

### 1. Übungstag:

Erklärung und Demonstration der Funktionsweise von:

Oszillograph, Tastkopf

Funktionsgenerator

Multimeter

Hirschmannbrett

#### 1. Gleichstromtechnik (entsprechend der Anleitung LU 2.Semester)

1.1 Spannungs- und Strommessung

1.2 Spannungs- und Stromteiler

Bestimmung des Phasenwinkels mit Lissajous-Ellipse:  $\sin\phi = a/b = a'/b'$

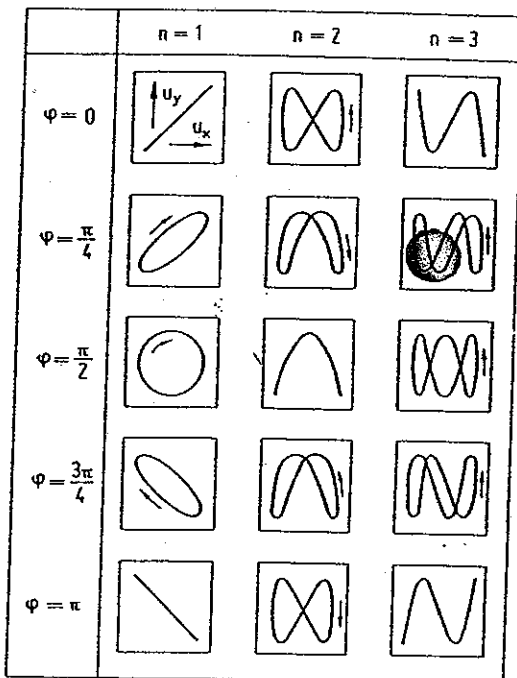
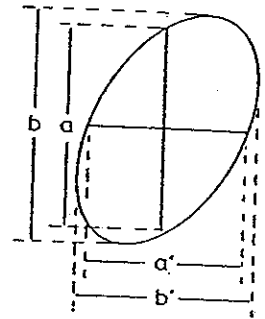


Bild 2.67-2.69: Lissajous-Figuren für  
 $u_x = \hat{u} \sin \omega t$ ;  $u_y = \hat{u} \sin(n\omega t + \varphi)$

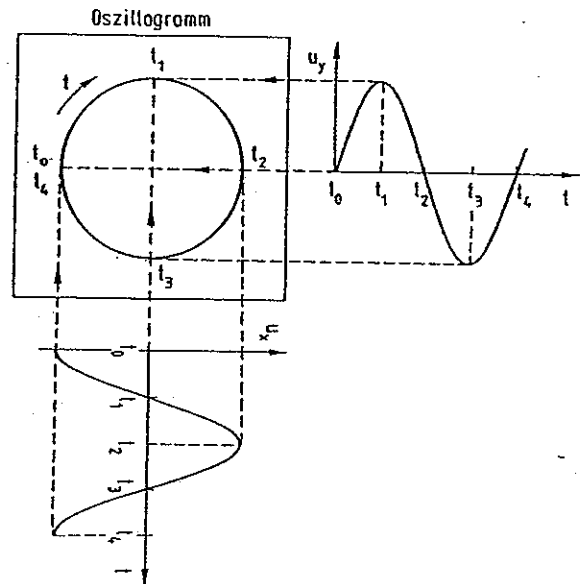


Bild 2.66: Liegen an den Eingängen eines Oszilloskops sinusförmige, um  $90^\circ$  phasenverschobene Spannungen, so entsteht auf dem Leuchtschirm das Bild eines in einem Kreis umlaufenden Punktes

Beurteilung ab dem 2.Übungstag:

4 Punkte (max.) für die Durchführung

6 Punkte (max.) für die Prüfung

Spannung  $y = y_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi)$ , beide gleicher Frequenz  $\omega$ , so ergeben sich die Auslenkungen

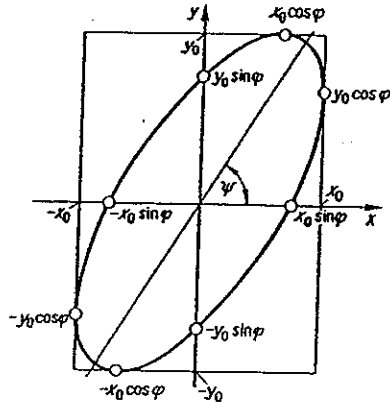
$$x = x_0 \cdot \sin \omega t$$

$$y = y_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi) = y_0 \frac{x}{x_0} \cos \varphi - y_0 \sin \varphi \cos \omega t$$

