

Das Elektronenstrahloszilloskop

1 Was ist ein Oszilloskop?

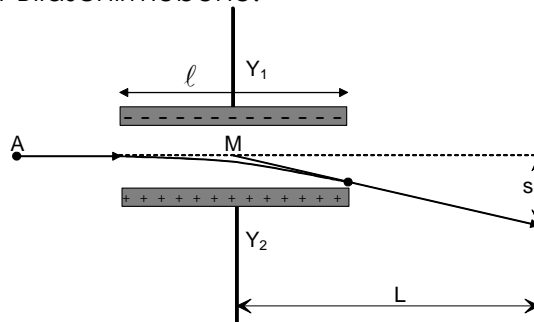
Das Wort Oszilloskop leitet sich von oscillare (lat. Schaukeln) ab.

Ein Oszilloskop¹ ist denn auch ein Gerät zum Sichtbarmachen von Schwingungsvorgängen oder allgemein, von zeitlich veränderlichen Vorgängen, die sich als Spannungssignale detektieren lassen. Die beiden Grenzfälle sind „ganz langsam“ (Gleichspannung) und „ganz schnell“ (höchsthäufige Wechselspannung im GHz-Bereich).

2 Die Funktionsweise des Oszilloskops

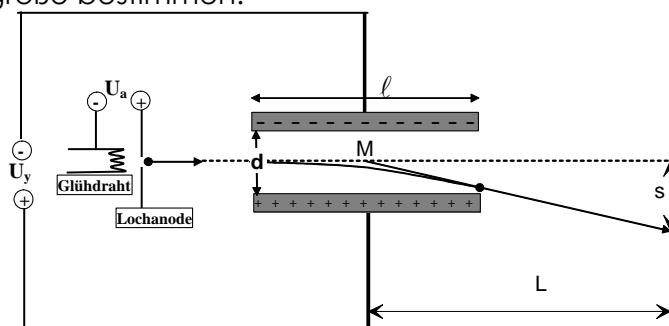
2.1 Prinzip der Strahlablenkung

Das Plattenpaar der nebenstehenden Abbildung sei mit einer Spannungsquelle verbunden, wobei die Y1-Platte negatives, die Y2-Platte positives Potential trägt. Dadurch wird der von A ausgehende Elektronenstrahl mehr oder weniger stark nach unten abgelenkt. Wird Y1, Y2 umgepolt, erfolgt die Ablenkung nach oben. Mit Hilfe einer angelegten Steuerspannung lässt sich demnach der Elektronenstrahl vertikal auslenken, wobei die Größe der Auslenkung bzw. Ablenkung von der angelegten Spannungshöhe abhängt. In der Abbildung bedeutet s die Größe der Ablenkung auf dem Bildschirm, L die Entfernung zwischen dem Zentrum des Ablenkungssystems und der Bildebene.



2.2 Berechnung der Strahlablenkung

Die durch die elektrostatische Kraft auf die Elektronen hervorgerufene Strahlauslenkung lässt sich durch die nebenstehende Abbildung leicht berechnen. Man erkennt, dass mehrere Faktoren die Ablenkungsgröße bestimmen:



$$1) v_y = a_y \cdot t \text{ mit } m \cdot a_y = e \cdot \frac{U_y}{d} \text{ und } t = \frac{l}{v_0} \text{ also } v_y = \frac{e \cdot U_y \cdot l}{m \cdot d \cdot v_0}; \quad 2) \frac{v_y}{v_0} = \frac{s}{L}; \quad 3) e \cdot U_a = \frac{1}{2} m v_0^2$$

¹ Hier wird die deutsche Schreibweise gewählt, obwohl die englische fast durchgängig auf sämtlichen Geräten zu finden ist. Die Bezeichnung **Oszillograph** ist hier falsch, da es sich hierbei um zeichnende Geräte handelt. Die Bezeichnung wird jedoch noch häufig verwendet, da früher der sogenannte Lichtstrahloszillograph zum Einsatz kam.

$$\text{Ausschlag } s = \frac{\ell \cdot L \cdot U_y}{2 \cdot d \cdot U_a}$$

s : Ablenkgröße (Ausschlag) in mm

L : Entfernung zwischen dem Zentrum des Ablenkungssystems und dem Bildschirm in mm

