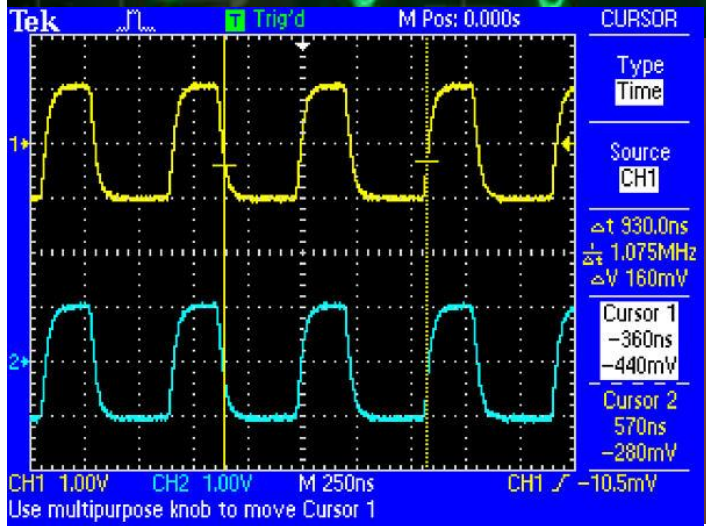
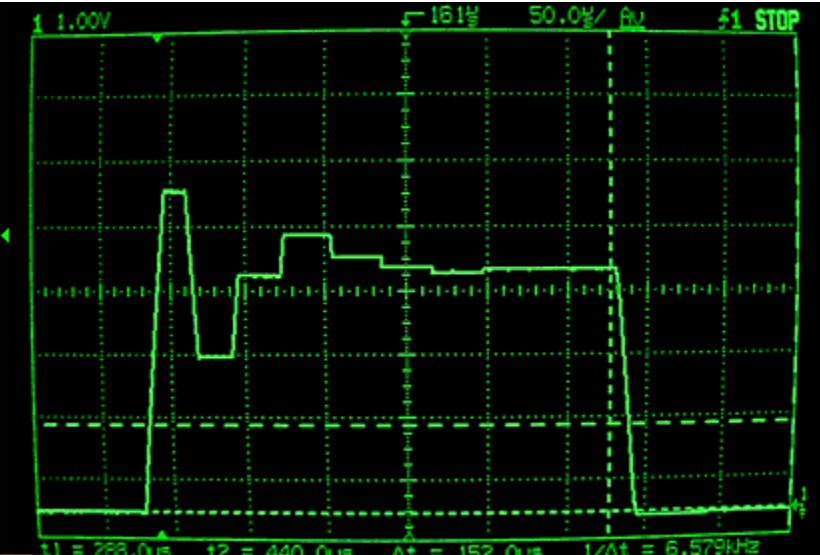
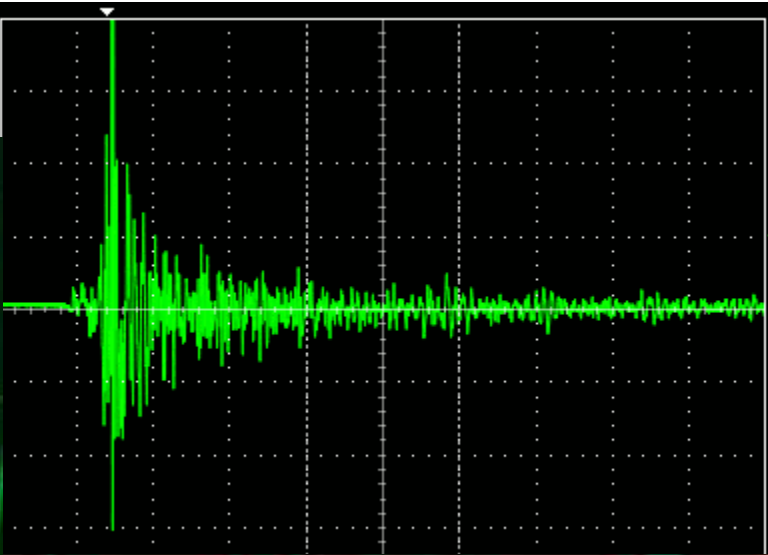
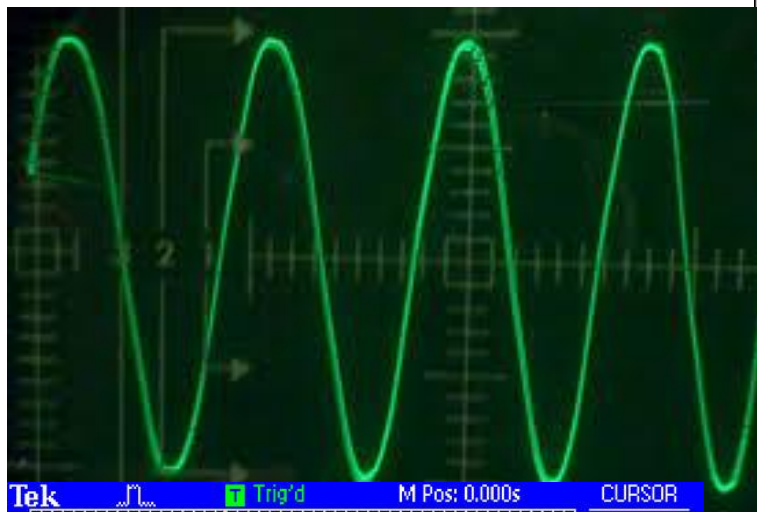
- Einführung – was ist ein Oszilloskop
- Geschichte des Oszilloskops
- Analoge Oszilloskope
- Digitale Oszilloskope
- Signalgenerator
- Messungen & Eigenschaften
- Ausblick über die nächsten Laborübungen

Einführung – was ist ein Oszilloskop

- Kommt von lat. Oscillare = schaukeln und gr. Skopein = betrachten
- Ein Messgerät um die Zeitabhängigkeit von Signalen zu dokumentieren
- Misst eine oder mehrere elektrische Spannungen
- Stellt den Signalverlauf auf einem „Bildschirm“ dar
- Verwendet ein x/y Koordinatensystem
- Horizontale Achse meist die Zeit
- Vertikale Achse meist die Spannung
- Andere Größen müssen über einen Messumformer in eine Spannung umgewandelt werden (Strom, Temp., Druck, ...)
- Trigger erlaubt „stehendes“ Bild da synchron „abgeastet“ wird
- Heutzutage meist digitale Oszi: ADC wandelt Spannungswert in einen digitalen wert um z.B. 12 Bit = $2^{12} = 4096$ Werte
- Hohe Abtastraten durch moderne ADC Technologien möglich / notwendig