Dies ist die Parameterdarstellung der Leuchtspur, einer Ellipse, die man durch Quadrieren und Addieren von Gl. (5.82) und (5.83) in die Form

$$\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 - 2 \frac{x}{x_0} \frac{y}{y_0} \cos \varphi + \left(\frac{y}{y_0}\right)^2 = \sin^2 \varphi$$

bringen kann. Die Ellipse ist in Fig. 5.30 dargestellt, Extremwerte und Achsenschnitte sind dort eingetragen. Den Winkel  $\psi$  der Achse der Ellipse gegen die  $x$ -Achse findet man zu  $\tan 2\psi = 2x_0 y_0 \cos \varphi / (y_0^2 - x_0^2)$ . Man diskutierte die Form der Ellipse für verschiedene Phasenwinkel  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq \pi$ ).



Lissajous-Ellipse ( $y_0/x_0 = 1,38$ ,  $\varphi = 0,848 \text{ rad}$ ,  $\sin \varphi = 0,750$ ;  $\cos \varphi = 0,661$ )

## Frequenzkompensierter Spannungsteiler, Tastkopf:

$$Z_i = \left( R_i \parallel \frac{1}{j\omega C_i} \right) = \frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i} \quad (2.81)$$

Für den Teiler wird das Verhältnis aus angelegter Spannung  $U_1$  und abgenommener Spannung  $U_2$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \frac{1 + j\omega R_2 C_2}{1 + j\omega R_1 C_1} \quad (2.82)$$

Das Verhältnis der Spannungen wird von der Frequenz dann unabhängig, wenn in der obigen Gleichung der Term mit  $j\omega$  verschwindet. Dies ist der Fall für

$$R_1 C_1 = R_2 C_2 \quad (2.83)$$

Ist diese Bedingung eingehalten, dann ist innerhalb der Bandbreite des Elektronenstrahl-Oszilloskops das Teilverhältnis frequenzunabhängig mit

$$\frac{U_1}{U_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (2.84)$$

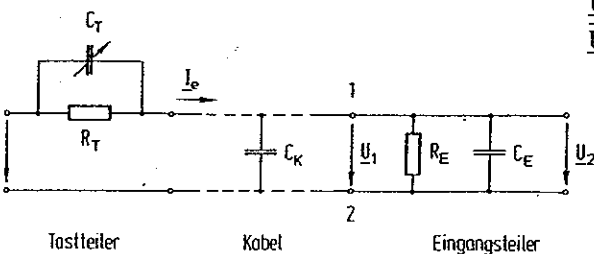
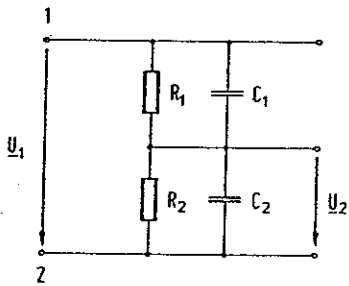


Bild 2.59: Rechteckimpulse an einem RC-Spannungsteiler  
 $u_e(t)$  Eingangsspannung  
 $u_2(t)$  Ausgangsspannung bei unterkompensiertem (a), richtig kompensiertem (b) und überkompensiertem (c) Spannungsteiler

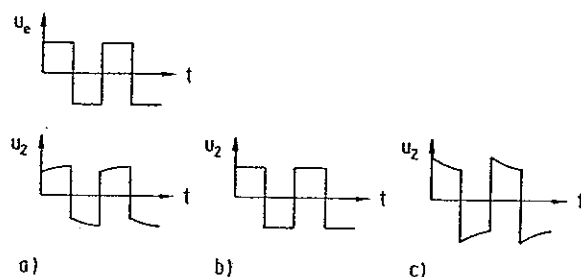


Bild 2.58: Tastteiler am Eingang eines Oszilloskops

## 9. Meßtechnik:

### 9.1 Das Oszilloskop:

Ein modernes Oszilloskop ist ein Universalmeßgerät und kann in fast jedem Bereich der Meßtechnik eingesetzt werden. Gegenüber speziellen Meßgeräten liefert es eine Vielzahl von Informationen in einem Schritt.

Sein Standardanwendungsgebiet ist es, den genauen Verlauf von Spannungen *zeitlinear* anzuzeigen.