ℓ : Länge der Ablenkplatten in mm

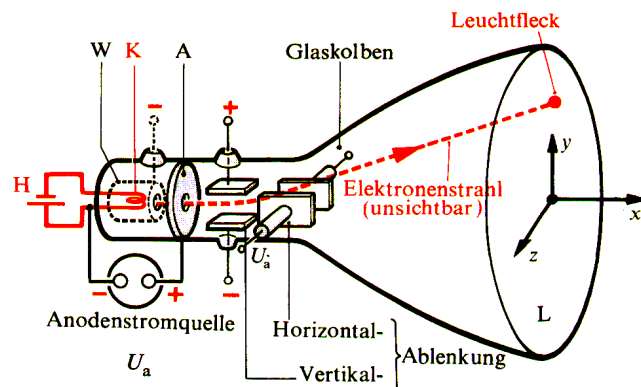
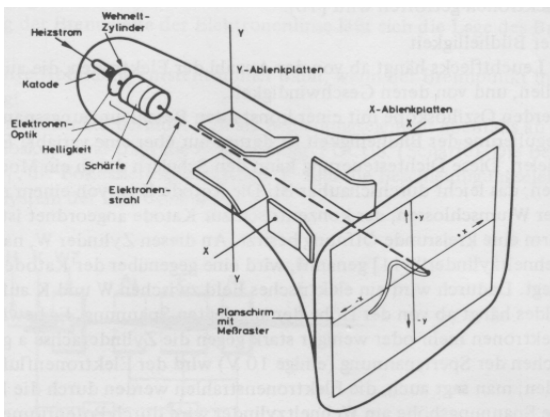
d : Plattenabstand in mm

U_y : Größe der Ablenkspannung in Volt

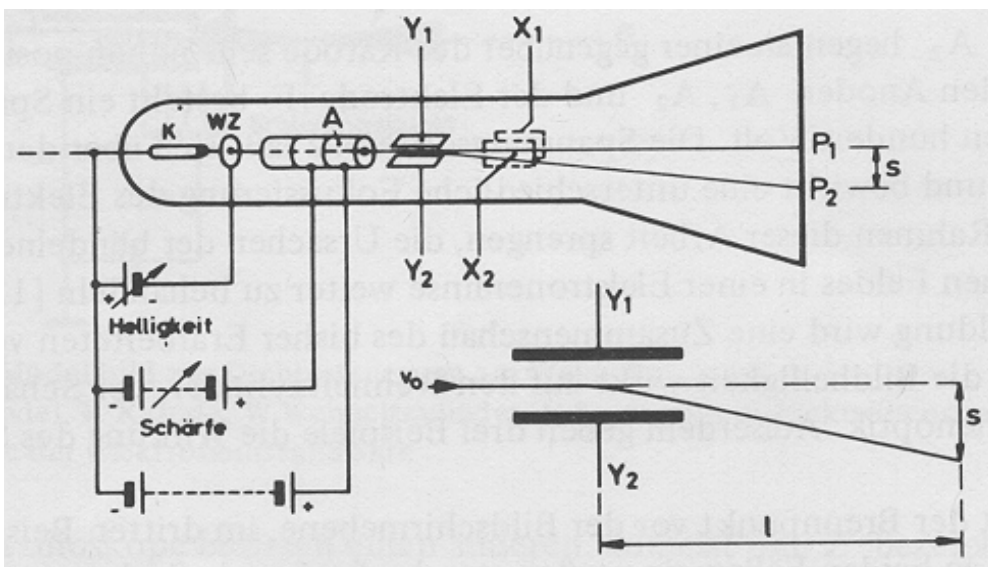
U_a : Größe der Spannung an der Beschleunigungselektrode vor den Ablenkplatten in Volt