Einführung – was ist ein Oszilloskop



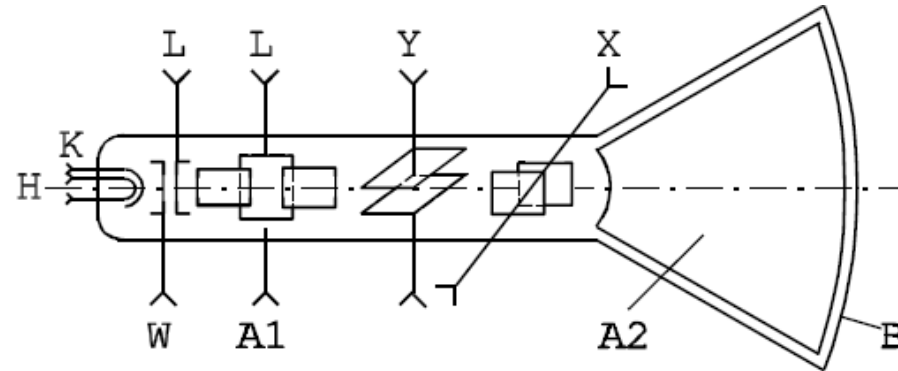


Geschichte des Oszilloskops

- Signalschreiber wie das Galvanometer zu Beginn des 20. Jahrhunderts
 - Mechanischer Arm schreibt auf ein Medium, beschränkte Bandbreite
- In den 1930er Kathodenstrahlröhre für Messungen verwendet, im IIWW in der Radartechnik
- 1946 Tektronix mit Modell 511 und kal. Zeitbasis
- In Folge Triggerung verbessert und lang nachleuchtende Kathodenstrahlröhren für einmalige Impulse
- In den 1980er Aufkommen der ersten Digital Speicher Oszis (DSO) mit Analog Digital Abtastung (ADC)
- LeCroy / CERN (Forschungsgebiet: schnelle ADC Einheiten) baut eines der ersten DSOs
- In Folge DSOs verdrängen Analoge Kos
- Heute:
 - ADC mit sehr hohen Bandbreiten und Auflösung verfügbar
 - Kosten (pro Bandbreite & Auflösung) deutlich gesunken
 - Viele, viele Zusatzfunktionen – siehe LeCroy

Analoge Oszilloskope

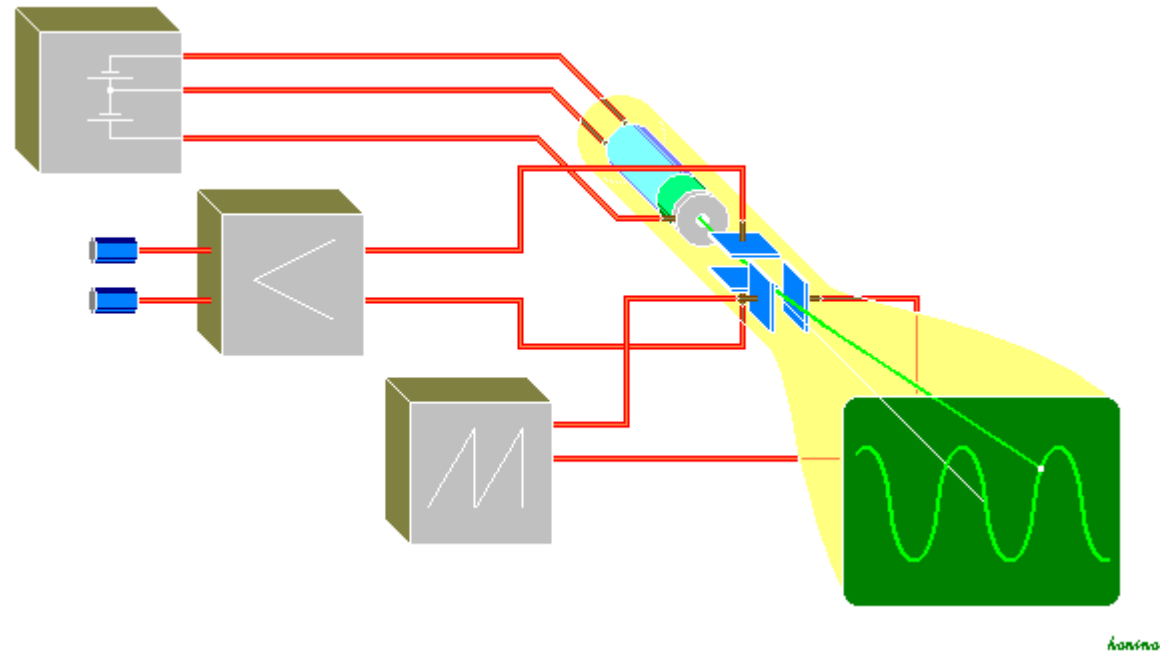
Funktionsweise:



H - Heizfaden	X - waagerechte Ablenkung	L - elektrische Linse
A1 - Anode	Y - senkrechte Ablenkung	B - Leuchtschirm
K - Katode	A2 - Nachbeschleunigungsanode	W - WEHNELT-Zylinder

Analoge Oszilloskope

Funktionsweise:



Analoge Oszilloskope

- Elektronenstrahlröhre dient als Anzeigeeinheit
- Frei bewegliche Elektronen werden erzeugt und in Richtung Bildschirm beschleunigt und gebündelt -> wäre eine punktförmige Darstellung
- Die Elektronen durchlaufen anschließend ein System von 2 Ablenkplatten (x/y)
- Elektronen werden über die Spannung an den Ablenkplatten gesteuert
- Gemessene Spannung prop. Y Auslenkung, Y Skalierung: Volt / Division
- Zeitproportionalität über X Achse und einem Sägezahn-generator
- Erfolgt über einen Oszi interne Zeitbasis, X Skalierung: Sek. / Division
- Triggerung: Steuerung des Sägezahngens. sodass immer an derselben Stelle des per. Signals der Sägezahn startet.

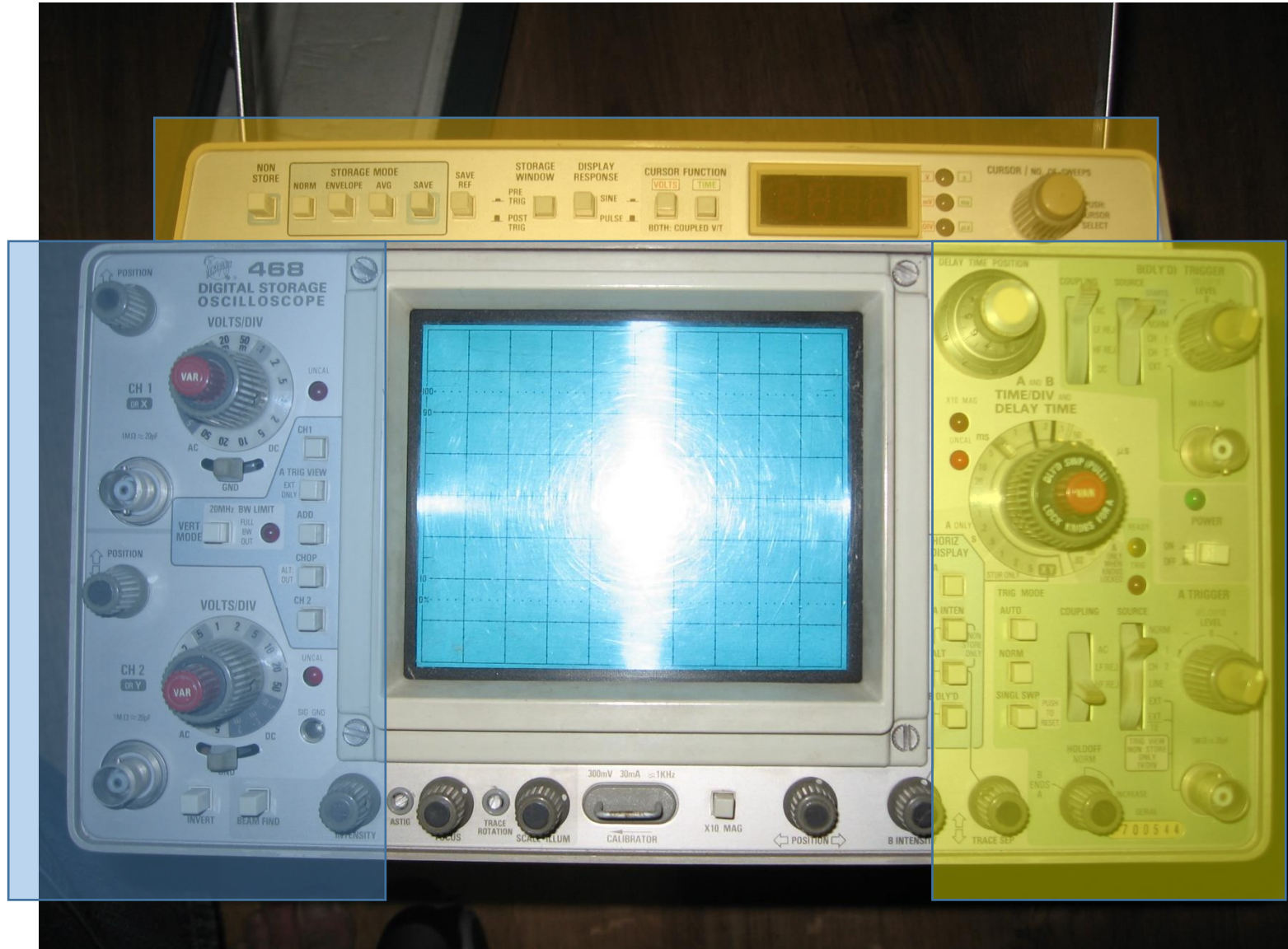
Analoge Oszilloskope

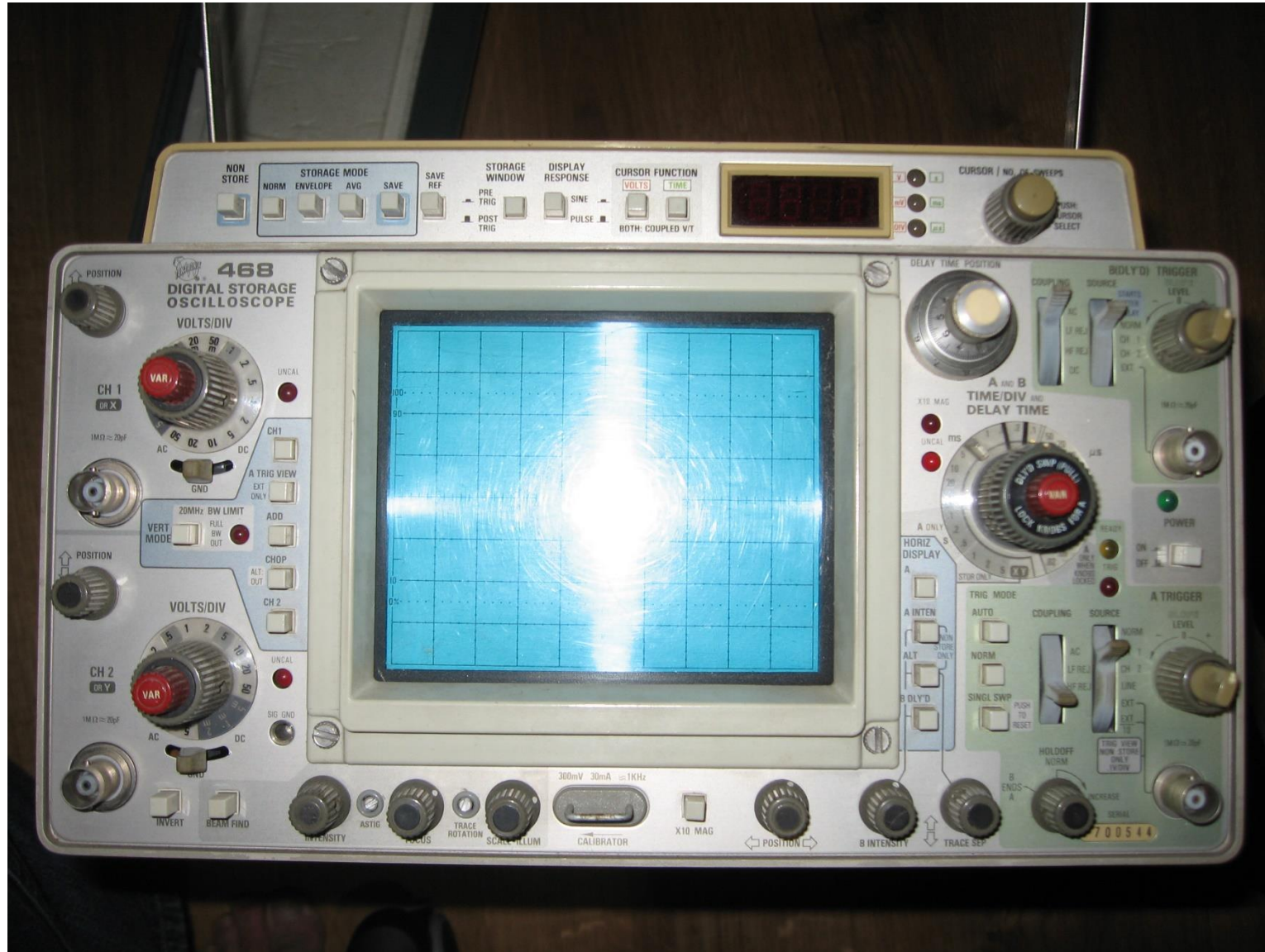
- Mess-/ Spannungseingänge
 - Meistens zwei oder vier Kanäle
 - Anschluss der Tastköpfe über BNC Buchsen
 - Über Drehschalter (Abschwächer) wird der „Signalausschlag“ bzw. die Ablenkempfindlichkeit (V/cm) angepasst: z.B. 1V/div, 5V/Div., ...
 - Tastköpfe 1:1, 1:10 mit / ohne auto detect an der BNC Buchse (Anzeige)
 - AC, DC, GND (Nulllinie)
- Zeitbasis / Triggerung
 - Eine Zeitbasis, ev. Delayed Display Time
 - Über Drehschalter wird die zeitliche Darstellung gesteuert: z.B. 2ms/Div., 50µs/Div.
 - Triggerung: Kanal / Source einstellbar: CH12, Ext. , Coupling, ALT, CHOP, Trigger Level

Digital

y Ablenkung

Zeitbasis





Analogoszilloskope

- Nachteile
 - Nicht periodische Signale
 - Einmalige Impulse
 - Erweiterte Funktionen (z.B. mathematische)
 - Komplexe Triggersituationen
 - Pre / Posttrigger
 - Mischung Analoge und Digitale Signale
 - Groß und Schwer (Mobiler Einsatz)

Digitale Oszilloskope (DSO)

- Signale werden digitalisiert und auf einem Bildschirm dargestellt – in Analogie zum analogen Oszilloskop
- Die Digitalisierung der Messwerte erfolgt durch Analog zu Digital Konverter meist ADC – analog to digital converter – genannt
- In weiterer Folge können die so digitalen Messwerte auf einfache Art manipuliert werden z.B.
 - Mathematische Funktionen
 - Umrechnung in den Frequenzbereich

Digitale Oszilloskope (DSO)

- Voraussetzung: Leistungsfähige ADCs mit ausreichender Abtast-Auflösung und Geschwindigkeit:
 - Abtastrate: Samples / Sek – z.B. 2,5 Gs/sec, 10Gs/sec bis zu 40Gs/sec
 - Auflösung: 12 Bit
 - Meistens parallelisierte Flash ADC Stufen + Mux
 - Bis zu 12 Bit native
 - Achtung: Unterschied Abtastrate und Analoge Bandbreite (immer kleiner, Faktor z.B. 10)

Digitale Oszilloskope (DSO)

Abtast Theorie:

Abtasttheorem von Nyquist-Shannon:

Für Funktionen die keine Signalanteile $\geq f_{max}$ enthalten:

Signal lässt sich mit Abtastwerten im Abstand

$$\tau = \frac{1}{2f_{max}}$$

vollständig rekonstruieren

Daraus folgt: $f_{abtast} \geq 2f_{max}$ für ideal Tiefpass begrenzte Signale

DSO Abtasttheorem

In der Praxis (idealer Tiefpass existiert nicht!):

$$f_{abtast} \approx 2,2 f_{max}$$

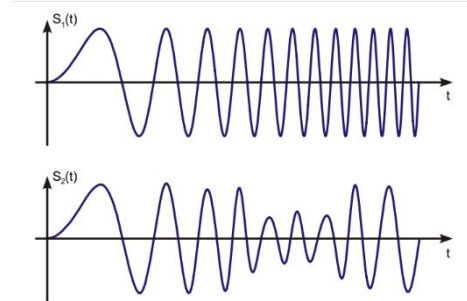
Beispiele:

Audio CD: bis 20kHz Abtastrate = 44kHz

Telefon: bis 3,4kHz Abtastrate = 8kHz

DSO Funktionen

- Alle Funktionen eines Analog Oszilloskops werden auch angeboten
- Undersampling für periodische Signale mit sehr hoher Frequenz
 - verschieben des Abtastzeitpunktes in gleich Zeitabständen
- Glitch Capture
 - Schnelle Impulse könnten durch die Abtastung „verschwinden“
- Anti Aliasing
 - Für Signale die höher sind als f_{\max} erfolgt Unterabtastung

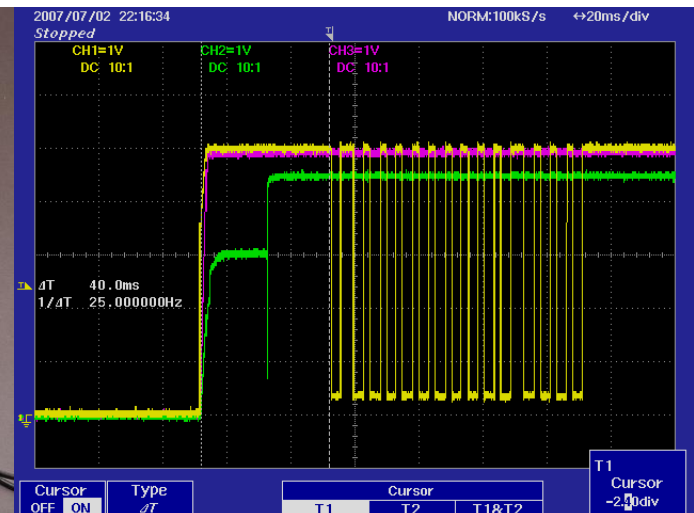
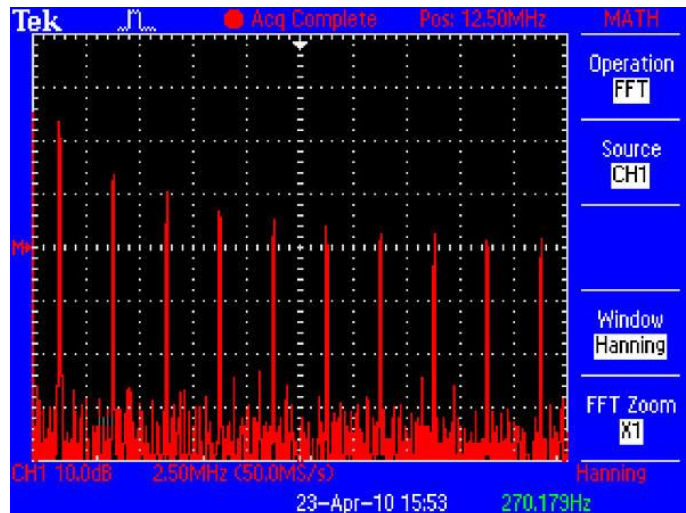


DSO Funktionen

- Zusätzlich viele Funktionen für
 - Nicht periodische Signale / einmalige Impulse
 - Zusätzliche Triggerfunktionen
 - Mittelwertbildung und Störunterdrückung
 - Viele Analyse Funktionen für die Vermessung von Signalformen
 - Cursor Messfunktionen
 - Mathematische Funktionen wie FFT
- Oft auch in Kombination mit Funktionen eines Logik Analysators (2 in 1)
 - Darstellung digitaler Signale in Logischer Form
 - Als serieller (z.B. SPI, I2C, CAN) oder paralleler Bus (D0..3, D0..15 als zusätzliche Probe)
 - Als Datagramme

DSO Funktionen

- Speichern der Einstellungen und Automatisieren von Messvorgängen
 - ACHTUNG: oft viele Funktionen und Einstellungen die auch nach dem ausschalten erhalten bleiben!
- Verbindung mit PC und Co
 - Moderne Schnittstellen und Datenübertragung (USB, Ethernet, GPIB, ...)



Beispiel Specs.: LeCroy 6104-MS

- HDO6104-MS
- 1 GHz, 2.5 GS/s, 4+16 Ch, 50 Mpts/Ch 12-bit HD Mixed Signal Oscilloscope with 12.1" WXGA Touch Display
- Key Features
- 12-bit ADC resolution, up to 15 bits with enhanced resolution
- 350 MHz, 500 MHz and 1 GHz bandwidths
- Long Memory – up to 250 Mpts/Ch
- 12.1" touch screen display
- Spectrum Analyzer Mode
- WaveScan – Advanced Search and Find
- History Mode – Waveform Playback
- Power Analysis Software
- JITKIT Clock-Data Jitter Analysis
- Serial Data Trigger and Decode
- PROTObus MAG Serial Data Debug Toolkit
- LabNotebook Report Generation
- Advanced Trigger Tools including TriggerScan and Software Assisted Trigger
- 16 Digital Channels with 1.25 GS/s Sample Rate
- Mixed Signal Debug Capabilities
- Analog and Digital Cross Pattern Triggering
- Digital Pattern Search and Find
- Analog and Digital Timing Measurements
- Logic Gate Emulation

Messmittel

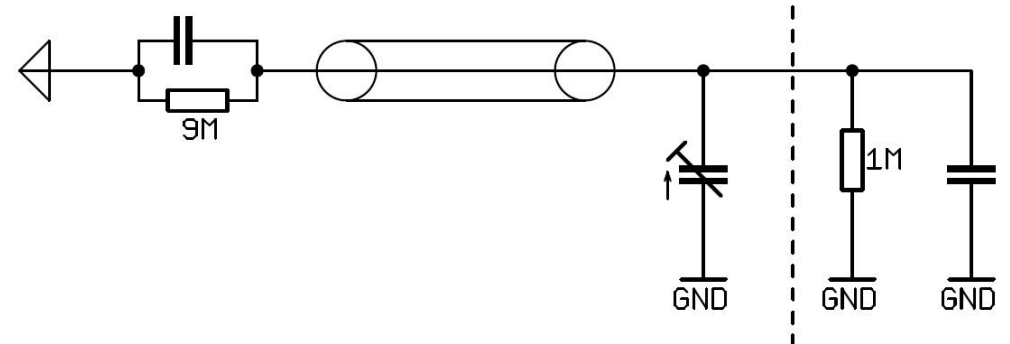
- Das zu messende Signal sollte nicht verändert werden, daher
 - Möglichst hohe Eingangsimpedanz der Messmittel
 - Hoher Eingangswiderstand (typ. $10\text{M}\Omega$)
 - Kleine Eingangskapazität (typ. 10pF)
 - Keine Leitungsreflexionen
- Messwandler erlauben die Messung von weiteren Elektrischen bzw. physikalischen Größen
 - Umwandlung in ein aliquote elektrische Spannung
 - Stromzangen, Temperatur und Druck Sensoren,

Passiver Tastkopf

- Einfacher Aufbau
- Keine Aktiven Komponenten
- Eingangsimpedanz typ. $10\text{ M}\Omega$
- Eingangskapazität typ. $10\text{-}20\text{ pF}$
- Teilung 10:1
- Nicht für höhere Frequenzen
- Messung gegen Masse



Vereinfachtes ESB eines passiven Tastkopfes

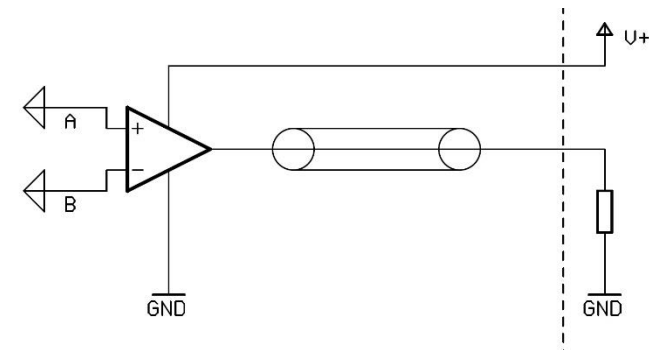


Aktiver Tastkopf

- Komplexer Aufbau
- Aktiven Komp. mit Versorgung
- Eingangsimpedanz sehr hoch
- Eingangskapazität sehr gering
- Signalamplitude beschränkt
- Messung gegen Masse
- Für schnelle Signale geeignet



Vereinfachtes SB eines aktiven Tastkopfes

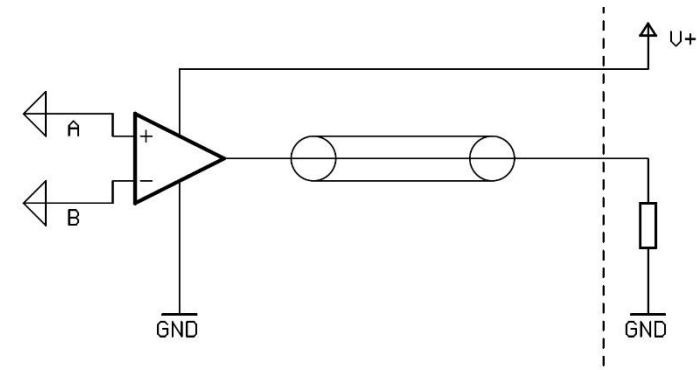


Differentieller Tastkopf

- Messung symmetrischer Signale
- Ähnliche Eigenschaften wie ein aktiver TK
- Hohe Gleichtaktunterdrückung
- Messung unabhängig Oszi Masse



Vereinfachtes SB eines passiven Tastkopfes



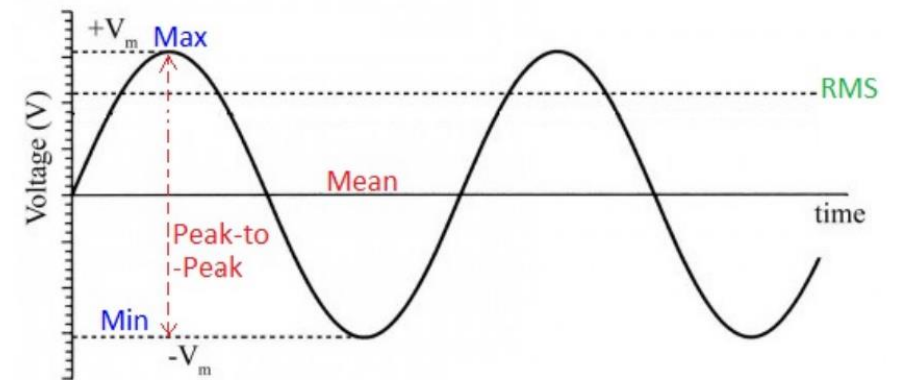
Weitere Tastkopffarten

- Strommesszange
- Hochspannungstastköpfe
- Hochfrequenzastköpfe



Messwerte und deren Definitionen

- Spannung:
 - Formelzeichen: U
 - Einheit Volt [V], mV, kV,
 - Amplitude, Scheitelwert
 - $U=R \cdot I$
- Frequenz: $f = \frac{1}{T}$
 - Formelzeichen: f
 - Einheit Hertz [Hz], kHz, MHz, GHz
 - T = Periodendauer
 - Für Wellen gilt: $f = \frac{c}{\lambda}$
 - mit λ = Wellenlänge



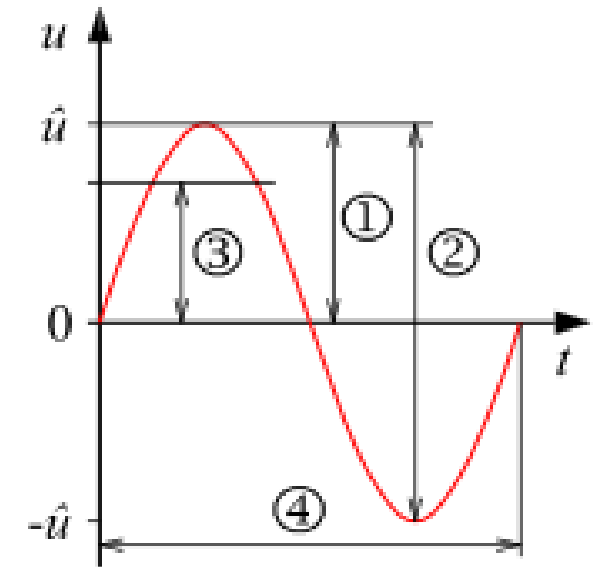
Messwerte und deren Definitionen

- Amplitude / Scheitelwert eines sinusförmigen Signals: **ad 1**
- Peak to Peak, Spitze –Tal Wert : **ad 2**
- Periodendauer: **ad 4**
- Effektivwert einer Spannung allgemein:
 - Äquivalente Wärmentwicklung einer Gleichspannung

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{u} \sin(2\pi ft))^2 dt} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

- Effektivwert sinusförmiges Signal (RMS): **ad 3**
 - Vereinfacht:

$$\hat{u} = U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}$$



Messwerte und deren Definitionen

- Kreisfrequenz

- Formelzeichen: ω
- Einheit: 1/s

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- Grenzfrequenz

- Bezeichnung: f_g , f_c (c .. cut off frequency)
- Jene Frequenz bei der das Signal (Verstärkung 1) auf abgesunken ist

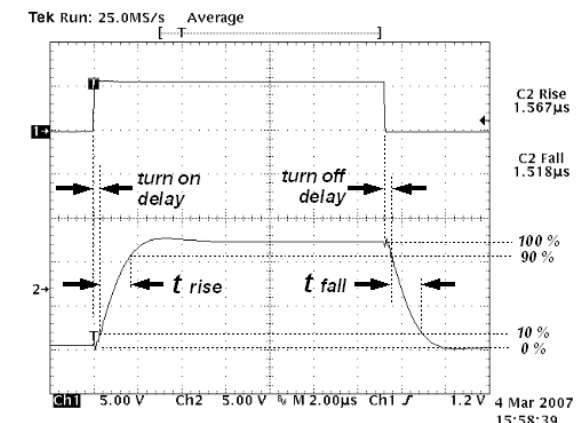
$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 2^{-\frac{1}{2}}$$

- in dB ausgedrückt

$$20 \log_{10} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \approx -3,0103 \text{ dB}$$

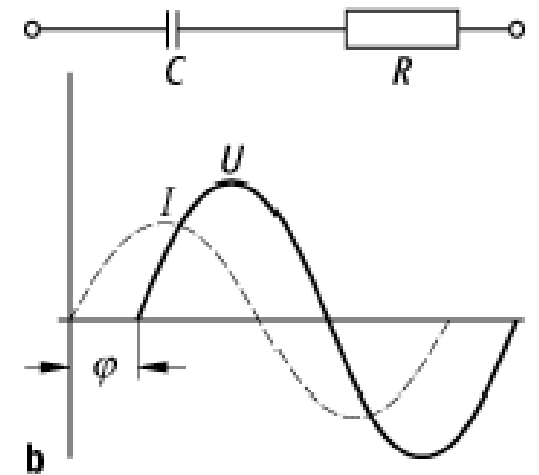
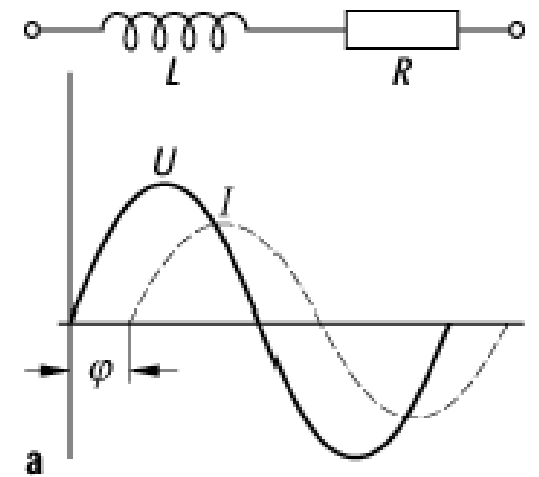
- Anstiegs und Abfallzeiten

- Zeit die das Signal braucht um von 10% auf 90% Signalamplitude zu kommen



Messwerte und deren Definitionen

- Phasenverschiebung
 - Zwei Signale mit gleicher Frequenz (oder Vielfachen) aber zueinander unterschiedlichen Nulldurchgängen bezeichnet man als phasenverschoben
 - Einheit: $^{\circ}$, Radiant
 - z.B. bei einem Filterglied 1. Ordnung ist die Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal bei der Grenzfrequenz: 45°



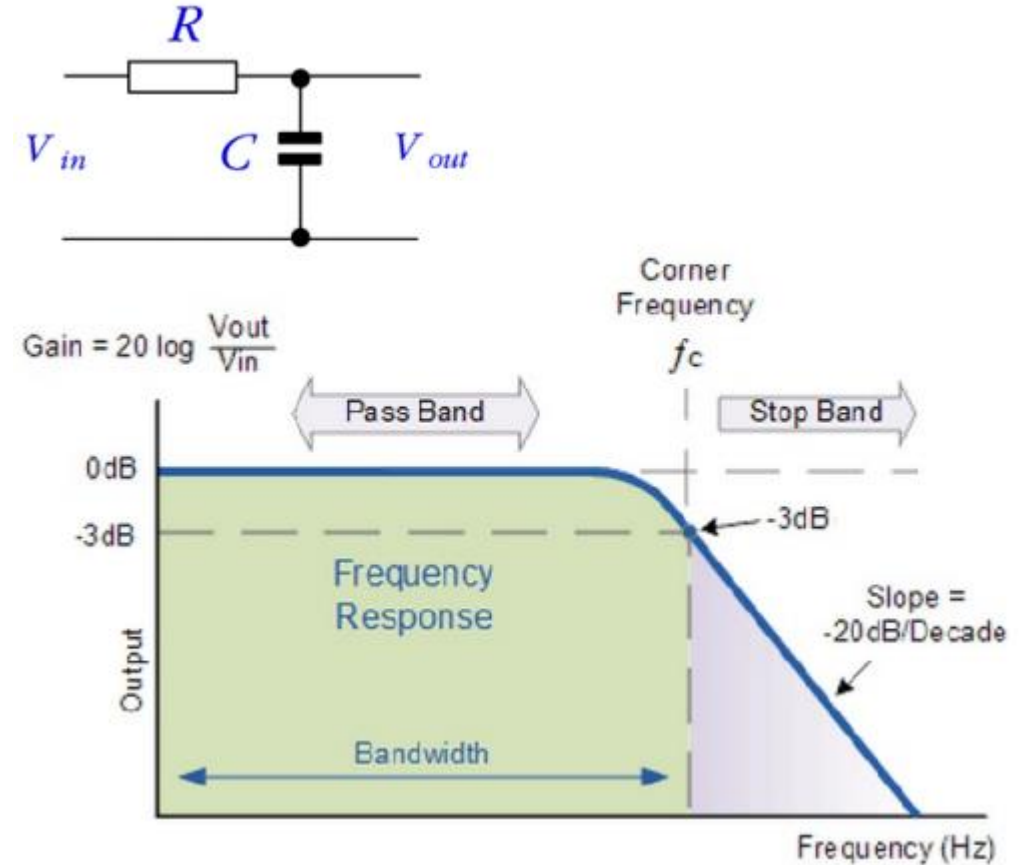
Einfacher Tiefpass 1. Ordnung

- Folgende vereinfachte Zusammenhänge sind zulässig

$$t_r = 0,35 \cdot \frac{1}{f_g}$$

$$\frac{t_r}{t_f} \left(\frac{10\%}{90\%} \right) = \frac{0,35}{f_c}$$

$$\tau = \frac{1}{2\pi \cdot f_c} \cdot$$



LeCroy HDO6104-MS

1 GHz, 2.5 GS/s, 4+16 Ch, 50 Mpts/Ch 12-bit
HD Mixed Signal Oscilloscope with 12.1"
WXGA Touch Display, with 16 Ch. Logic
Analyser Probe,

Am einfachsten unter:

<http://teledynelecroy.com/oscilloscope/oscilloscopemodel.aspx?modelid=8293&capid=102&mid=504>

https://www.youtube.com/watch?v=CIE_vZD7h3A

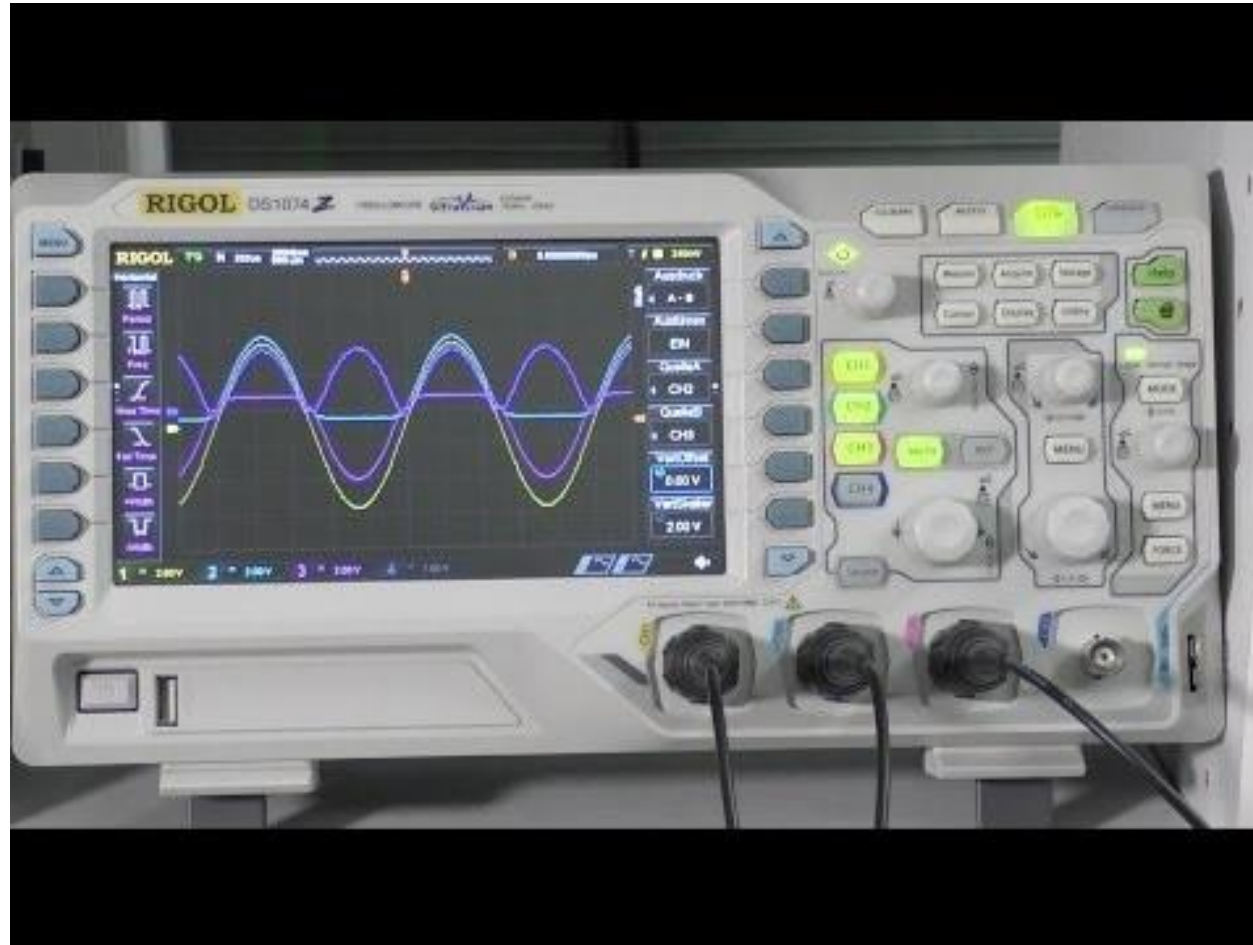


Ein Schweizer und sein Oszilloskop



<https://www.youtube.com/watch?v=s7VFSjaFgl8>

Ein Schweizer und sein Masseproblem

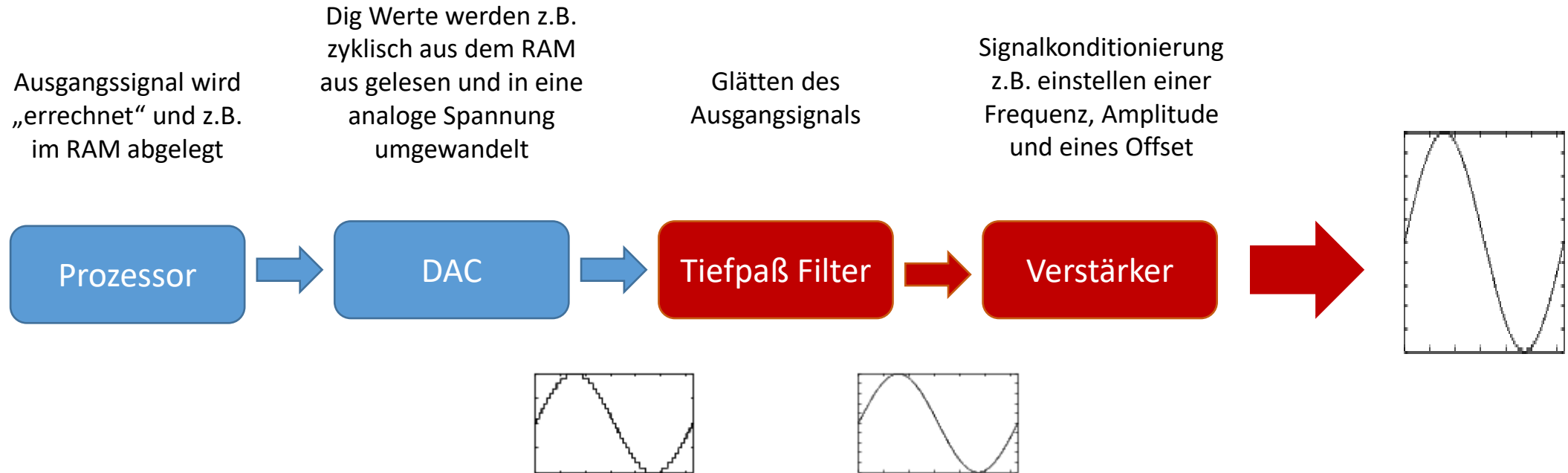


<https://www.youtube.com/watch?v=nnT8Re6jGIU>

Signalgeneratoren

- Umgekehrter Vorgang zu Oszilloskop: Signal wird aus einer analogen oder digital gespeisten Verstärkerschaltung erzeugt und kann z.B. in einen Messaufbau eingespeist werden z.B.
 - Sinus für Messungen an Audioverstärkern
 - Digitale serielle Signalformen zur Einspeisung in einen Schnittstellenkonverter
- Analoge Signalgeneratoren mit vordefinierten Ausgangssignalformen
 - Sinus, Dreieck, Rechteck
- Digitale Signalgeneratoren
 - Über ein DAC - digital analog converter - und eine Verstärkerschaltung „beliebige“ (=arbiträre) Signalformen möglich

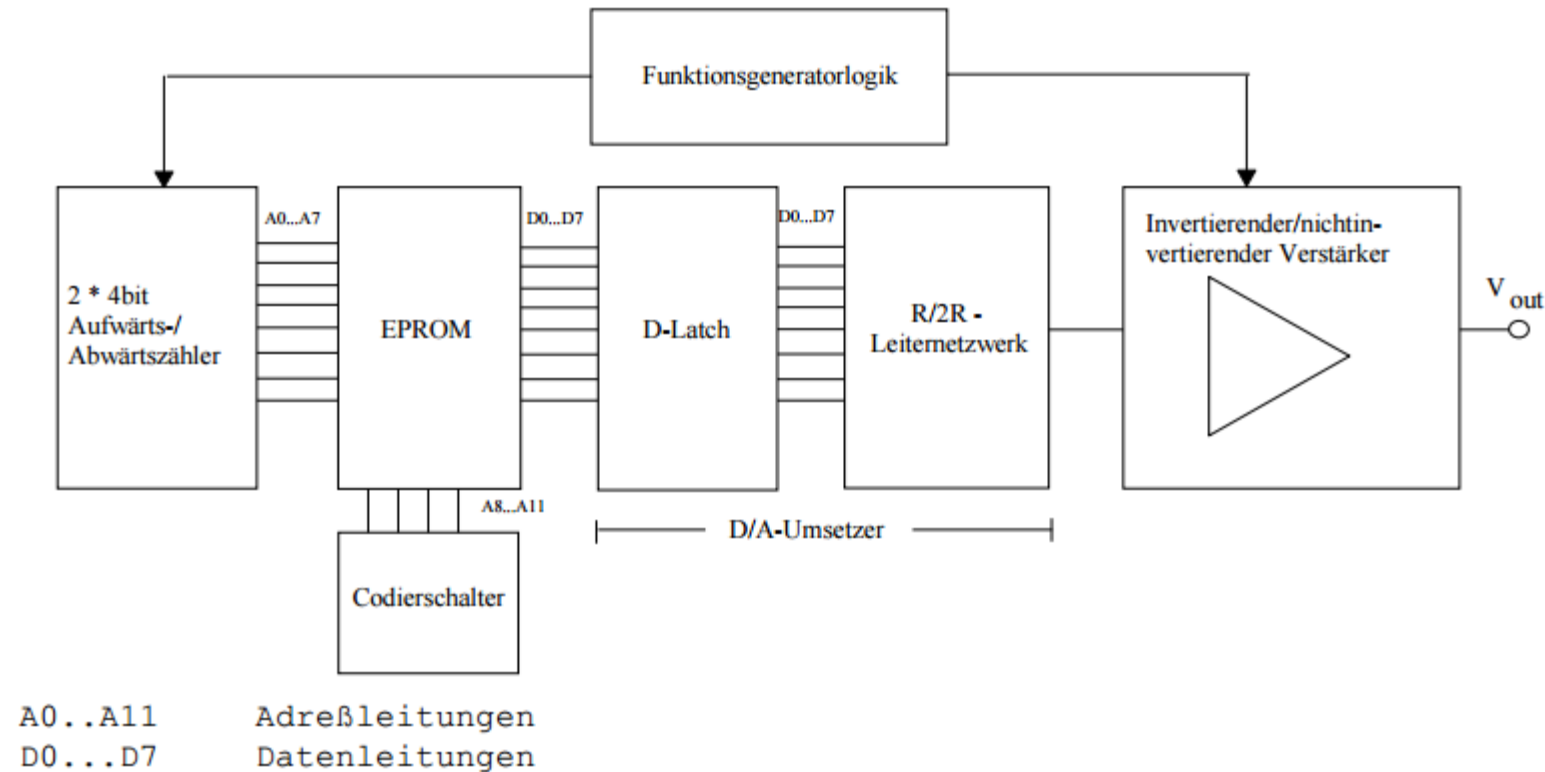
Signalgeneratoren



Digitaler Funktionsgenerator

- Moderne Digital -/ Analogelektronik und schnelle Prozessoren erlauben Signalerzeugung in den höheren MHz Bereich
- Software Funktionen berechnen auch komplexe Ausgangsignalformen wie „modulierte“ Signale oder einmalige Signale
- Bedienerführung und Verbindung zu übergeordneten PC Systemen mit bequemen Signaleditoren vereinfachen die Benutzung

Digitaler Funktionsgenerator



Prinzip Schaltbild eines digitalen Funktionsgenerator

Digitaler Funktionsgenerator

ACHTUNG

Auch Funktionsgeneratoren haben max. und min Werte – also beachten sie die Betriebsparameter ihres Gerätes -> Studium des Betriebshandbuches ist unumgänglich!

Überlegen sie sich im Vorfeld immer was sie darstellen möchten mit ein paar Kennzahlen und einer Skizze:

f , T , U_{eff} , $trise$

Und vergleichen sie diese mit dem was der Generator am Ausgang bzw. in der zu steuernden Schaltung ausgibt

33622A WG, 120 MHz, 2-Channel

120MHz max freq, 2 channel, 4 MSa/channel (64MSa with Mem Op); Waveforms: Sine, Square, Ramp, Pulse, Triangle, Gaussian Noise, PRBS (Pseudorandom Binary Sequence), DC;



Am einfachsten unter:

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-3272EN.pdf?id=2431617>

<http://www.youtube.com/playlist?list=PL2XuMA5AwNUw5ZgOG3N7fNxui72wpl3nL>

Vorbereitung Allgemein

- Suchen sie nach Internet Ressourcen zum Thema DSO:
 - Wikipedia
 - <http://teledynelecroy.com/oscilloscope/oscilloscopemodel.aspx?modelid=8293&capid=102&mid=504> Link zum Labor Oszi
 - <https://ti.tuwien.ac.at/cps/teaching/courses/dspv/files/abtasttheorem.pdf> Link zur genaueren Erklärung zum Abtasttheorem
- Grundprinzip eines Oszi
 - Trigger
 - Darstellung von periodischen Signalen
 - Abtasttheorem
- **Alle gelernten Kenngrößen**