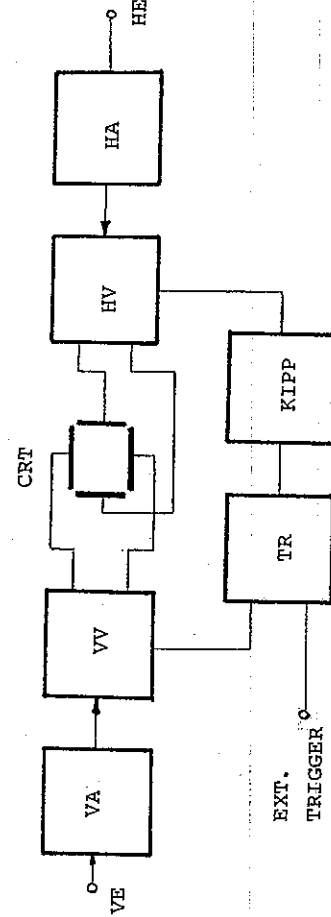
Aus dem Schaubild  $U = f(t)$  können alle anderen Größen meist einfach bestimmt werden.

z.B. ■ Frequenz

■  $U_{SS}$

■  $U_{eff}$

#### 9.1.1 Blockschaltbild:



VE: Vertikal Eingang (y-Eingang)

VA: Eingangsabschwächer

VV: Vertikal Verstärker

CRT: Elektronenstrahlröhre

TR: Trigger

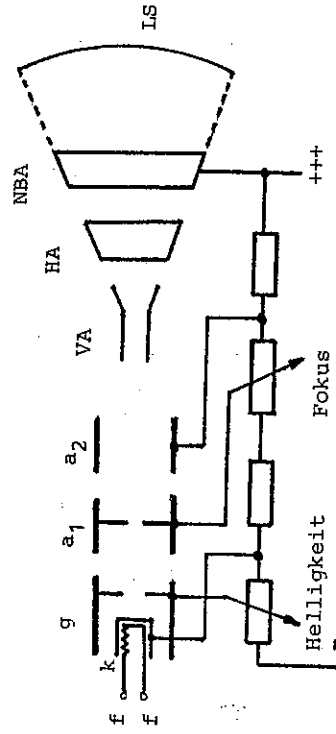
KIPP: Kippgerät (Horizontalablenkung)

HV: Horizontalverstärker

HE: Horizontal Eingang (x-Eingang)

Ein Oszilloskop benötigt natürlich ein Netzgerät für die Stromversorgung der Verstärker, die Röhrenheizung und die Anodenspannung.

#### 9.1.2 Die Elektronenstrahlröhre:



f f ... Heizungsanschlüsse

Infolge der Wärmebewegung wird die kinetische Energie der Elektronen größer als die Austrittsarbeit. Sie werden daher freigesetzt.

k ... Kathode

Mit BaO beschichtet, um die Austrittsarbeit und damit die nötige Heizleistung klein zu halten.

g ... Gitter

Bildet mit Kathode den Wehnelt Zylinder durch das Potential wird die Anzahl der Elektronen / Zeiteinheit und damit die Helligkeit eingestellt.

$g + a_1$  1. elektrische Linse

$g + a_2$  2. elektrische Linse

Die beiden Linsen dienen zur Fokussierung des Elektronenstrahls.

Es wird nur das Potential von  $a_1$  verstellt, die Gesamtspannungsdifferenz, welche die Elektronen zwischen  $k$  und  $a_2$  durchlaufen, ist konstant. Dadurch ist die Verweilzeit im Bereich der Ablenkplatten unabhängig von der Fokussierung. Die Ablenkempfindlichkeit bleibt gleich.

VA ... Vertikale Ablenkplatten

Immer kathodennäher als HA

Grund: Höhere Ablenkempfindlichkeit, da die Elektronen noch eine geringere Geschwindigkeit haben.

HA ... Horizontale Ablenkplatten

Empfindlichkeit einige Volt/cm

NBA ... Nachbeschleunigungsanode

Ca. 15kV gegen  $k$ ; zur Erhöhung der Helligkeit

LS ... Leuchtschirm

Aktive Substanz verwandelt kinetische Energie der Elektronen in Licht um.

