

Das Elektronenstrahloszilloskop

Hinweise zu einer Einführung

von H. Voß

1 Einleitung	1
2 Die Funktionsweise des Oszilloskops	3
2.1 Prinzip der Strahlablenkung	3
2.2 Berechnung der Strahlablenkung	3
2.3 Horizontale und vertikale Strahlablenkung	4
2.4 Funktion der Zeitablenkung (Kippspannung)	4
2.5 Die Kippspannungserzeugung	4
2.6 Anmerkungen	5
3 Prinzip der Braunschen Röhre	6
4 Frontbild des HM 203-5	7
4.1 Erklärung der Bedienungselemente	8

1 Einleitung

Da den Schülern das Oszilloskop¹ als Anzeigegerät bereits aus der Unterrichtseinheit Schwingungen und Wellen bekannt ist, erscheint es sinnvoll, daß vor einer weiteren Verwendung des Oszilloskops im Unterricht eine kurze Einführung in den Umgang mit diesem komplexen Gerät erfolgt. Die Einführung innerhalb einer Einzel- oder Doppelstunde muß in jedem Fall unvollständig bleiben und kann sich daher vorrangig nur auf die Anwendung beziehen, während die Funktionsweise eines Oszilloskops nur relativ kurz erklärt werden kann.

In der Physik wird bei uns neben den älteren Geräten vorrangig der HAMEG HM 203/5 (Zweikanal)² eingesetzt.

Zu Beginn sollte den Schülern die Bedeutung des Wortes Oszilloskop erklärt werden:

oscillare: (lat.) schaukeln
skopie: (gr.) besehen

Ein Oszilloskop ist demnach ein Gerät zum Sichtbarmachen von Schwingungsvorgängen oder allgemein, von zeitlich veränderlichen Vorgängen. Als Grenzfälle können angegeben werden:

ganz langsam --- Gleichspannung
ganz schnell --- Höchstfrequenz (GigaHz)

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.

2 Der Begriff **Zweistrahl** ist hier falsch, da unsere Oszilloskope nur über einen Strahl verfügen, der über zwei Kanäle getrennt angesteuert wird.

Die Erklärung der wichtigsten Bedienungselemente, die allen Geräten gemeinsam sind, kann bereits mit der Vorgabe einer Wechselspannung über die Wahlpole erfolgen:

1 <i>ON-OFF</i>	Ein-Aus-Schalter
2 <i>INTENS</i> (Intensity)	Einstellen der Strahlhelligkeit
3 <i>Focus</i>	Einstellen der Strahlschärfe
4 <i>Vert.Ampl.</i> (Vertical-Amplitude)	Eingangsschalter zur Festlegung des Maßstabes auf der y-Achse in V/Div (Volt per Division)
5 <i>TimeBase</i>	Zeitbasisschalter zur Festlegung des Maßstabes auf der x-Achse in ms/cm oder $\mu\text{s/cm}$ bzw. pro Div (Einteilung)
6 <i>Y-POS.</i> (Y-Position)	Verschieben des Strahls in y-Richtung (nach oben oder unten)
7 <i>X-POS.</i> (X-Position)	Verschieben des Strahls in x-Richtung (nach rechts oder links)
8 <i>AC-DC-GND</i>	AC Amplified Current (Wechselspannung) DC Direct Current (Gleichspannung) GND Ground (Masse)
9 <i>LEVEL</i> (Trigger-Level)	Triggerschwelle, bei der der Strahl startet

Die Notwendigkeit eines Oszilloskops kann folgendermaßen demonstriert werden:

*An ein Drehspulmeßwerk wird ein Frequenzgenerator angeschlossen. Die Frequenz wird jetzt langsam vom kleinsten Wert an erhöht (Schalter des Meßinstruments auf „-“ stellen!). Bei einer bestimmten Frequenz kann der Zeiger wegen seiner Trägheit nicht mehr eindeutig folgen, bis er auf der 0-Anzeige stehen bleibt. Daher erscheint es den Schülern logisch, daß bei „großen“ Frequenzen ein fast trägheitsloser Elektronenstrahl vorteilhafter ist. Der Anschluß an das Oszilloskop sollte über die **HOR.INP.-Buchse** erfolgen, da man auf diese Weise ein zum Meßgerät analoges Signal erhält; der Punkt entspricht dem Zeiger:*



Jetzt wieder verschiedene Frequenzen, von unten beginnend darstellen. Der Punkt wandert dann laufend von links nach rechts. Hierbei kann auch ein Hinweis auf die Grenzfrequenz des Oszilloskops erfolgen:

HM 203-5 : 20 MHz

*Jetzt kann der Übergang zur Darstellung der Spannungen in Abhängigkeit von der Zeit t erfolgen, wobei darauf hingewiesen werden sollte, daß auf dem Schirm **Zeit/Strecke** eingestellt wird. Zur Übung kann die Schwingungsdauer einer vollständigen Schwingung verschiedener Frequenzen bestimmt werden.*

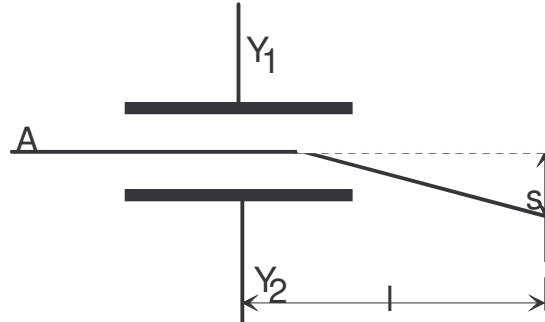
Die Erklärung der Funktionsweise des Level-Knopfes erfolgt, indem die Darstellung einer Sinuskurve so gewählt wird, daß der Anfangs- und Endwert der Darstellung auf dem Schirm **nicht** übereinstimmen. Dann dürfte es den Schülern einsichtig erscheinen, „daß irgend etwas passieren muß“, damit das Eingangssignal immer mit demselben anfängt, d.h. damit das Bild „steht“. Durch die Schalterstellung **SYN-EXT** (externe Synchronisation) kann gezeigt werden, daß bei fehlender Synchronisation das Bild „läuft“. Der Level-Knopf hat nur die Aufgabe, daß er den Wert, auf den das Bild synchronisiert werden soll, festlegt. Dies kann durch Drehen des Knopfes an einer Sinusschwingung gezeigt werden.

Nachdem die Funktionsweise anhand des Gerätes beschrieben wurde, kann mit dem Simulationsprogramm zum Oszilloskop gearbeitet werden. Über unsere Monitore kann der Bildschirm des Computers projiziert werden. Mit Hilfe dieses Simulationsprogramms läßt sich sehr schön die Bedeutung der Triggerschwelle zeigen.

2 Die Funktionsweise des Oszilloskops

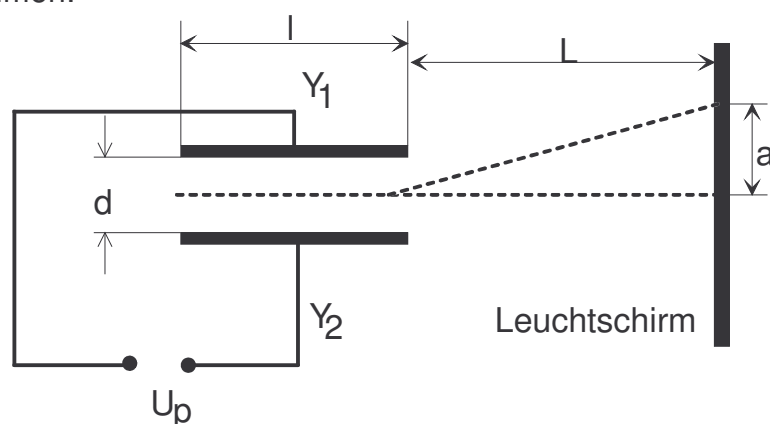
2.1 Prinzip der Strahlableitung

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 Strahlableitung

Die durch die elektrostatische Kraft hervorgerufene Strahlauslenkung läßt sich durch die nebenstehende Abbildung leicht berechnen. Man erkennt, daß mehrere Faktoren die Ablenkungsgröße bestimmen:



$$\text{Ausschlag } a = \frac{U_p}{A} = \frac{l \cdot L \cdot U_p}{2 \cdot d \cdot U_a}$$

a: Ablenkungsgröße (Ausschlag) in mm

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

d: Plattenabstand in mm

U_p: Größe der Ablenkspannung in Volt

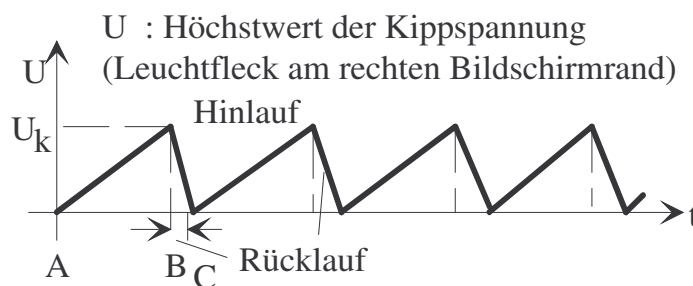
U_a: Größe der Spannung an der Beschleunigungselektrode vor den Ablenkplatten in Volt

2.3 Horizontale und vertikale Strahlablenkung

Es erscheint einleuchtend, daß für die horizontale Ablenkung ähnliche Überlegungen wie für die Vertikalablenkung 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.

