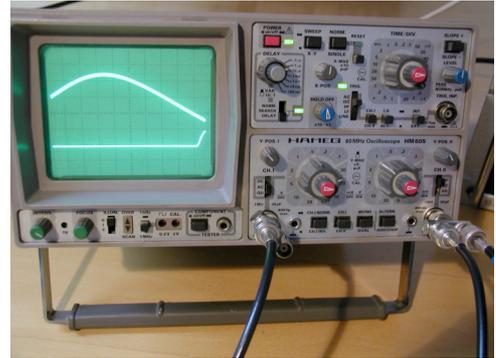


Der Kathodenstrahl-Oszillograph

Der Oszillograph besteht aus einer geschlossenen Vakuum-Glasröhre, und viel Elektronik. Das Gerät soll zeitlich schnelle Vorgänge sichtbar machen, die auf keine andere Art sichtbar gemacht werden können. Es ist ein schnelles Voltmeter. Mit dem Gerät ist es möglich, Spannungen in ihrer Zeitabhängigkeit sichtbar zu machen und dabei Amplitude und Periode einer Wechselspannung zu messen. Im **y-t** Schreiber wird die Spannung als Funktion der Zeit angezeigt.



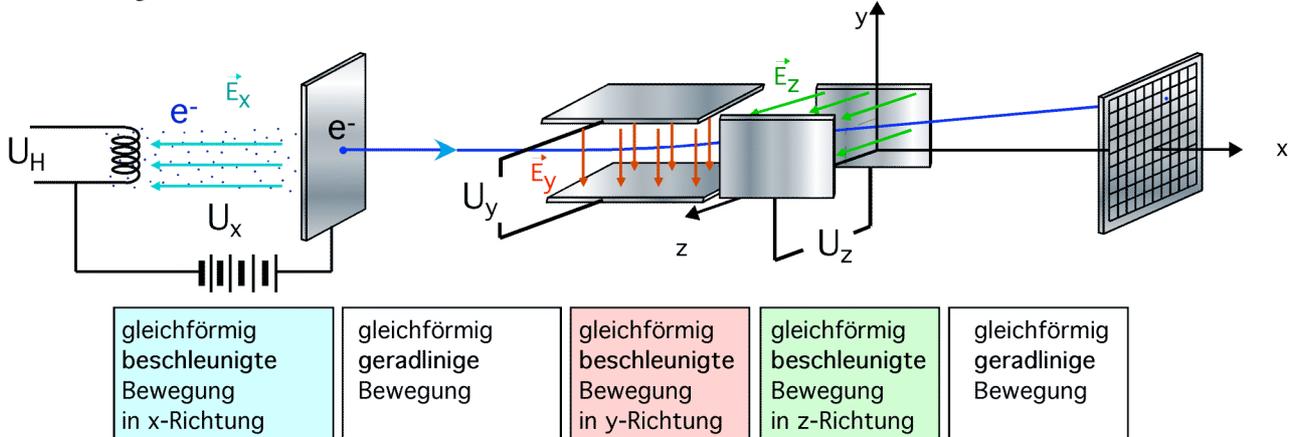
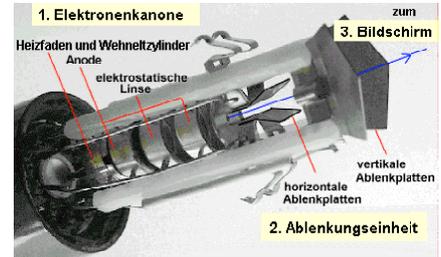
Der Oszillograph kann auch eine Spannung als Funktion einer zweiten Spannung darstellen: Diese Betriebsart wird **X-Y-Betrieb** genannt und erlaubt die Darstellung der Lissajous-Figuren.

Der Oszillograph besteht aus drei Teilen: Der Elektronenkanone, der Ablenkungseinheit und dem Bildschirm.

Die Elektronenkanone ist wohl die wichtigste Einheit. In der glühend heißen Elektrode werden Elektronen ins Vakuum freigesetzt. Sie werden im Wehneltzylinder bis zur Anode beschleunigt. Zwischen je zwei paaren von Platten können die Elektronen vertikal und horizontal beschleunigt werden. Wird eine Spannung an den Platten angelegt, dann erfahren die Elektronen durch das entstandene elektrische Feld eine Beschleunigung. Wir betrachten zunächst eine Elektronenröhre ohne Ablenkung der Elektronen in y und z-Richtung. Im zweiten Fall betrachten wir den Oszillographen mit horizontaler und vertikaler Ablenkung.

1. Die Entstehung des Elektronenstrahls ohne horizontale und vertikale Ablenkung der Elektronen

Im ersten Teil der Elektronenröhre, der so genannten Elektronenkanone, werden die Elektronen durch die Heizspannung U_H aus einem glühenden Draht herausgelöst. Die Elektronen werden dann durch die Spannung U_x bis zur vertikalen Metallplatte beschleunigt. Nur ein Teil der Elektronen tritt durch die Austrittsöffnung der ersten Platte aus. Der grössere Teil der Elektronen wird von der Platte absorbiert. Der Teil der Elektronen, der die Austrittsöffnung verlässt, fliegt anschliessend geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit weiter.