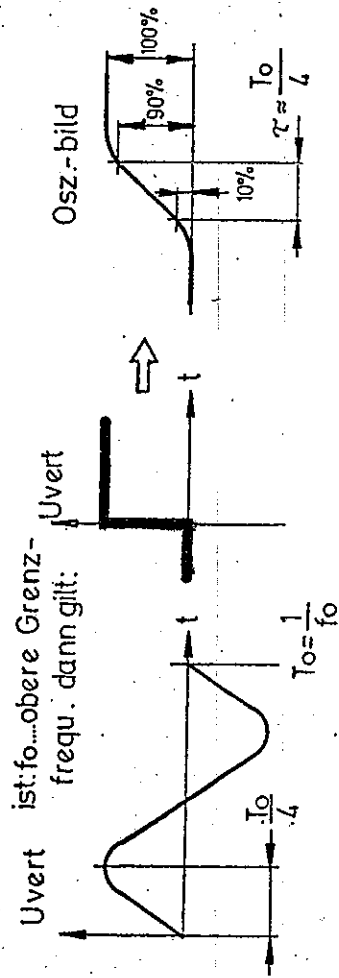
Nachleuchtdauer:  $\mu s$  bis  $s$

Die obere Grenzfrequenz der Elektronenstrahlröhre ergibt sich aus der Laufzeit zwischen Vertikal- und Horizontalablenkung.

### 9.1.3 Der Meßverstärker:

Aufgabe: Lineare, formgetreue Verstärkung von Meßsignalen ohne Phasenverschiebung.

- Konstante Verstärkung über den gesamten Frequenzbereich. Der 3dB-Abfall gilt nicht als Kriterium für die Grenzfrequenz bei Meßverstärkern.  $f_o$  wird hier durch die Anstiegszeit definiert.



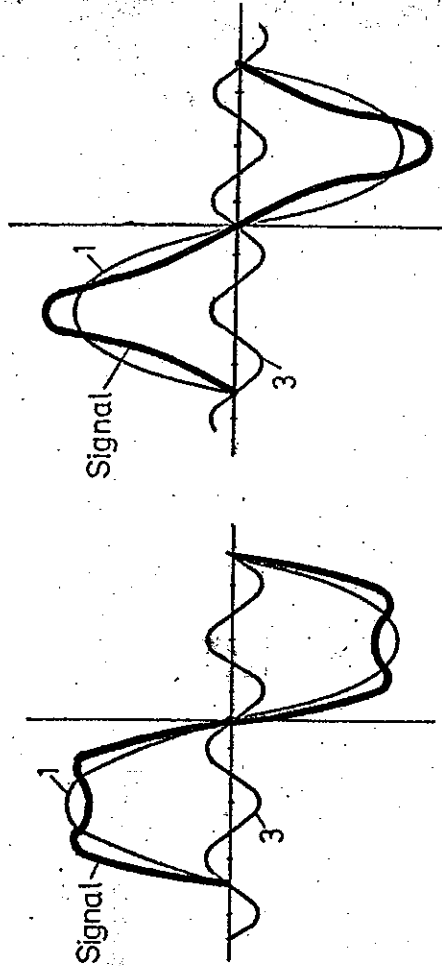
■ Keine Erzeugung von Oberwellen:

Bei jeder Amplitude muß gleichviel verstärkt werden.

Typische Werte: 10mV/cm Strahlablenkung (0 - 30 MHz)

■ Phasenverschiebung:

Soll 0 oder für alle Frequenzen gleich sein. Sonst würde eine Formänderung bei Frequenzgemischen auftreten.



Unabhängig von den übrigen Eigenschaften können Verstärker ein- oder mehrkanalig ausgeführt werden. Heute werden fast nur noch mehrkanalige Verstärker verwendet; sie ermöglichen die gleichzeitige Darstellung verschiedener Signale.

1) Mehrstrahlröhre:

Für jeden Kanal ist in der Röhre ein eigenes Strahlerzeugungssystem vorhanden.

Nachteil: Aufwendig

Vorteil: Verschiedene Horizontalablenkung der einzelnen Kanäle möglich.

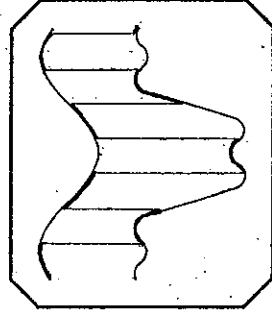
2) Einstrahlröhre; wobei die Verstärkerausgänge elektronisch nacheinander auf die Ablenkung des Strahles geschaltet werden.

2 Betriebsarten sind möglich:

■ Chopping (für tiefe Frequenzen)

Jeweils ein Teil eines Kanals wird gezeichnet. Bildwechselfrequenz bleibt erhalten.