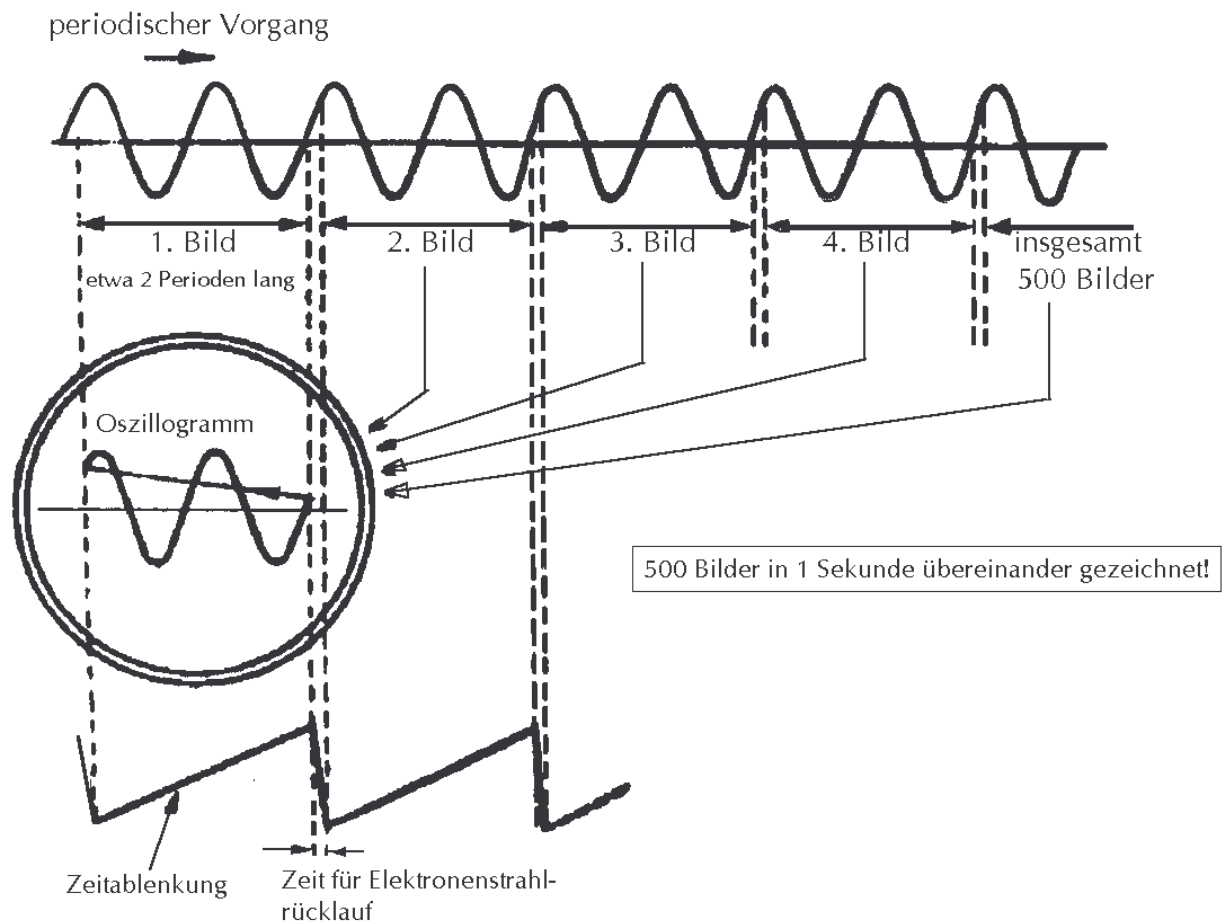
2.4 Funktion der Zeitablenkung (Kippspannung)

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.