Funktionsweise des Oszillographen

Die Elektronen erhalten im elektrischen Feld \vec{E}_x , das durch die Spannung U_x entstanden ist, ihre kinetische Energie.

$$E_{kin} = m_e \frac{v_e^2}{2} = e \cdot U_x = E_e \quad (1)$$

Der Weg, welcher in x-Richtung vom Elektron zurückgelegt wird, nachdem das Elektron die Öffnung der Platten passiert hat, berechnet sich aus:

$$x = v_x \cdot t \quad (2)$$

2. Der Elektronenstrahl mit vertikaler Ablenkung

Der Elektronenstrahl kann senkrecht mit Hilfe von zwei Metallplatten, den Ablenkungsplatten, an die eine Spannung U_y angelegt wird, abgelenkt werden. Der Elektronenstrahl wird in Richtung der positiven Platte beschleunigt. Die Beschleunigung in y Richtung erfolgt nur innerhalb des Bereichs der Platten. Anschliessend fliegen die Elektronen wieder geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit in die neue Richtung.

3. Der Elektronenstrahl mit vertikaler und horizontaler Ablenkung

Während die Spannung U_y im Labor jeweils das zu messende Signal darstellt, wird die horizontale Ablenkspannung U_z meist intern erzeugt. Eine Ausnahme bildet das Messen von Lissajous-Figuren. Die Figur rechts zeigt die Ablenkspannung U_z als Funktion der Zeit. Sie ist so eingestellt, dass der Elektronenstrahl von links nach rechts mit konstanter Geschwindigkeit über den Bildschirm läuft (1, 3 oder 4, 6). Mit einem schnellen Übergang der Ablenkspannung (3, 4) wird der Punkt für das Auge unsichtbar wieder an die linke Ausgangsposition auf dem Bildschirm gebracht und das Spiel beginnt von neuem mit der langsamen, der Zeit proportionalen Ablenkung. Die folgenden Oszillographenbilder zeigen eine Auswahl von Messspannungen U_y als Funktion der Zeit.

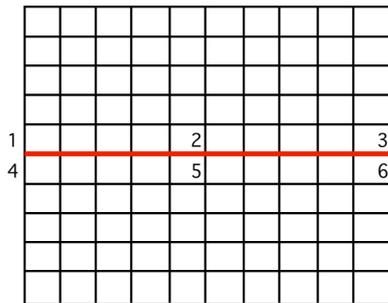
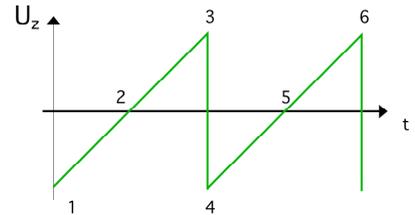


Bild für: $U_y = 0 \wedge \forall t$

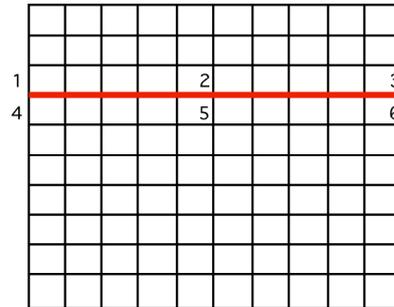


Bild für $U_y = 2.0 \text{ V} \neq 0 \wedge \forall t$

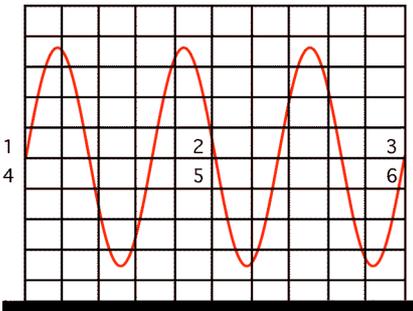


Bild für: $U_y = U_o \cdot \sin(\omega \cdot t)$



Bild für ein beliebiges nicht periodisches Signal

Das elektrische Feld bewirkt, dass eine Kraft auf die Ladung des Elektrons in Richtung der y Achse wirkt.

$$F_y = m \cdot a_y = e \cdot E_y = e \cdot \frac{U_y}{d} \quad (3)$$

wobei d den Plattenabstand des Kondensators bezeichnet.

Wie wird der Elektronenstrahl in y-Richtung als Funktion von x abgelenkt ?

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} a_y \cdot \frac{x^2}{v_x^2} \quad (1) \Rightarrow v_x^2 = \frac{2e}{m_e} \cdot U_x \quad (3) \Rightarrow a_y = \frac{e \cdot U_y}{m_e \cdot d}$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{e \cdot U_y}{m_e \cdot d} \cdot \frac{m_e}{2 \cdot e \cdot U_x} x^2 = \frac{1}{4 \cdot d} \frac{U_y}{U_x} x^2 ; \quad c_{th} = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_y}{U_x} \quad c_{th} = 0,023 / \text{cm}$$

Wie lautet die Gleichung der Tangente an die Kurve an der Stelle $x = l$?

$$t : \quad y = m_t \cdot x + b_t \wedge m_t = f'(x=l) = 2c_{th} \cdot l \wedge y = f(l) = c_{th} \cdot l^2$$

$$\Rightarrow t : \quad \underline{\underline{y = (2c_{th} \cdot l)x - c_{th} \cdot l^2}}$$

Welchen Winkel bildet der Elektronenstrahl bezüglich der x-Achse nach der vertikalen Ablenkung? Die Nullstelle der Tangente ist an der Stelle $x_N = \frac{l}{2}$.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y(l)}{\frac{l}{2}}\right) = \arctan(2 c_{th} \cdot l)$$