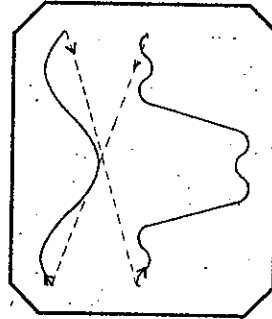
Chopping:



■ Alternating (für hohe Frequenzen)

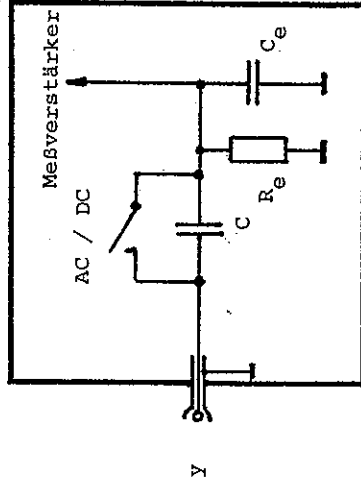
Jeweils ein Kanal wird komplett gezeichnet. Bildwechselfrequenz wird erniedrigt.

Alternating:



Generell gilt, daß ein Verstärker mit großer Bandbreite viel der angebotenen Rauschleistung des Einganges verstärkt. Daher kann sein Verstärkungsgrad nicht so hoch gemacht werden wie bei einem Schmalbandverstärker.

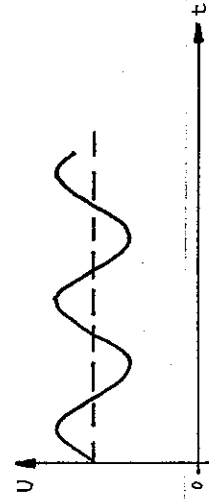
Signalzuführung (Ankopplung) an den Meßverstärker:  
Eingangsersatzschaltbild des Meßverstärkers:



C: 0.1 ... 10  $\mu$ F     $R_e$ : 1M $\Omega$      $C_e$ : 20 ... 50pF

Es gibt durch den Schalter (AC/DC) 2 Möglichkeiten der Kopplung:

1. DC - direct coupled



Das Schirmbild zeigt den Gleich- und den Wechselspannungsanteil des Eingangssignals.

2. AC - alternated coupled



Serienkondensator C:

Der Gleichspannungsanteil wird abgetrennt nur der Wechselspannungsanteil wird dargestellt.

Um bei verschiedenen Eingangssignalen die Bildgröße wählen zu können, muß die Ausgangsspannung des Meßverstärkers geeignet verstellt werden können:

→ Abschwächung zu großer Eingangssignale  
(nicht durch variable Verstärkung)

Dies erfolgt kalibriert in Stufen, dazwischen ist eine kontinuierliche Änderung möglich, wobei auf eine absolute Messung verzichtet werden muß.

Betriebsarten der Meßverstärker (mode):

Bei einem Zwei-Kanal-Verstärker können meist folgende Betriebszustände gewählt werden:

- Channel 1
- Channel 2
- Chopping
- Alternating
- Added

Da das Kippgerät freilaufend ist, "weiß" es noch nichts von der Vertikalfrequenz und  $f_{\text{hor}}$  stimmt nicht mit  $f_{\text{vert}}$  überein.

## Linearer Zusammenhang zwischen Ablenkweg und Spannung

→ Durchlaufendes Bild, weil die Einzelbilder jeweils mit einer anderen Phasenlage beginnen. Läuft das Bild so schnell, daß das Auge nicht mehr folgen kann, so erscheint ein grünes Band.