2.3 Horizontale und vertikale Strahlablendung

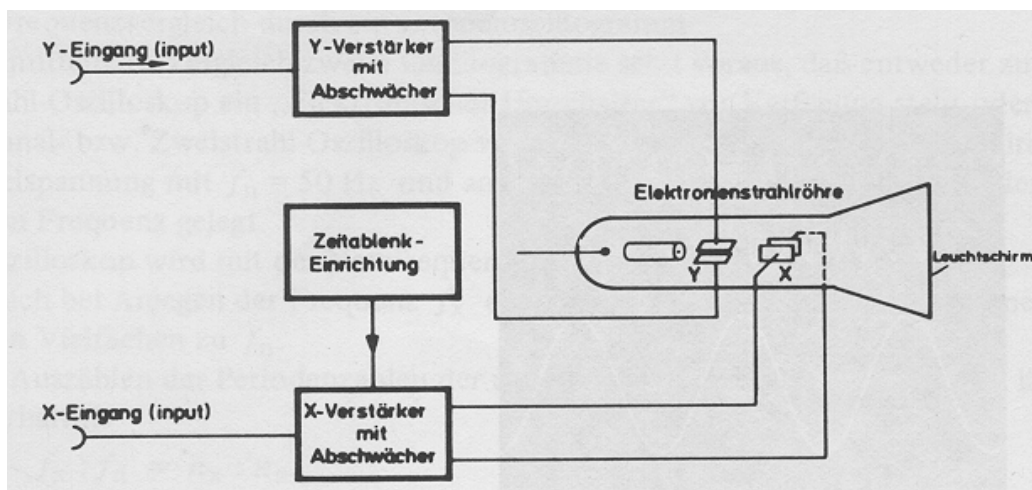
Es erscheint einleuchtend, dass für die horizontale Ablenkung ähnliche Überlegungen wie für die Vertikalablendung gelten. Werden die X-Ablenkplatten an eine Ablenkspannung angeschlossen, erfolgt je nach Potential und Spannungshöhe eine mehr oder weniger große Auslenkung des Elektronenstrahls in horizontaler Richtung. Die möglichen Auslenkungszustände sind auf dem Planschirm der nebenstehenden Elektronenstrahlröhre eingezeichnet.



Schematische Darstellung einer Elektronenstrahlröhre



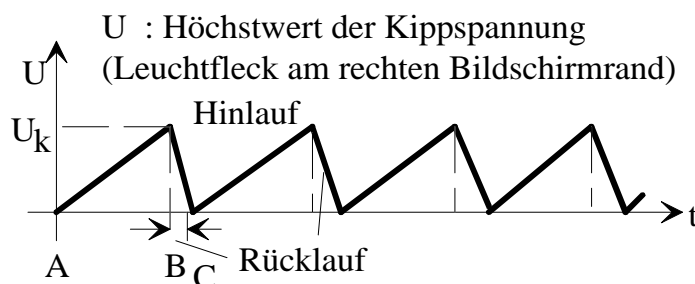
Elektrodenspannungen; Beschleunigung und Ablenkung im el. Feld



Vereinfachtes Blockschaltbild eines Oszilloskops

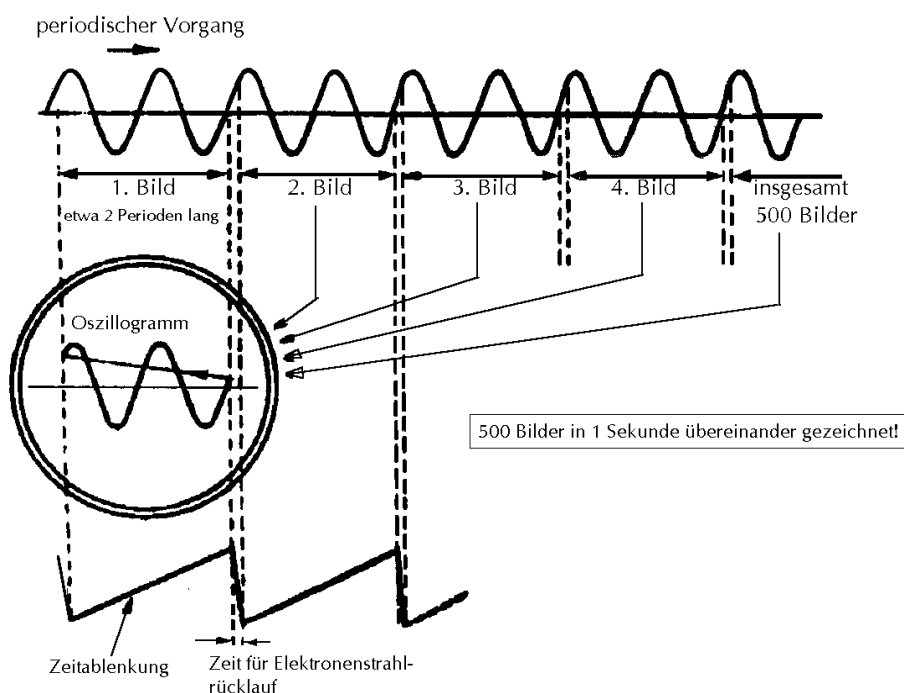
2.4 Funktion der Zeitablenkung (Kippspannung)

