

PROTOKOLL ZUM ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK

Elektronenstrahl-Oszilloskop, Digital-Speicher-Oszilloskop und Funktionsgenerator

-Teil 1-

(ex-)Gruppe 1
Sebastian Wilken

Versuchsdurchführung:
26. Oktober 2005

1. Einleitung

Das Oszilloskop gehört zu den wichtigsten Messinstrumenten in der Experimentalphysik. Mit Hilfe des Oszilloskopes lassen sich alle Messwerte, die in eine Spannung umgewandelt werden können, als Funktion der Zeit oder einer weiteren Spannung graphisch anzeigen.

Für den Physiker ist es imminent wichtig, die Funktionsweise des Oszilloskops genau zu kennen und zu beherrschen, da in der Experimentalphysik allerhand Messungen mit ihm realisiert werden. Im weiteren Verlauf des Anfängerpraktikums werden wir zudem mehrere Male mit dem Oszilloskop arbeiten. Daher ist es sinnvoll, sich zu Beginn des Praktikums intensiv mit dem Oszilloskop zu befassen.

Anmerkung: Für die Versuche mit dem Oszilloskop stehen zwei Praktikumstermine zur Verfügung, über die jeweils ein Protokoll angefertigt wird.

2. Theoretischer Teil

Man unterscheidet heute grundsätzlich zwischen zwei Arten von Oszilloskopen: Dem **Elektronenstrahl-Oszilloskop** und dem **Digital-Speicher-Oszilloskop**. Im Anfängerpraktikum wird mit beiden Arten gearbeitet. Im Theorieteil des Protokolls werden die wichtigsten Bedienelemente der Oszilloskope vorgestellt.

2.1. Elektronenstrahl-Oszilloskop

Das Prinzip des Elektronenstrahl-Oszilloskops ähnelt der von Fernsehgeräten bekannten Braun'schen Röhre. Die wichtigsten Bauteile des Oszilloskops sind eine Kathode und eine Anode: Die Kathode wird von einer Heizwendel stark erhitzt, so dass es zu einer Emission von Elektronen kommt. Diese werden durch eine positive Hochspannung in Richtung der Anode beschleunigt. Die Anode verfügt im Zentrum über ein kleines Loch, durch das ein Elektronenstrahl hindurch auf den Leuchtschirm des Oszilloskops gelenkt wird. Dort regt er Phosphor zur Fluoreszenz an und erzeugt somit das für den Experimentator beobachtbare Bild (siehe Abb. 1).

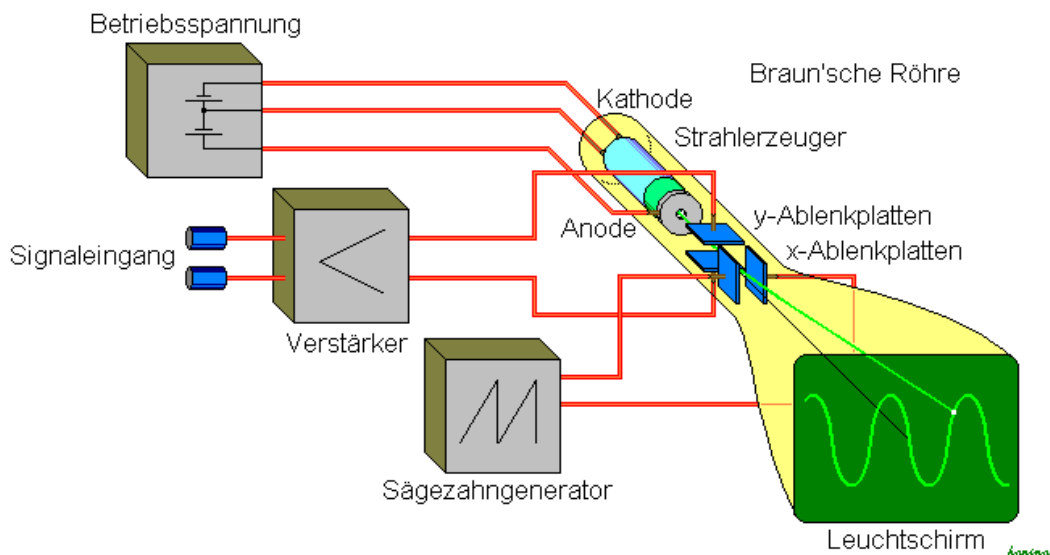


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Elektronenstrahl-Oszilloskops