### Prinzip: Ladung eines Kondensators mit konstantem Strom

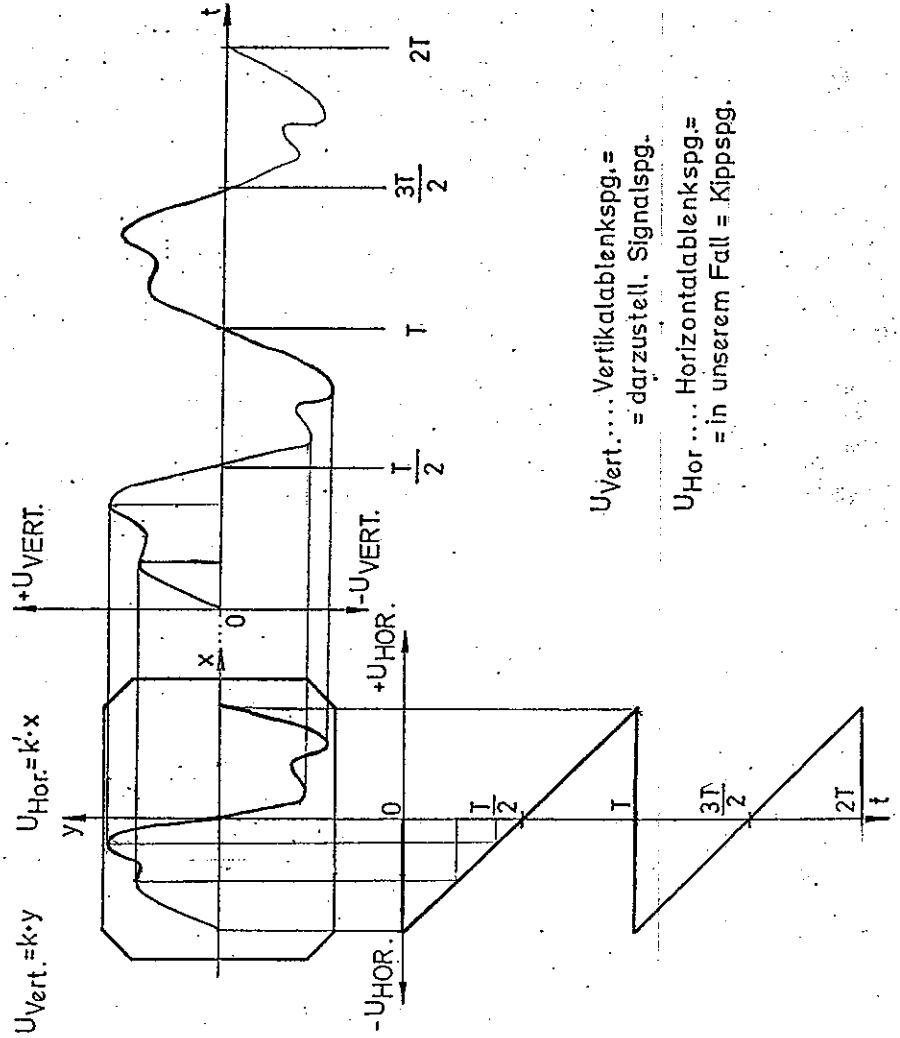
### 9.1.5 Die Triggerung:

Loslaufen des Kippgerätes:  
Nach dem Rücklauf und wenn der Triggerimpuls eintrifft.

→ "Synchronisation" der Kippspannung (horizontal) mit dem Meßsignal (verikal) → stehendes Bild am Schirm  
Die Höhe des Triggerpegels (Bildanfang) wird durch ein Potentiometer (trigger level) eingestellt.

Bestimmt, ob die Schnittpunkte mit steigender (+) oder fallender (-) Flanke den Triggerimpuls erzeugen.

Mehrere Schnittpunkte innerhalb einer Periode



Das Triggersignal kann mittels eines Schalters (trigger source) auf mehrere Arten gewählt werden:

- Intern (siehe oben)
- Extern

Direkte Einspeisung des Triggerimpulses über eine Anschlußbuchse (extern trigger input) von außen.