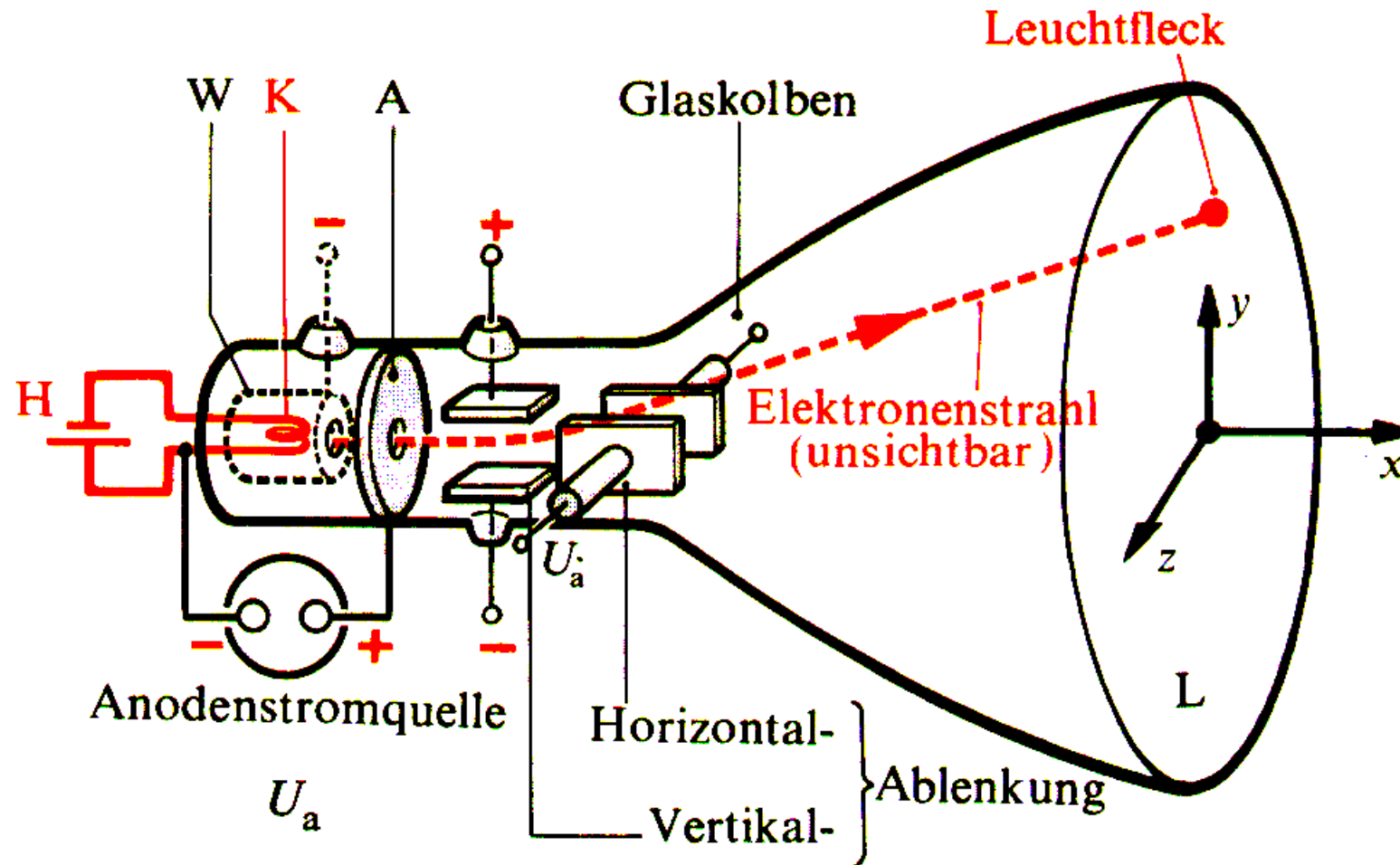


Die Periodendauer läßt sich durch die Wahl der Zeitablenkung verändern. Entsteht auf dem Bildschirm ein stehendes Bild, stimmen die Hinlaufzeit der Kippspannung und die Verlaufszeit der Periode (bzw. ein Vielfaches davon) der angelegten sinusförmigen oder nichtsinusförmigen Schwingung überein. Die Hinlaufzeit 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.

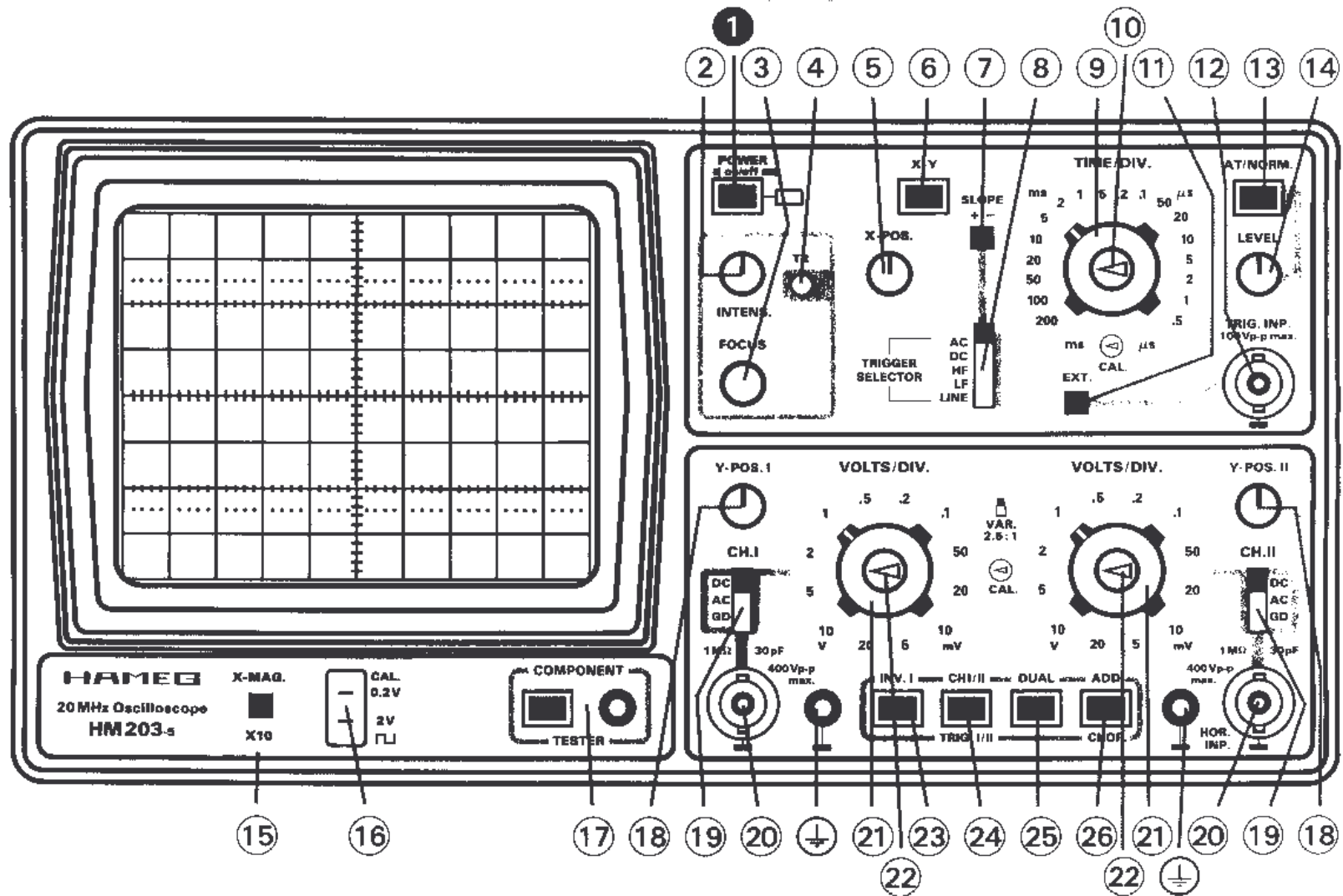
2.6 Anmerkungen

- ý Ein Oszilloskop kann nur Spannungsverläufe darstellen! Möchte man den zeitlichen Verlauf eines Stromes darstellen, so muß auf das ohmsche Gesetz $i=u/R$ zurückgegriffen werden, indem der Strom durch eine proportionale Spannung gemessen wird (über einen kleinen Meßwiderstand $R \ll 1\Omega$).
- ý Bei zwei Meßsignalen ist äußerste Vorsicht geboten, da im Oszilloskop intern beide Masse-Eingänge zusammengeführt werden, womit es zu peinlichen Kurzschlüssen kommen kann. Beide Signale müssen also immer einen gemeinsamen Bezugspunkt haben!

3 Prinzip der Braunschen Röhre



4 Frontbild des HM 203-5



4.1 Erklärung der Bedienungselemente

Element	Funktion
(1) POWER on/off (Drucktaste und LED-Anzeige)	Netzschalter; Leuchtdiode zeigt den Betriebszustand an.
(2) INTENS. (Drehknopf)	Heiligkeitseinstellung für den Kathodenstrahl.
(3) FOCUS (Drehknopf)	Schärfteeinstellung für den Kathodenstrahl. (Muß bei veränderter Helligkeitseinstellung nachgestellt werden).
(4) TR Trimpotentiometer (Einstellung mit Schraubenzieher)	Trace Rotation (Strahldrehung). Dient zur Kompensation des Erdmagnetfeldes. Der horizontale Strahl wird damit waagrecht gestellt.
(5) X-POS. (Drehknopf)	Zur Strahlverschiebung in horizontaler Richtung.
(6) X-Y (Drucktaste)	XY-Betrieb. Bei gedrückter Taste X-Y wird die interne Zeitablenkung abgeschaltet. Die externe Horizontalablenkung erfolgt über CH II-Eingang.
<u>Achtung! Bei fehlender Zeitablenkung Einbrenn Gefahr.</u>	
(7) SLOPE +/- (Drucktaste)	Signaldarstellung beginnt mit steigender Flanke (Taste nicht gedrückt) oder mit fallender Flanke (Taste gedrückt).
(8) TRIG. AC-DC-HF-LF-LINE (Schiebeschalter)	Wahl der Triggerankopplung: AC und DC bis 10Mhz, HF oberhalb 10 MHz, LF unterhalb 1kHz. LINE für Triggerung mit Netzfrequenz.
(9) TIME/DIV. (18-stufiger Drehschalter)	Bestimmt Zeitkoeffizienten (Zeitablenkgeschwindigkeit) der Zeitbasis von 0.5m s/cm bis 200ms/cm.
(10) Variable Zeitbasiseinstellung (Drehknopf)	Zur Feineinstellung der Zeitbasis. Erhöht Zeitablenkgeschwindigkeit um den Faktor 2,5 (Rechtsanschlag). Für Zeitmessungen auf CAL. (Linksanschlag) stellen.
(11) EXT. (Drucktaste)	Triggerung über externes Signal. Signalzuführung über Buchse TRIG. INP. (12)
(12) TRIG. INP. (BNC-Buchse)	Eingang für externes Triggersignal. Taste (11) gedrückt.
(13) AT/NORM. (Drucktaste)	Automatische Triggerung (Taste nicht gedrückt) oder Normal-Triggerung (Taste gedrückt).
(14) LEVEL (Drehknopf)	Einstellen des Triggerpunktes bei gedrückter Taste AT/NORM.
(15) X-MAG. X10 (Drucktaste)	Dehnung der X-Achse um den Faktor 10. Max. Auflösung = 50 ns/cm.
(16) CALIBRATOR 0.2V-2V	Calibrator-Rechteckausgang, 0.2 V _{pp} bzw. 2V _{pp}
(17) COMPONENT TESTER (Drucktaste und 4mm-Buchse)	Bei gedrückter Taste arbeitet das Gerät als Komponententester. Das zu prüfende Bauteil wird an die Testbuchse und eine Massebuchse angeschlossen.
(18) Y-POS.I, Y-POS.II (Drehknöpfe)	Einstellung der vertikalen Position des Strahles für Kanal I und II.

(19) 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.
(20) CH. I, CH. II (BNC-Buchsen und separate Massebuchsen)	Signaleingänge - Kanal I (links) bzw. Kanal II oder horizontaler X-Eingang (rechts). Eingangsimpedanz: $1M\Omega 30pF$.
(21) 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).
(22) 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).
(23) INV. I (Drucktaste)	Bei gedrückter Taste wird die Polarität von Kanal I umgedreht. (in Verbindung mit ADD-Taste (26) = Differenzdarstellung).
(24) CH I/II-TRIG. I/II (Drucktaste)	Einkanalbetrieb (Taste DUAL nicht gedrückt): - Taste nicht gedrückt = Darstellung von Kanal I. - Taste gedrückt = Darstellung von Kanal II. - Gleichzeitig Umschaltung der internen Triggerung.
(25) DUAL (Drucktaste)	Bestimmt die Betriebsart EINKANAL (Taste nicht gedrückt) oder ZWEIKANAL (Taste gedrückt).
(26) 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 Kanalschaltung. CHOP. und DUAL gedrückt: Chopper-Kanalschaltung.
Einstellung unterhalb des Gerätes:	
(27) DC-Balance (Trimpotentiometer)	Zur Korrektur der DC-Balance. Einstellung mit Schraubenzieher.