Zwischen der Kathode und der Anode befinden sich eine Fokussiereinheit und ein Wehnelt-Zylinder. Damit lässt sich die Größe und die Intensität des Leuchtpunktes

variieren. Am Wehnelt-Zylinder liegt eine negative Spannung an, welche die negativ geladenen Elektronen aus der Kathode abstößt. Der Wehnelt-Zylinder lässt nur solche Elektronen hindurch, deren kinetische Energie höher ist, als die elektrische Energie der Spannung am Wehnelt-Zylinder. Je höher die Spannung am Wehnelt-Zylinder ist, desto weniger Elektronen werden hindurchgelassen. Hätten alle von der Kathode emittierten Elektronen die selbe kinetische Energie, würden entweder alle oder keine Elektronen hindurchgelassen. Da man die Intensität mit Hilfe des Wehnelt-Zylinders aber stufenlos einstellen kann, müssen die Elektronen mit verschiedenen kinetischen Energien von der Kathode emittiert werden. Die Häufigkeitsverteilung der kinetischen Energien und damit die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen dürfte statistisch verteilt sein und somit einer Gauß'schen Normalverteilung ähneln (vgl. Frage 1).

Zwischen der Anode und Leuchtschirm befinden sich die so genannten X- und Y-Ablenkplatten. Diese Ablenkeinrichtung ist für die Erzeugung des zu beobachtenden Bildes verantwortlich, indem sie den Elektronenstrahl durch ein elektrisches Feld horizontal und vertikal ablenkt und somit das Bild auf den Leuchtschirm zeichnet.

Im Anfängerpraktikum verwenden wir 2-Kanal-Oszilloskope, an die zwei verschiedene Signale angeschlossen werden können. Im so genannten XY-Betrieb können wir das Signal vom ersten Eingang (CH1 oder X) und das Signal vom zweiten Eingang (CH2 oder Y) als Funktion $Y(X)$ gegeneinander auftragen. Die Signale aus beiden Eingängen werden verstärkt und direkt an die X- und Y-Ablenkplatten weitergeleitet. Im XT-Betrieb hingegen wird ein Signal verstärkt und an die Y-Ablenkplatte weitergegeben. Für das zweite Signal erzeugt der Kipp- oder Sägezahn-generator eine Sägezahnspannung, welche an die X-Ablenkplatte weitergegeben wird und somit eine Darstellung des Signals Y in Abhängigkeit der Zeit möglich macht. Mit Hilfe des Drehschalters SEC/DIV kann bestimmt werden, wie lange der Elektronenstrahl braucht, um eine bestimmte Strecke auf Oszilloskopschirm abzufahren. Während der Zeitperiode t_d (vgl. Abb. 5, S. 25 in [1]) lässt die Sägezahnspannung den Elektronenstrahl gleichmäßig von links nach rechts

über den Bildschirm laufen. Die Zeit t_d lässt sich mit Hilfe des SEC/DIV-Schalters variieren (vgl. Frage 3). Während der möglichst kurzen Periode t_r wird der Strahl wieder an den linken Bildrand zurückgesetzt. Während des Zurücksetzens möchte man es möglichst verhindern, dass der Elektronenstrahl auf den Leuchtschirm auftrifft, da es das zu beobachtende Bild verfälschen würde. Daher erhöht man zu dieser Zeit t_r die Spannung am Wehnelt-Zylinder so, dass keine Elektronen mehr durchgelassen werden (vgl. Frage 4).

Für die Signaleingänge hat man die Möglichkeit, zwischen den Modi AC, DC und GND zu wählen. Bei der Einstellung DC wird das Eingangssignal direkt an den Verstärker weitergegeben. In der Stellung AC hingegen wird nur der Wechselspannungsanteil verwendet. Die Einstellung GND legt das Eingangssignal auf das Massepotenzial.

Mit dem Schalter VOLTS/DIV kann man den Verstärkungsfaktor für das Eingangssignal variieren. Je größer man den Faktor wählt, desto höher sind die vertikalen Ausschläge im Oszilloskopbild. Um die horizontale und vertikale Lage des Oszilloskopbildes zu verändern, benutzt man die Bedieneinheit POSITION. Dabei werden an den X- und Y-Ablenkplatten konstante Spannungen in der gewünschten Größe hinzuaddiert (vgl. Frage 2.).

Mit den von uns eingesetzten Oszilloskopen lassen sich zwei Signale scheinbar gleichzeitig darstellen. Da wir aber nur einen Elektronenstrahl zur Verfügung haben, müssen die beiden Signalverläufe entweder nacheinander oder abwechselnd dargestellt werden: Im ALT-Betrieb stellt der Elektronenstrahl beim ersten Durchlauf das eine Signal dar, im zweiten den anderen und so fort. Bei kleinen Zeiten t_d hat der Beobachter den Eindruck, beide Signalverläufe gleichzeitig zu sehen. Im CHOP-Betrieb springt der Elektronenstrahl ständig zwischen beiden Signalen hin- und her.

Um ein stehendes und gleichmäßiges Bild einer periodischen Spannung zu erhalten, muss die Sägezahnspannung des Kippgenerators mit der Eingangsspannung

synchronisiert werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als Triggerung. Durch den Trigger wird der Elektronenstrahl nach einem Durchlauf von links nach rechts und dem Zurücksetzen so lange am linken Bildrand festgehalten, bis das Eingangssignal einen bestimmten Schwellenwert erreicht. Diesen Wert kann man mit Hilfe des TRIGGER LEVELs einstellen. Mit der Einstellung SLOPE kann man das Vorzeichen des Schwellenwertes festlegen.. Ohne die Triggerung würden sich periodische Signale überlagern und das Bild würde unbrauchbar. Im Beispiel zu Frage 5 sähe das Oszilloskopbild zum Beispiel wie folgt aus:

Die Triggerung kann in verschiedenen Modi geschehen: In der Einstellung NORM kann man mit einem Kippschalter den Kanal auswählen, auf den getriggert werden soll. Dies kann ein Eingangssignal sein (CH1 oder CH2), die Netzspannung (LINE) oder ein externes Signal (EXT). Im AUTO-Modus wird für gewöhnlich automatisch auf einem Eingangssignal getriggert. Für die Beispiele aus Frage 6 bedeutet dies:

- (a) Es wird auf der Netzspannung (LINE) getriggert. Durch die „+“-Einstellung bei SLOPE wird die Triggerung bei einer positiven Steigung des Signals ausgelöst.
- (b) Es wird auf ein externes Signal (EXT) getriggert. Die Triggerung löst bei einer negativen Steigung des Signals aus (SLOPE).
- (c) Es wird auf das CH1-Eingangssignal getriggert. Die Triggerung löst bei einer positiven Steigung des Signals aus (SLOPE).

Abschließende Beispiele für die Arbeit mit dem Elektronenstrahl-Oszilloskop (vgl. Frage 7 und Frage 8):

Zwei sinusförmige Spannungsverläufe $Y_1(t)$ und $Y_2(t)$ sind gleichzeitig auf dem Oszilloskopschirm zu sehen. Das Oszilloskop arbeitet somit im Betriebsmodus CHOP. Um die Frequenzen, Kreisfrequenzen und Periodendauern der Signale zu ermitteln, muss man mit Hilfe der Bedienelemente SEC/DIV und TRIGGER ein deutliches und gut abzulesendes Bild erzeugen. Die Periodendauern T lassen sich an den Gitternetzlinien des Oszilloskopschirms ablesen (horizontale Achse). Gegebenenfalls müssen die abgelesenen Werte noch mit der eingestellten Zeiteinheit verrechnet werden (SEC/DIV). Die Frequenzen ν lassen sich mit der Formel $1/T$ bestimmen. Für die Kreisfrequenzen ω verwendet man die Formel $\omega = 2\pi \cdot \nu$. Ebenso lassen sich die Amplituden U_0 aus dem Oszilloskopbild ablesen (vertikale Achse).

Sollten beide Signale $Y_1(t)$ und $Y_2(t)$ die selbe Frequenz haben, jedoch phasenverschoben sein, lässt sich der Betrag der Phasenverschiebung nach der Formel $\phi = 360^\circ \cdot x / l$ berechnen. Die Variable x bezeichnet den horizontalen Abstand der beiden Funktionen voneinander. Dieser kann z.B. an der X-Achse abgelesen werden. Die Variable l steht für die Periodenlänge der Signale.

2.2. Digital-Speicher-Oszilloskop

In der Experimentalphysik kommt es oft vor, dass einmalige Signale gemessen werden sollen. Diese können mit einem Elektronenstrahl-Oszilloskop nicht beobachtet werden, da dieser die Signale „live“ anzeigt und diese nicht speichern kann. Deshalb verwendet man in diesem Fall ein Digital-Speicher-Oszilloskop. Ein Digital-Speicher-Oszilloskop verfügt über einen A/D-Wandler, welcher die analogen Spannungssignale am Signaleingang digitalisiert. Diese Umwandlung geschieht periodisch an so genannten Abtastpunkten. Je näher diese Abtastpunkte aneinander liegen, desto genauer arbeitet ein Digital-Speicher-Oszilloskop.

Die Arbeit mit einem Digital-Speicher-Oszilloskop gestaltet sich bequemer als mit einem Elektronenstrahl-Oszilloskop, da es über ein computergesteuertes On-Screen-Display besitzt. Zudem ist ein Digital-Speicher-Oszilloskop in der Lage, bestimmte Berechnungen im Zusammenhang mit den gemessenen Signalen durchzuführen. Die Bedienung der Grundfunktionen (SEC/DIV, VOLTS/DIV, POSITION, TRIGGER, etc.) ist dem Elektronenstrahl-Oszilloskop sehr ähnlich.

3. Praktischer Teil

Im Praktischen Teil werden die durchgeführten Versuche beschrieben und ausgewertet. Für die Versuche wurde das Oszilloskop TEKTRONIX 2213A und der Funktionsgenerator TOELLNER 7401 eingesetzt.

3.1.1. Erzeugung eines Leuchtpunktes

Für die Erzeugung eines Leuchtpunktes auf dem Oszilloskopschirm schaltet man in den XY-Betrieb. Dies wird über den Drehschalter SEC/DIV realisiert. Dadurch wird die Zeitbasis ausgeschaltet und das Oszilloskop stellt die Funktion der beiden Eingangssignale CH1 und CH2 dar. Da wir aber kein Eingangssignal angeschlossen haben, wird der Elektronenstrahl in der Oszilloskopröhre ohne Ablenkung auf den Schirm geworfen und erzeugt einen Punkt. Die horizontale und vertikale Lage des Punktes lässt sich über die Bedieneinheit POSITION stufenlos einstellen.

3.1.2. Erzeugung eines horizontalen Striches

Um einen horizontalen Strich auf den Oszilloskopschirm zu erzeugen, schalten wir in den XT-Betrieb. Die Zeitbasis wird dadurch wieder eingestellt. Nun schalten wir den TRIGGER in den AUTO-Modus, wodurch der Kippgenerator eine Sägezahnspannung erzeugt, welche an die X-Ablenkeinheit des Oszilloskops geleitet wird. Dadurch wandert der Elektronenstrahl von links nach rechts über den Bildschirm. Bei einer SEC/DIV-Einstellung von weniger als 0,5 ms wandert der Strahl so schnell über den Bildschirm, dass das menschliche Auge dies als durchgehenden Strich wahrnimmt.

3.1.3. Erzeugung eines vertikalen Striches

Für die Erzeugung eines vertikalen Striches schalten wir wieder in den XY-Betrieb. An Kanal 2 (CH 2) des Oszilloskops schließen wir einen Funktionsgenerator an. Bei VERTICAL-MODE wählen wir die Einstellung CH 2. Um einen gleichmäßig hellen Strich zu erhalten, wählen wir am Funktionsgenerator eine Dreiecksspannung. Bei einer Rechteckspannung würde sich der Elektronenstrahl nur an den Maxima und

Minima des Signals aufhalten, nicht aber an Zwischenwerten. Daher würden nur zwei untereinander angeordnete Punkte auf dem Oszilloskopschirm entstehen. Bei einer Sinusspannung wäre zwar ein vertikaler Strich zu sehen, dieser wäre aber an den Enden heller als in der Mitte, da die Sinusfunktion an den Maxima und Minima abflacht und der Elektronenstrahl sich somit länger an den Enden des Striches aufhält als in der Mitte. Die Länge des Striches lässt sich am Oszilloskop mit dem Bedienelement VOLTS/DIV verändern. Mit dem VOLTS/DIV-Schalter bestimmt man, wie stark das Eingangssignal verstärkt werden soll. Je höher die Verstärkung, desto größer ist der vertikale Ausschlag der angezeigten Funktion. Die Lage des Striches können wir mit den POSITION-Schaltern variieren.

3.1.4. Funktionen des Triggers

3.1.4.1. Trigger-Level und Flanke

Für diesen Versuch erzeugen wir mit Hilfe des Funktionsgenerators ein Sinussignal mit Grundlinie. Den Funktionsgenerator schließen wir am CH 2 des Oszilloskops an und wählen eine Frequenz von 2 kHz (einzustellen über FREQUENCY RANGE = 1 kHz und FREQUENCY = 2). Am Oszilloskop wählen wir den XT-Betrieb und stellen den Kanal-Eingangsschalter und den Schalter für die Triggerkopplung auf AC. Den TRIGGER stellen wir auf INT und CH2 ein. Mit Hilfe der POSITION-Schalter können wir nun das Sinussignal genau auf der Grundlinie ausrichten.

Um nun die Funktionswerte der Sinusfunktion zu verschiedenen Argumenten ablesen zu können, wählen wir mit dem Schalter VOLTS/DIV eine sinnvolle Längeneinheit. In diesem Fall soll die Amplitude 1 V betragen, also wird der Schalter auf 1x gestellt. Mit Hilfe der Funktionen TRIGGER-LEVEL und CHOP lässt sich ein kompletter Funktionsdurchlauf von 0° bis 360° betrachten. Durch Ablesen an der Y-Achse ergaben sich folgende Messwerte:

Phasenwinkel	Gemessener Funktionswert	Theoretischer Wert
0°	~ 0	0
45°	~ 0,6	0,71
90°	~ 1	1
135°	~ 0,5	0,71
180°	~ -0,1	0
225°	~ -0,75	-0,71
270°	~ -0,9	-1

Tab. 1: Gemessene und theoretische Funktionswerte einer Sinusfunktion

Im vorliegenden Oszilloskopbild liegen zwei Signale im gechoppten Modus vor (Sinusfunktion und Grundlinie). Um dies zu verdeutlichen, wird die Signalfrequenz auf 200 kHz reduziert. Mit Hilfe des SEC/DIV-Reglers wählen wir ein so kleine Zeiteinheit, dass nur noch wenige Wechsel zwischen beiden Funktionen auf dem Oszilloskopschirm zu beobachten sind. Nun können wir anhand der Zeitbasis sehen, dass ca. alle 1,8 μs zwischen beiden Signalen hin- und hergeschaltet wird. Dies entspricht ungefähr einer Frequenz von:

$$(1,8 \mu\text{s})^{-1} = (0,0000018 \text{ s})^{-1} = 555555,55 \text{ Hz} = 555,55 \text{ kHz}$$

3.1.4.2. Trigger-Kopplung

Wir schalten nun den Signal-Eingangsschalter auf DC und den DC-OFFSET am Funktionsgenerator auf ON. Der DC-OFFSET bewirkt, dass zum Signal positive und negative Gleichspannungsanteile hinzuaddiert werden. Bei einer Variation des DC-OFFSET-REGLERS am Funktionsgenerator verschiebt sich das Bild auf dem Oszilloskopschirm in diagonaler Richtung. Wenn wir den Signal-Eingangsschalter am Oszilloskop jedoch auf AC stellen, können wir durch Variation des DC-OFFSET keine Verschiebung des Signals auf dem Schirm mehr erzeugen. Das liegt daran, dass das Oszilloskop im AC-Modus die Gleichspannungsanteile der Eingangsspannung herausfiltert. Steht der Schalter für die TRIGGER-Kopplung auf DC und der Signal-Eingangsschalter auf AC, lässt sich das Signal auf dem Oszilloskopschirm in vertikaler Richtung verschieben.

4. Anhang

4.1. Quellen

- [1] Skript zum Anfängerpraktikum Physik I, CvO Universität Oldenburg, Institut für Physik, Oktober 2005
- [2] dtv-Atlas Physik, Band 1, Deutscher Taschenbuch Verlag, 7. Auflage, August 2004
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop>
- [4] http://pen.physik.uni-kl.de/medien/oscillo/html/osc_virt.html

4.2. Abbildungsverzeichnis

- [Abb. 1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Oszilloskopschema.PNG>
GNU Lizenz für freie Dokumentation