- Line

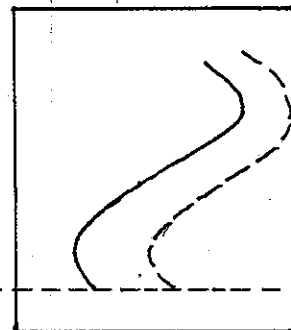
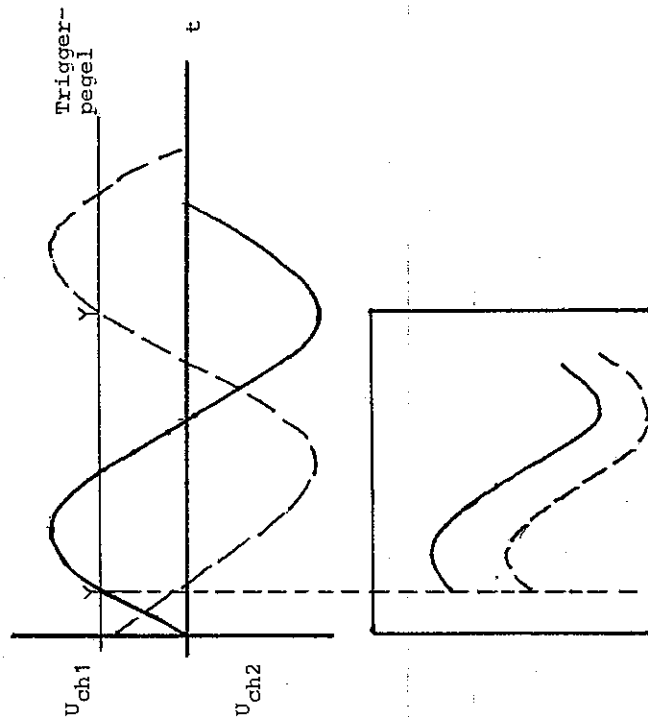
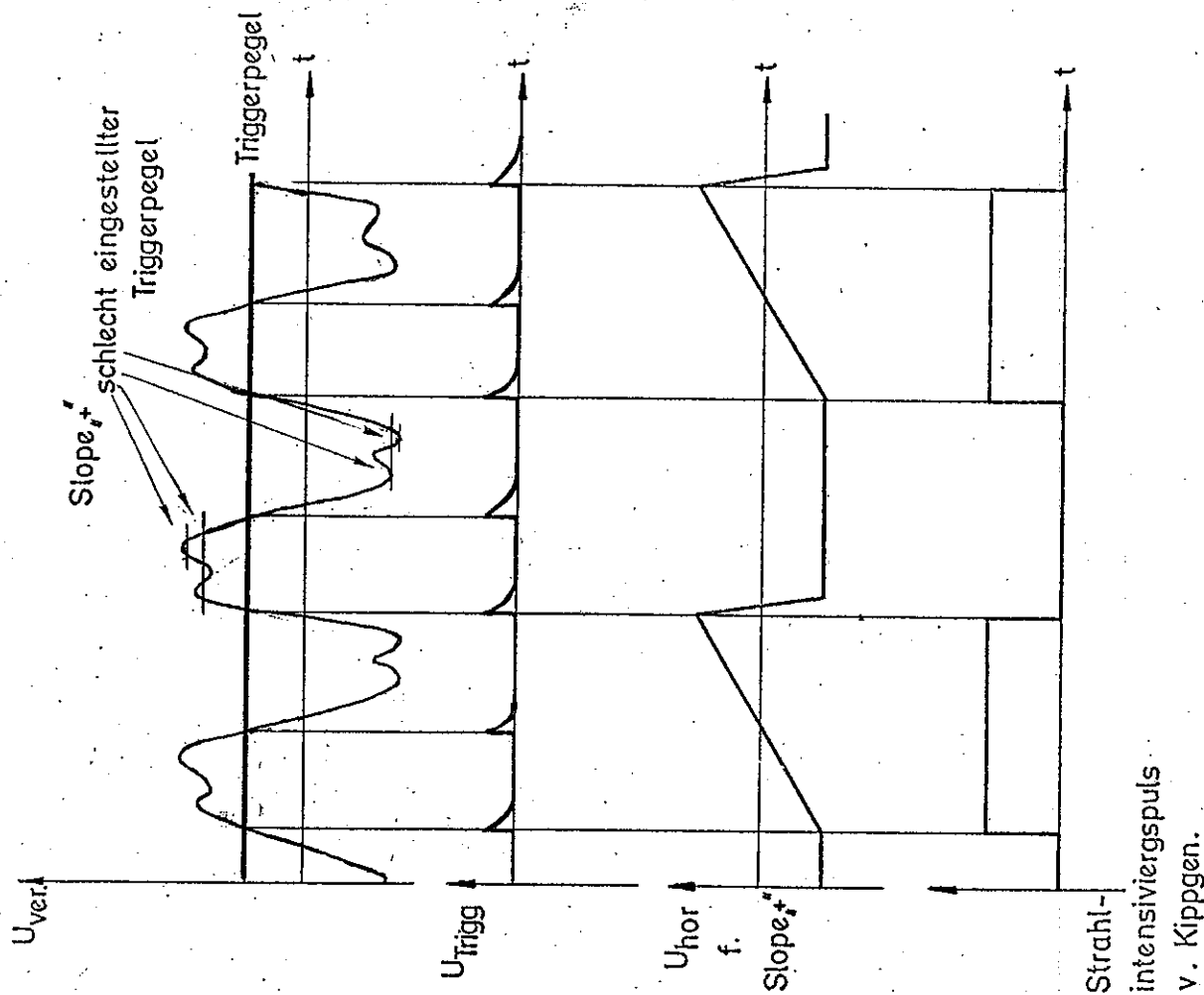
Triggerimpuls wird von einem Netzsignal (50Hz) abgeleitet (für netzsynchrone Signale).

### 9.1.6 Diverses:

#### 1. Trigger Channel 1 only:

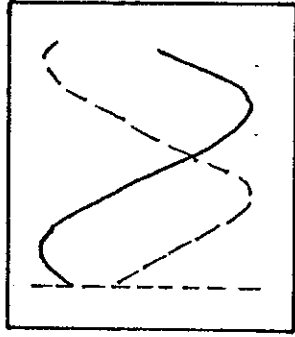
Darstellung von 2 Signalen mit der richtigen Phasenlage zueinander:

Normale Triggerung: (falsche Phasenlage am Schirmbild)





Trigger Channel 1 Only (richtige Phasenlage):



## 2) Der z-Eingang:

Dient zur Helligkeitssteuerung des Elektronenstrahls.