Die im Oszilloskop erzeugte Kippspannung bewegt mit konstanter Geschwindigkeit den Elektronenstrahl von links nach rechts über den Bildschirm (Hinlaufdauer). Sobald der Leuchtfleck den rechten Bildschirmrand erreicht hat, springt er sehr rasch an den Ausgangspunkt zurück (Rücklaufdauer) und beginnt mit dem neuen Durchlauf. Die „Wanderungsgeschwindigkeit“ läßt sich durch den Zeitmaßstab stufenweise und mitunter auch stetig verändern.



2.5 Die Kippspannungserzeugung

Ursache für die Zeitablenkung ist die Kippspannung, auch nach ihrer Verlaufsform als Sägezahnspannung bezeichnet. Darunter wird eine Spannung verstanden, die zeitlich linear bis zu einem bestimmten Wert ansteigt und danach „sofort“ wieder auf Null zurückspringt. In der folgenden Abbildung entspricht dabei die Strecke AB der Hinlaufzeit, die Strecke BC der Rücklaufzeit. Das Oszillogramm wird in der Hinlaufzeit geschrieben.



Die Periodendauer lässt sich durch die Wahl der Zeitablenkung verändern. Entsteht auf dem Bildschirm ein stehendes Bild, stimmen die Hinlaufzeit der Kippspannung und die Verlaufszeit der Periode (bzw. ein Vielfaches davon) der angelegten sinusförmigen oder nichtsinusförmigen Schwingung überein. Die Hinlaufzeit ist bei allen modernen Oszilloskopen kalibriert (geeicht), d.h. mit dem Oszilloskop lassen sich genaue Zeitmessungen durchführen. Erscheint auf dem Bildschirm die vollständige Periode der Wechselspannung, so ist die Periodendauer sofort ablesbar. Das Oszillogramm der folgenden Abbildung zeigt, dass etwa zwei Perioden eines periodischen Vorganges während der Hinlaufzeit der Zeitablenkung geschrieben werden. Die Messfrequenz beträgt $f=1000$ Hz, die Hinlaufzeit der Kippspannung 1 Sekunde. Das bedeutet, in einer Sekunde werden 500 Bilder übereinander gezeichnet.

2.6 Die Triggerung

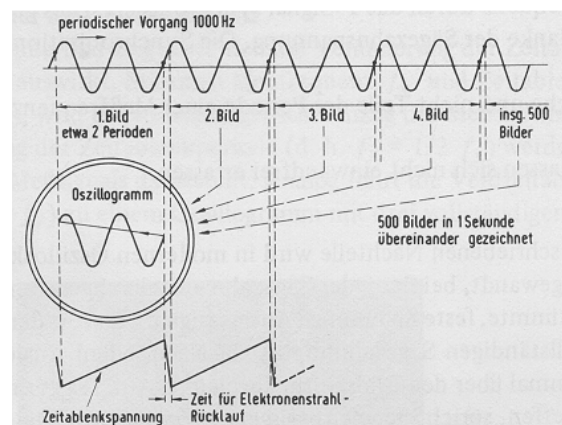
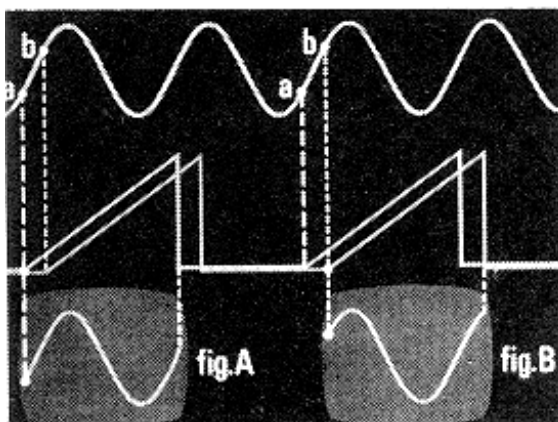
Der Trigger beobachtet das an den Y-Platten anliegende Eingangssignal und steuert den Start der Sägezahnspannung für die X-Ablenkung (auch Zeitablenkung genannt).

Drei Triggerarten sind zu unterscheiden: Die **automatische Triggerung** und die **Normal-Triggerung** und die **externe Triggerung**.

Bei **automatischer Triggerung** liegt an den X-Ablenkplatten stets eine Sägezahnspannung an, deren Wiederholfrequenz mit Hilfe des Zeitbasisschalters eingestellt wird. Deshalb ist hier immer ein Signal sichtbar. Sogar auch dann, wenn an den Y-Platten kein Signal anliegt. In diesem Fall sieht man dann einen horizontalen Strich auf dem Bildschirm. Wenn ein Signal an den y-Ablenkplatten anliegt, dann sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- o Wenn das Eingangssignal (Y-Spannung) einen voreingestellten Spannungswert, die sog. **Triggerschwelle** erreicht, dann läuft der Sägezahn gerade dann los, wenn die Triggerspannung erreicht wird. Dabei kann man noch einstellen, ob der X-Ablenkung losläuft, wenn die Triggerschwelle von einer ansteigenden oder einer abfallenden Y-Signalflanke erreicht wird.
Man erhält in diesem Fall ein stehendes Bild.
- o Wenn das Eingangssignal die Triggerspannung nicht erreicht, dann läuft die Zeitablenkung mit der eingestellten Wiederholfrequenz unabhängig vom Eingangssignal an den Y-Platten.

In diesem Fall, erhält man nur dann (zufällig) ein stehendes Bild, wenn die Frequenz der Eingangsspannung ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz der Sägezahnspannung ist. Andernfalls hat man ein „laufendes“ Bild oder aber eine unkontrollierte Überlagerung von Signaldarstellungen.

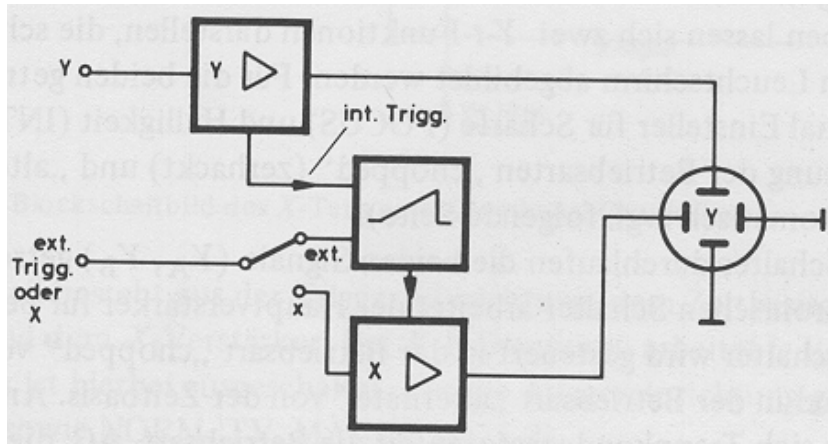


Bei der **Normal-Triggerung** läuft die X-Ablenkung erst dann los, wenn ein Eingangssignal anliegt, das die Triggerschwelle erreicht. Auch hier können daher zwei Fälle auftreten:

- o Erreicht das Eingangssignal die Triggerschwelle, dann erhält man ein stehendes Signalbild.

- o Erreicht das Eingangssignal die Triggerschwelle nicht, dann kommt es zu überhaupt keiner Signaldarstellung. Der Monitor bleibt dunkel.

Bei **externer Triggerung** ist die interne Zeitablenkung (Sägezahngenerator) abgeschaltet. Eine Externe Spannung sorgt für die X-Ablenkung des Strahls.



Blockschaltbild eines Einstrahl-Oszilloskops

3 Begriffe und Bedienungselemente

Je nach Fabrikat unterschiedlich, aber bei vielen Geräten gleich oder ähnlich.

Element	Funktion
POWER on/off (Drucktaste und LED-Anzeige)	Netzschalter; Leuchtdiode zeigt den Betriebszustand an.
INTENS. (Drehknopf)	Heiligkeitseinstellung für den Kathodenstrahl.
FOCUS (Drehknopf)	Schärfereinstellung für den Kathodenstrahl. (Muß bei veränderter Helligkeitseinstellung nachgestellt werden).
TR Trimpotentiometer (Einstellung mit Schraubenzieher)	Trace Rotation (Strahldrehung). Dient zur Kompensation des Erdmagnetfeldes. Der horizontale Strahl wird damit waagrecht gestellt.
X-POS.	Zur Strahlverschiebung in horizontaler Richtung.
X-Y	XY-Betrieb. Bei gedrückter Taste X-Y wird die interne Zeitablenkung abgeschaltet. Die externe Horizontalablenkung erfolgt über CH II-Eingang.
SLOPE +/- (Drucktaste)	Signaldarstellung beginnt mit steigender Flanke (Taste nicht gedrückt) oder mit fallender Flanke (Taste gedrückt).
TRIG. AC-DC-HF-LF-LINE	Wahl der Triggerankopplung: AC und DC bis 10Mhz, HF oberhalb 10 MHz, LF unterhalb 1kHz. LINE für Triggerung mit Netzfrequenz.
TIME/DIV. (Drehschalter)	Bestimmt Zeitkoeffizienten (Zeitablenkgeschwindigkeit) der Zeitbasis von 0.5Os/cm bis 200ms/cm.
Variable Zeitbasiseinstellung (Drehknopf)	Zur Feineinstellung der Zeitbasis. Erhöht Zeitablenkgeschwindigkeit um den Faktor 2,5 (Rechtsanschlag). Für Zeitmessungen auf CAL. (Linksanschlag) stellen.

EXT.	Triggerung über externes Signal. Signalzuführung über Buchse TRIG. INP. (12)
TRIG. INP. (BNC-Buchse)	Eingang für externes Triggersignal. Taste (11) gedrückt.
AT/NORM.	Automatische Triggerung (Taste nicht gedrückt) oder Normal-Triggerung (Taste gedrückt).
LEVEL (Drehknopf)	Einstellen des Triggerpunktes bei gedrückter Taste AT/NORM.
X-MAG. X10	Dehnung der X-Achse um den Faktor 10. Max. Auflösung = 50 ns/cm.
CALIBRATOR 0.2V-2V	Calibrator-Rechteckausgang, 0.2 V _{pp} bzw. 2V _{pp}
Y-POS.I, Y-POS.II (Drehknöpfe)	Einstellung der vertikalen Position des Strahles für Kanal I und II.
CH-I - DC,AC,GD CH-II - DC,AC,GD (Schiebeschalter)	Schalter für die Eingangssignalankopplung, Kanal I und II. DC = direkte Ankopplung, AC = Ankopplung über einen Kondensator, GD = Oszilloskop-Eingang kurzgeschlossen; Eingangssignal offen.
CH. I, CH. II (BNC-Buchsen und separate Massebuchsen)	Signaleingänge - Kanal I (links) bzw. Kanal II oder horizontaler X-Eingang (rechts). Eingangsimpedanz: 1M Ω 30pF.
Y-Eingangsteiler, Y-Verstärkung (12-stufiger Drehschalter)	Calibrierter Eingangsteiler. Bestimmt den Y-Verstärkungsfaktor in 1-2-5 Schritten und gibt den Umrechnungsfaktor an (V/cm, mV/cm).
Variable Y-Verstärkung (Drehknopf)	Zur Feineinstellung der Y-Amplitude (Kanal I bzw. II). Erhöht die Verstärkung max. um den Faktor 2,5 (Rechtsanschlag). Muß für Amplitudenmessungen in Stellung CAL. stehen (Linksanschlag).
INV. I	Bei gedrückter Taste wird die Polarität von Kanal I umgedreht. (in Verbindung mit ADD-Taste (26) = Differenzdarstellung).
CH I/II-TRIG. I/II	Einkanalbetrieb (Taste DUAL nicht gedrückt): - Taste nicht gedrückt = Darstellung von Kanal I. - Taste gedrückt = Darstellung von Kanal II. - Gleichzeitig Umschaltung der internen Triggerung.
DUAL	Bestimmt die Betriebsart EINKANAL (Taste nicht gedrückt) oder ZWEIKANAL (Taste gedrückt).
ADD - CHOP. (Drucktaste)	Wenn ADD allein gedrückt: Summe (I+II). Wenn ADD und INV.I gedrückt: Differenz (-I+II). CHOP. nicht und DUAL gedrückt: alternative Kanalumschaltung. CHOP. und DUAL gedrückt: Chopper-Kanalumschaltung.