Die Eingangsspannung wird (verstärkt) dem Wehnelt-Zylinder zugeführt.

## 3) 2. Trigger:

(B-Trigger, delayed sweep)

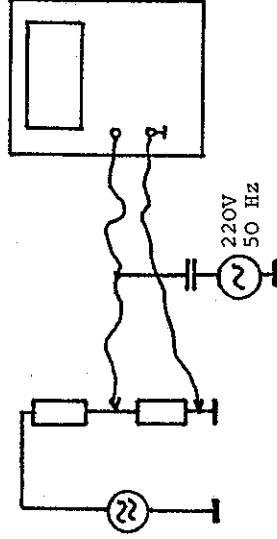
Ein zweites (zeitverzögertes) Kippgerät mit Triggerung dient zur vergrößerten Darstellung von interessanten Details der Signalspannung.

## 9.1.7 Signalzubringung (Tastkopf):

Einschränkungen durch die Einstreuung von Fremdspannungen (z.B. Netzbrumm)

### 1) Nichtgeschirmte Meßleitungen:

Jede Meßleitung, die Spannung gegen Erde führt hat auch Eine Kapazität gegenüber Störspannungsquellen.



Die Störspannungsquelle sieht als Lastwiderstand die Eingangsimpedanz des Oszilloskops ( $Z_E = 1\text{M}\Omega \parallel 20\text{pF}$ ) parallel zum Quellwiderstand des Meßpunktes ( $Z_Q$  oder  $R_Q$ ).

$Z_Q$  klein: Kleiner Störspannungsabfall (ungestörtes Bild)

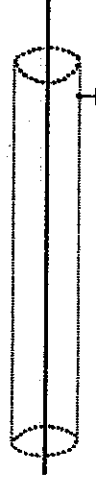
$Z_Q$  groß: Große Störspannungen

Ungeschirmte Meßleitungen unbrauchbar

### 2) Abgeschirmte Meßleitungen ohne Spannungsteiler:

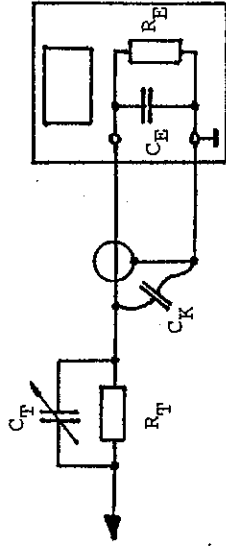
Außenleiter (Erde; Masse) schirmt den Innenleiter

→ Sehr kleine Störspannungen



Dient zur Signalzubringung bei kleinen Meßspannungen, hohen Quellwiderständen aber niedrigen Frequenzen. Bei höheren Frequenzen ( $\approx 10 \text{ MHz}$ ) wird die Belastung des Quellwiderstandes durch die *Kabelkapazität* zu groß. Abhilfe:

### 3) Spannungsteiler Tastkopf:



In Serie zur Eingangsimpedanz und zur Kabelkapazität wird ein Widerstand geschaltet.  
 $\rightarrow$  kleinere Belastung der Quelle  
 $\rightarrow$  Quellspannung wird geteilt  
 (Teilungsverhältnis meist 1:10 manchmal 1:100)

Der Eingangswiderstand von Oszilloskopen ist mit  $1 \text{ M}\Omega$  weitgehend einheitlich. Die Eingangskapazität schwankt jedoch zwischen  $20 - 50 \text{ pF}$ .

Ausgleich: Abgleichbarer Serienkondensator  $C_T$   
 Die Spannungsteilung ist dann frequenzunabhängig, wenn die kapazitive und die ohmsche Spannungsteilung gleiche Werte liefern.

$$\frac{R_T}{R_E} = \frac{X_{CT}}{X_{CE}} = \frac{C_E}{C_T}$$

$$R_T \cdot C_T = \tau_T = R_E \cdot C_E = \tau_E$$

Der Abgleich des Tastkopfes erfolgt mit Hilfe eines Rechtecksignals. Bei den meisten Oszilloskopen ist eine solche Referenzspannung ( $1 \text{ V}$ ,  $1 \text{ kHz}$ ) eingebaut.

Eingangssignal:

