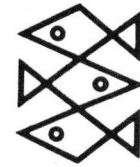


John

Stempelo.

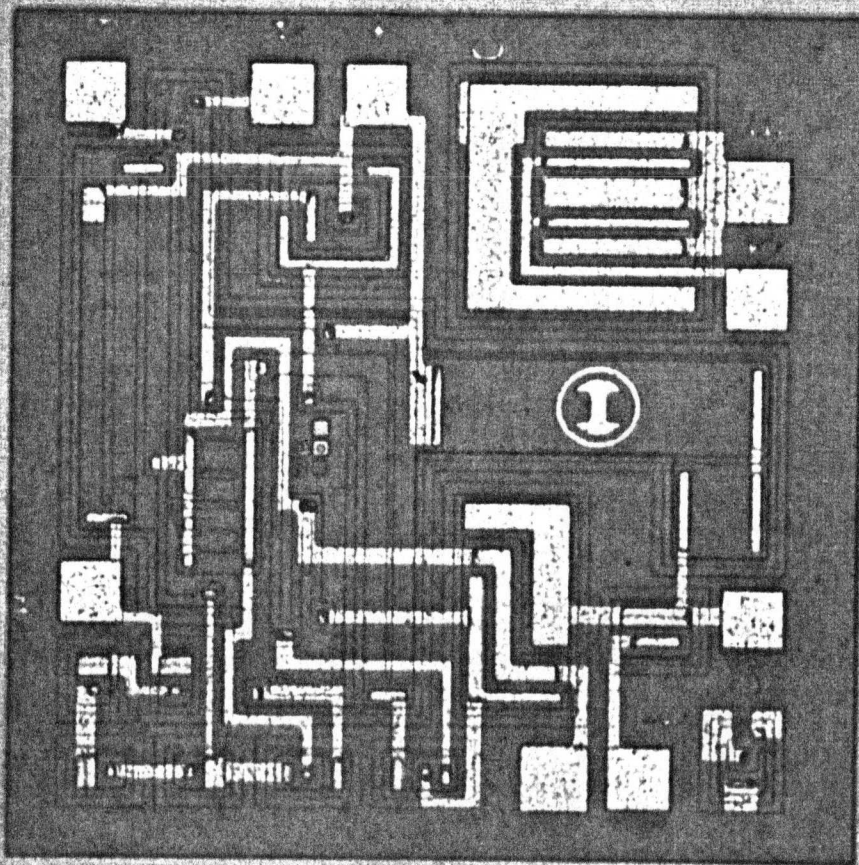
u

Bücher des Wissens



# Einführung in die Elektronik

Herausgegeben von Jean Pütz



### 3. Der Elektronenstrahl-Oszillograph

#### Unsichtbares wird sichtbar

Die Vorgänge in elektronischen Schaltungen sind dem direkten Einblick durch den Menschen entzogen. Es hat sehr lange gedauert, bis es den Wissenschaftlern gelang, die Gesetzmäßigkeiten der Elektrizität systematisch zu erfassen und zu beherrschen.

Die Voraussetzung zur Beherrschung der Elektrizität war, daß das prinzipiell Unsichtbare sichtbar gemacht wurde. Zu diesem Zweck entwickelte man elektrische und elektronische Meßinstrumente, in denen die bekannten Wirkungen der ruhenden oder der bewegten elektrischen Ladungen ausgenutzt werden.

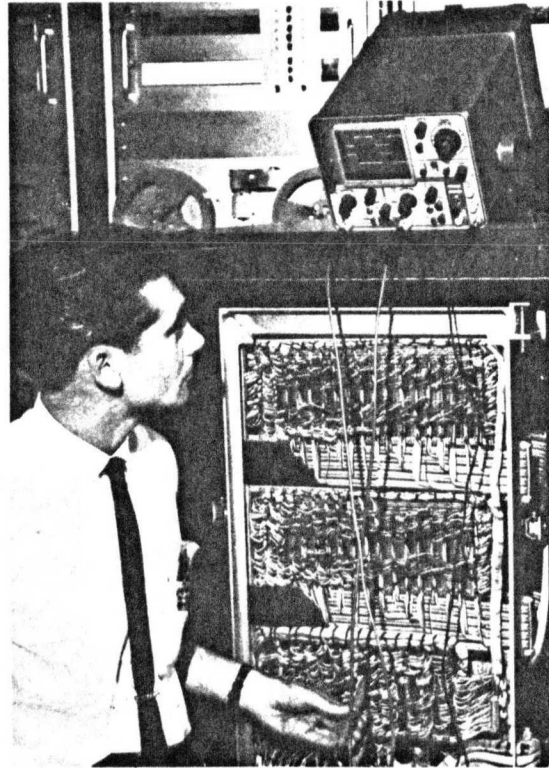


Abb. 1

Im Laufe der Zeit wurden für die verschiedensten Anwendungsfälle sehr unterschiedliche Meßinstrumente konstruiert. So findet man im Meßgerätepark eines Elektroniklabors neben den relativ einfachen Vielfachmeßinstrumenten hochwertige und hochgezüchtete Oszillographen.

Besonders der Oszillograph ist zum unentbehrlichen Hilfsmittel des Elektroniklers geworden. Mit Oszillographen lassen sich auch schnellste Vorgänge in Elektronikschaltungen verfolgen (Abb. 1).

### Von der Trägheit elektrischer und elektronischer Meßinstrumente

Es ist bekannt, daß wir den Steckdosen unserer Hausinstallation elektrischen Wechselstrom entnehmen; einen Strom also, der im Rhythmus der Frequenz ständig seine Richtung und seine Stärke verändert.

Beim Betrieb unserer Haushaltsgeräte bemerken wir kaum etwas von diesen zeitlichen Veränderungen. Schließen wir z. B. eine Glühlampe an eine Wechselspannungsquelle an, so sehen wir wegen der Trägheit unserer Augen nichts von den Helligkeitsschwankungen in der Lampe.

Ein an die Steckdose angeschlossenes Vielfachmeßinstrument zeigt einen konstanten sogenannten *effektiven Wert* an. Die Trägheit des Meßwerks ist so groß, daß es den periodischen Vorgängen im Stromkreis nicht folgen kann (Abb. 2).

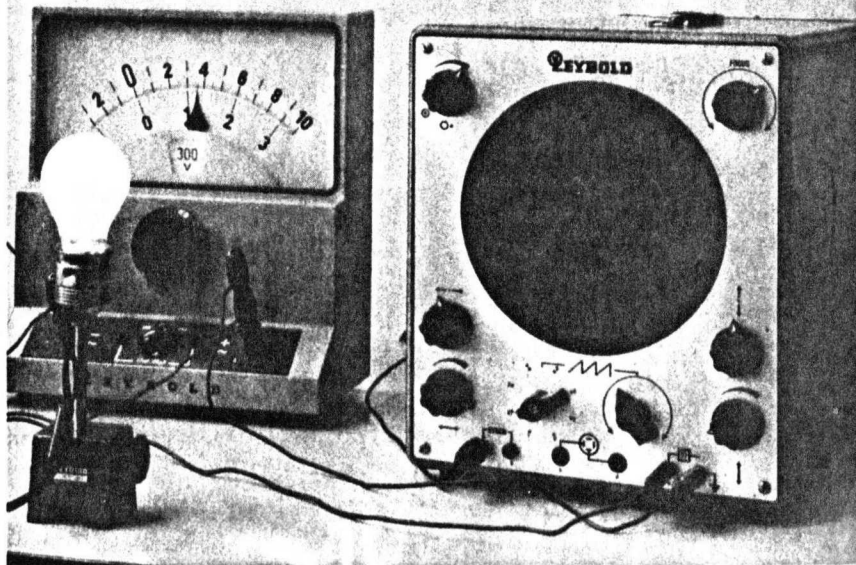


Abb. 2

Schließt man nun parallel zu dem Vielfachmeßinstrument einen Elektronenstrahl-Oszillographen an, so zeigt er uns den tatsächlichen Verlauf der elektrischen Vorgänge im Stromkreis.

Für schnelle und schnellste elektronische Vorgänge ist die Mechanik von Vielfachmeßinstrumenten zu träge. Hier helfen nur die superschnellen Elektronen eines Elektronenstrahl-Oszillographen weiter. Ein solches Gerät zeigt jede noch so geringe und schnelle Veränderung der elektrischen Vorgänge als Leuchtspur auf dem Oszillographenschirm.

### Elektronen entfliehen der Elektrode

Die Leuchtspur auf dem Oszillographenschirm wird durch Aufprall der Elektronen erzeugt. Immer dann, wenn Elektronen mit hoher Geschwindigkeit auf die Atome der Leuchtschicht auftreffen, wird ein Lichtblitz frei (Abb. 3).

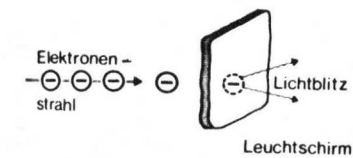


Abb. 3

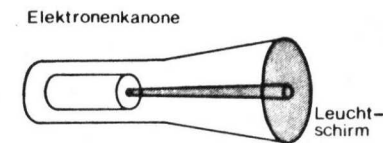


Abb. 4

Wie bringt man aber Elektronen auf eine so hohe Geschwindigkeit, daß sie beim Aufprall auf dem Leuchtschirm eine Leuchtspur erzeugen können?

Die Elektronen werden aus einer Elektronenkanone (Abb. 4) auf die Leuchtschicht gejagt. Wie eine solche Elektronenkanone aufgebaut ist und wie sie funktioniert, wollen wir nun Schritt für Schritt kennenlernen.

In *Abbildung 5* ist ein Glaskolben mit zwei Elektroden dargestellt. Wir nehmen an, daß der Glaskolben luftleer gepumpt ist, also keine Luftmoleküle mehr enthält. Beide Elektroden befinden sich zunächst auf Zimmertemperatur. Die linke Elektrode enthält einen elektrischen Heizwendel, der von der eigentlichen Elektrode elektrisch isoliert ist. Wird der Heizwendel von einem Strom durchflossen, so wird die Elektrode sehr stark erwärmt (Abb. 6).

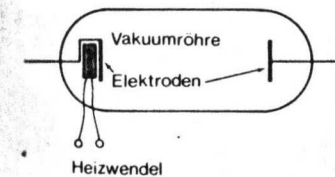


Abb. 5

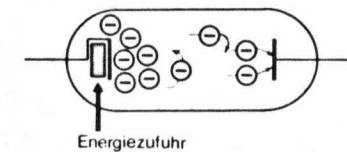


Abb. 6

Durch die Energiezufuhr geraten die Metallionen und die freien Elektronen der beheizten Elektrode in starke Schwingungen. Die thermische Bewegung der sehr leichten Elektronen wird so heftig, daß einige von ihnen den Metall-

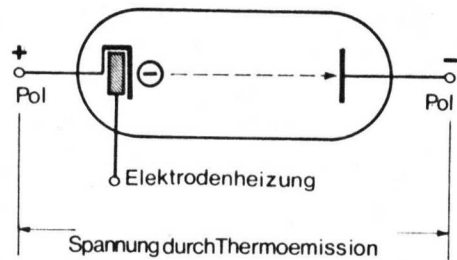


Abb. 7

verband verlassen und in das Vakuum eintreten. Dieser Vorgang des Heraus-tretens der Elektronen aus der Elektrode wird *thermische Elektronenemission* genannt.

Die herausgeschleuderten Elektronen bilden um die beheizte Elektrode eine Elektronenwolke. Vereinzelt Elektronen erreichen eine derart hohe Geschwindigkeit, daß sie bis zur gegenüberliegenden unbeheizten Elektrode hinüberfliegen und sich dort anlagern (Abb. 6).

Durch Anlagerung negativer Ladungen wird die kalte Elektrode elektrisch negativ wirksam, während die beheizte Elektrode durch den Elektronenverlust positiv wirksam wird (Abb. 7).

Als Folge der Elektronenemission ist zwischen den beiden Elektroden eine elektrische Spannung entstanden.

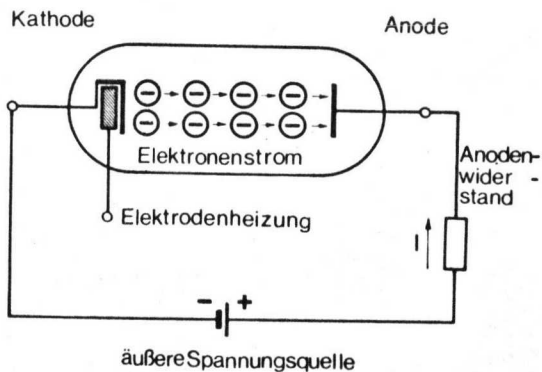


Abb. 8

### Elektronen werden beschleunigt

Technisch interessant wird die Zweielektrodenröhre dann, wenn man eine äußere Spannungsquelle aufschaltet (Abb. 8).

Wir verbinden die beheizte Elektrode mit dem negativen Pol der Spannungsquelle und die kalte Elektrode mit ihrem Pluspol. Die beheizte Elektrode, die durch das Aufschalten des Minuspols der Spannungsquelle negativ geworden ist, nennt man *Kathode*, die kalte Elektrode, die durch Verbindung mit dem Pluspol positiv wirksam ist, nennt man *Anode*. Die aus der beheizten Kathode

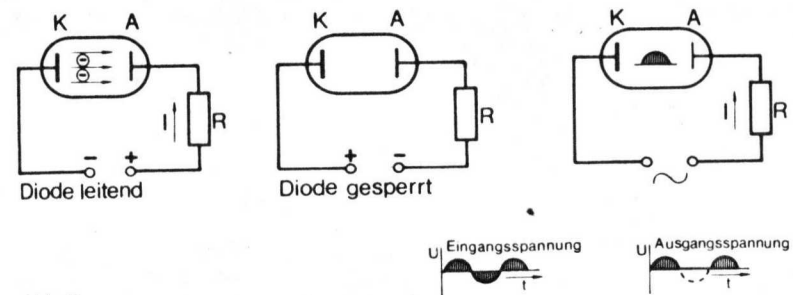


Abb. 9

emittierenden Elektronen werden von ihr abgestoßen und von der positiven Anode aufgesaugt. Über den zwischen Anode und Pluspol der Spannungsquelle liegenden Anodenwiderstand fließt ein starker Anodenstrom (Abb. 9).

Die hier gezeigte Anordnung spielte früher in der Elektronik eine bedeutende Rolle. Legt man nämlich an die Kathode den Pluspol und an die Anode den Minuspol der Spannungsquelle, so sperrt die Röhre: der Elektronenstrom wird unterdrückt. Gibt man nun eine Wechsellspannung auf die Röhre, so wird nur jede zweite Halbwelle durchgelassen. Die Zweielektrodenröhre ließ sich also bis zum Vordringen der Halbleiterdioden als Gleichrichterröhre verwenden. Wir interessieren uns hier jedoch nicht für diesen Gleichrichtereffekt, sondern für die Tatsache, daß emittierte Elektronen zum Pluspol hin beschleunigt werden.

Unsere Problemstellung ist: wir suchen einen Weg, wie man einen Elektronenstrahl erzeugen kann, der auf dem Leuchtschirm einen Lichteindruck hervorruft.

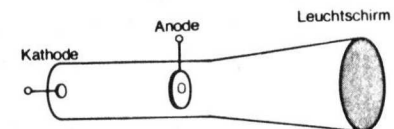


Abb. 10

In *Abbildung 10* haben wir es wieder mit einer Hochvakuum-Zweielektrodenröhre zu tun, die sich hier aber in einer abgeänderten Form vorstellt. Im linken, langen schlanken Hals der Röhre befinden sich die beiden Elektroden; auf der rechten Seite, am Abschluß des erweiterten Teils des Glaskolbens der Leuchtschirm. Die Kathode ist wiederum indirekt beheizbar. Die Anode hat zum Unterschied zur Hochvakuum-Diode in der Mitte eine Öffnung, durch die die Elektronen hindurchfliegen können (Abb. 11).

Legt man die Kathode auf den mit Masse verbundenen Minuspol und die

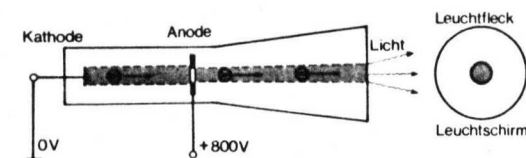


Abb. 11

Anode an den positiven Pol einer Spannungsquelle, so beträgt das Potential der Kathode 0 Volt, das der Anode in unserem Beispiel + 800 Volt gegen Masse.

Unter dem Einfluß des hohen positiven Potentials der Anode werden die aus der beheizten Kathode emittierenden Elektronen beschleunigt und zur Anode hin angezogen.

Während ein geringer Teil der beschleunigten Elektronen auf die Oberfläche der Anode trifft und von dort zur Spannungsquelle hin abfließt, wird ein größerer Teil durch die Öffnung der Anode fliegen und auf die mit einer Leuchtschicht versehene Stirnfläche der Röhre prallen, wo sie einen Leuchtfleck erzeugen.

Die Geschwindigkeit, die die Elektronen bis zum Auftreffen auf dem Schirm erhalten, ist wesentlich größer als die Geschwindigkeit der Elektronen in einem Leitungsdraht. Da die Elektronen im Vakuum nicht abgebremst werden, wird außerdem ihre Geschwindigkeit unter dem Einfluß der zwischen den Elektroden liegenden Spannung mit fortlaufender Bewegung stetig größer. Die Endgeschwindigkeit läßt sich nach der Formel

$$v = 593 \sqrt{U}$$

berechnen.

Beträgt die Spannung 1 V, so ergibt sich die Elektronengeschwindigkeit  $v = 593$  km/sec. In unserem Beispiel erzielen wir eine Elektronengeschwindigkeit von

$$v = 593 \sqrt{800} \text{ km/sec,}$$

$$v = 16\,800 \text{ km/sec.}$$

Erhöht man die Beschleunigungsspannung, so erhöht sich die Aufprallgeschwindigkeit der Elektronen ebenfalls. Je höher die Aufprallgeschwindigkeit wird, um so höher wird auch die Aufprallenergie der Elektronen.

Durch Veränderung der Beschleunigungsspannung läßt sich die Helligkeit des Leuchtflecks auf dem Oszillographenschirm beeinflussen.

### Helligkeitssteuerung durch Hilfselektrode

Die Helligkeit des Leuchtschirmflecks kann aber noch auf andere Weise beeinflusst werden.

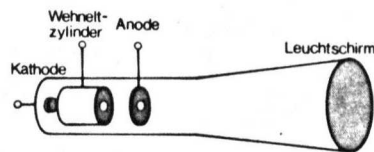


Abb. 12

Die in Abbildung 12 dargestellte Elektronenstrahlröhre besitzt drei Elektroden: die Anode, die Kathode und eine dritte, zylinderförmige Elektrode, die wegen ihrer Form und nach ihrem Erfinder *Wehneltzylinder* genannt wird.

Legt man den Wehneltzylinder auf ein gegenüber der Kathode negatives Potential (Abb. 13), so verursacht diese negativ geladene Hilfelektrode eine ab-

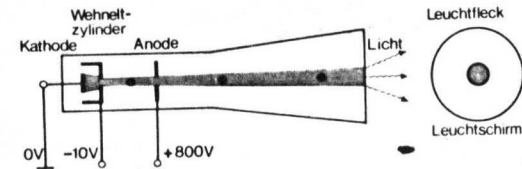


Abb. 13

stoßende Wirkung auf die zur Anode hin beschleunigten Elektronen. Ein Teil der Elektronen wird zurückgedrängt.

Durch Veränderung des negativen Potentials des Wehneltzylinders kann der Elektronenstrahl in seiner Intensität nach Belieben beeinflusst werden. Auch auf diesem Wege ist die Helligkeit des Leuchtflecks auf dem Oszillographenschirm beeinflussbar.

Bei Erreichen des sogenannten Sperrpotentials (Abb. 14), das bei den gebräuchlichen Strahlröhren zwischen -30 V und -100 V gegenüber der Kathode liegt, wird der Elektronenstrahl völlig unterdrückt. Diese *Strahlunterdrückung* wird beim Betrieb von Elektronenstrahl-Oszillographen dann nötig, wenn unerwünschte Leuchtschirmflecken auf dem Schirm vermieden werden sollen.

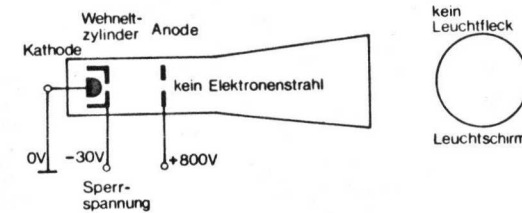


Abb. 14

### Wie man den Elektronenstrahl bündelt

Der mit der Dreielektrodenkanone erzeugte Leuchtfleck erfüllt nicht die Forderung der Praktiker nach guter Punktabbildungsschärfe. Der Elektronenstrahl ist nicht gebündelt; er erzeugt deshalb einen relativ großen, unscharfen Leuchtfleck. Das Oszillographenbild soll jedoch hell und sehr konturenscharf sein. Um dies zu erreichen, muß der Elektronenstrahl gebündelt werden.

Zur Bündelung des Elektronenstrahls fügt man eine weitere zylinderförmige Hilfelektrode zwischen Wehneltzylinder und Anode. Diese zweite Hilfelektrode wird mit einem positiven Potential beschaltet, das jedoch deutlich unter dem der Anode liegt (Abb. 15).

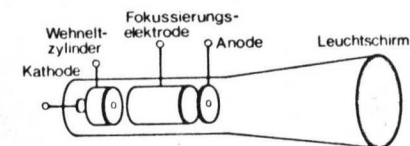


Abb. 15

Die positive Hilfelektrode, auch *Fokussierungselektrode* genannt, bildet in Verbindung mit der Anode ein System, das dem einer optischen Sammellinse

ähnlich ist. Im gemeinsamen elektrischen Feld beider Elektroden werden die Elektronen gebündelt. Dieser gebündelte Elektronenstrahl erzeugt auf dem Leuchtschirm einen scharfen Leuchtpunkt. Der Leuchtfleck kann in gleicher Weise scharf eingestellt werden, wie z. B. der zu fotografierende Gegenstand auf der Mattscheibe einer Spiegelreflexkamera (Abb. 16). Zu diesem Zweck verändert man die Spannung an der Fokussierelektrode und somit den konzentrierenden Einfluß der Elektronen-Optik auf den Elektronenstrahl.

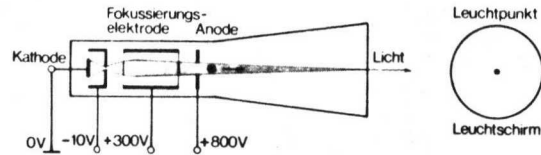


Abb. 16

### Der Elektronenstrahl wird aus seiner Bahn gelenkt

Wir wissen nun, wie eine Elektronenkanone im Prinzip funktioniert. Mit Hilfe des beschriebenen Elektrodensystems gelingt es, einen scharfen, in seiner Helligkeit steuerbaren Leuchtfleck zu erzeugen.

Noch befindet sich dieser Leuchtfleck unbeweglich auf der Mitte des Leuchtschirms. Um nun auf dem Schirm einen Linienzug schreiben zu können, braucht man zusätzliche Einrichtungen, die den Elektronenstrahl nach den Seiten hin ablenken.

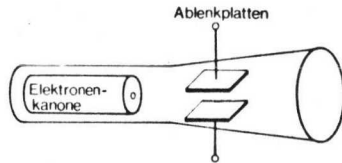


Abb. 17

In Abbildung 17 werden die Elektroden der Elektronenkanone zu einer Baueinheit zusammengefaßt. Zwischen der Austrittsöffnung der Elektronenkanone und dem Leuchtschirm sind zwei waagerechte, untereinander parallelliegende Hilfelektroden, sogenannte Ablenkplatten eingebracht.

In Abbildung 18 a sind die Ablenkplatten spannungslos; der von der Elektronenkanone ausgehende Elektronenstrahl findet unbeeinflusst seinen Weg zur Mitte des Leuchtschirms. Jetzt legen wir die Ablenkplatten an eine Steuerspannung (Abb. 18 b); die obere Platte ist mit dem Pluspol, die untere mit dem Minuspol der Steuerspannungsquelle verbunden. Da die Elektronen des Elektronenstrahls, die selbst negativ geladen sind, von der positiv geladenen Ablenkplatte angezogen und von der negativen Ablenkplatte abgestoßen werden, werden sie aus ihrem ursprünglichen Weg nach oben hin abgedrängt. Der Leuchtpunkt liegt oberhalb der Schirmmitte.

Jetzt polen wir die Steuerspannungsquelle an den Ablenkplatten um. Die auf den Elektronenstrahl ausgeübte Wirkung der Ablenkplatten verursacht eine Strahlablenkung nach unten (Abb. 19).

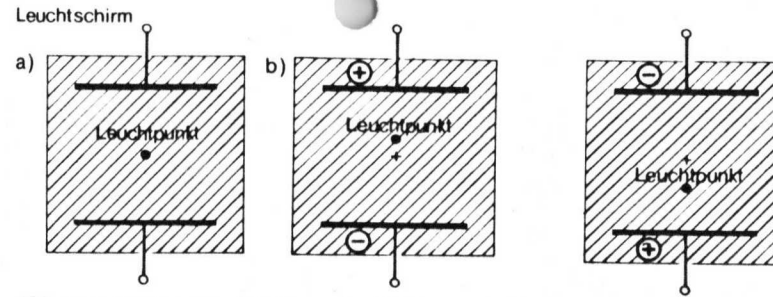


Abb. 18 u. 19 Vertikale Ablenkung des Elektronenstrahls

Wir sehen, daß man mit Hilfe einer Steuerspannung an den Ablenkplatten eine vertikale Verschiebung des Elektronenstrahls erzielt (Abb. 20). Verändert man die Höhe der Ablenkspannung, so verändert man damit das Maß der vertikalen Strahlverschiebung.

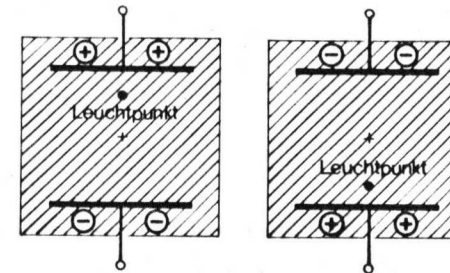


Abb. 20 Vertikale Ablenkung des Elektronenstrahls

Nachdem es uns gelungen ist, den Elektronenstrahl in vertikaler Richtung zu verschieben, liegt es nahe, durch das Einbringen zweier weiterer Ablenkplatten auch eine horizontale Verschiebung zu ermöglichen. In Abbildung 21 haben

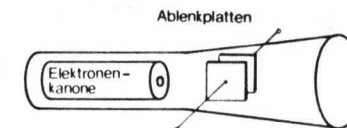


Abb. 21

wir zwei senkrechte, zueinander parallele Ablenkplatten in die Elektronenstrahlröhre eingebaut. Die horizontale Ablenkung des Elektronenstrahls erfolgt analog zu unseren bisherigen Überlegungen. Auch hier kann das Maß an Verschiebung durch die Wahl der Ablenkspannung bestimmt werden (Abb. 22).

### Der Elektronenstrahl wird gleichzeitig horizontal und vertikal abgelenkt

Bringt man beide Ablenkssysteme in eine Oszillographenröhre ein, so läßt sich der Elektronenstrahl nach allen Seiten hin ablenken (Abb. 23). Man kann sich

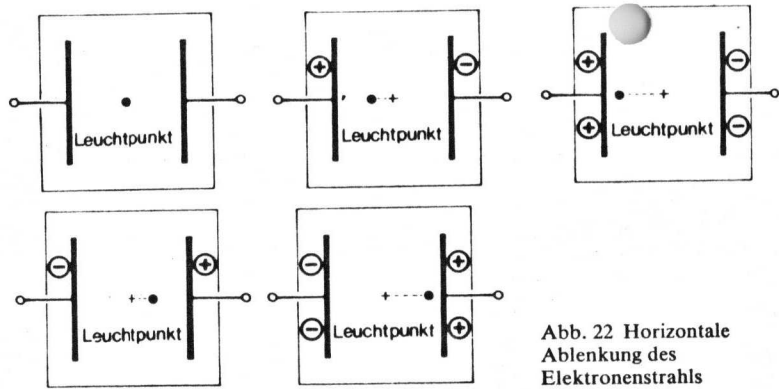


Abb. 22 Horizontale Ablenkung des Elektronenstrahls

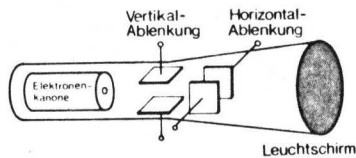


Abb. 23

diese Strahlableitung aus zwei Ablenkkomponenten zusammengesetzt denken, so wie man sich in der Mathematik die Verschiebung eines Punktes im kartesischen Koordinatensystem als geometrische Summe einer Bewegung in X-Richtung und einer Bewegung in Y-Richtung vorstellen kann (Abb. 24). Die horizontale Achse des kartesischen Koordinatensystems wird X-Achse, die vertikale Achse dagegen Y-Achse genannt.

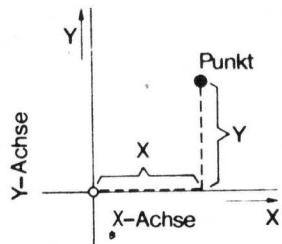


Abb. 24 Verschiebung eines Punktes im kartesischen Koordinatensystem

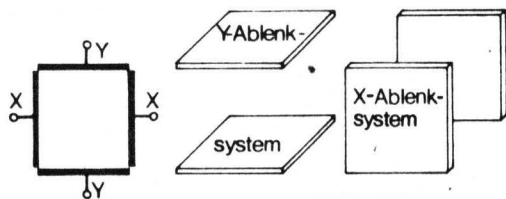


Abb. 25 X- und Y-Ablenksysteme

Analog zu der Achsenbezeichnung der Mathematik werden die Horizontal-Ablenkplatten des Oszillographen *X-Ablenk-system*, die Vertikal-Ablenkplatten *Y-Ablenk-system* genannt (Abb. 25).

Wie die resultierende Strahlableitung für verschiedene Ablenkspannungskombinationen aussieht, zeigt *Abbildung 26*. Die Zeichen  $\oplus$  und  $\ominus$  deuten die Potentiale der betroffenen Ablenkplatten an. Trägt eine Platte zwei dieser Zeichen, so sei damit vereinbart, daß das Ablenkpotential doppelt so hoch sei.

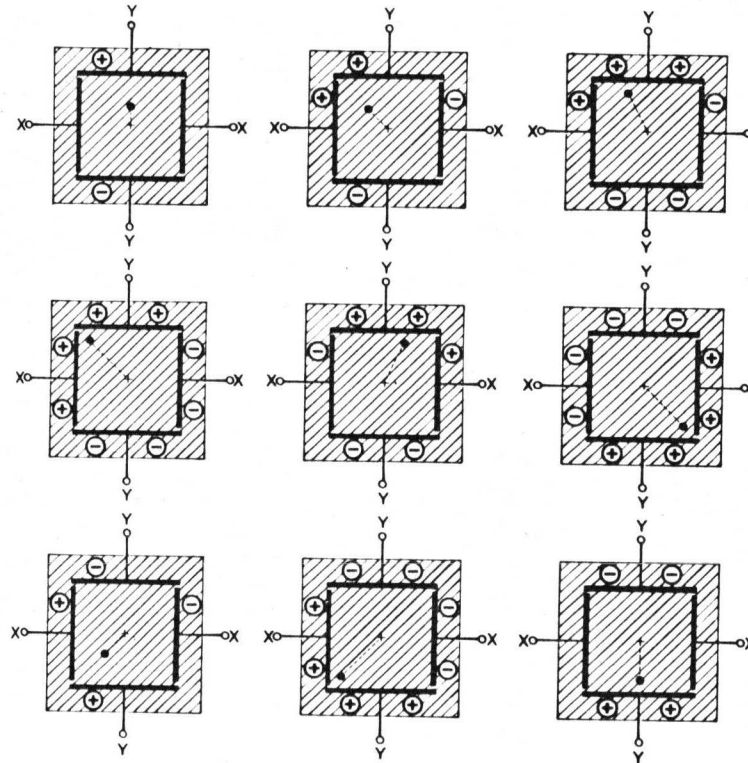


Abb. 26 Horizontale und zugleich vertikale Ablenkung des Elektronenstrahls

### Die Elektronenkanone mit zusätzlicher Nachbeschleunigung

Hochwertige Oszillographenröhren sind aus verschiedenen Gründen noch um einiges komplizierter konstruiert als unsere hier vorgestellte Version. Prinzipiell möchte man ein helles und scharfes Schirmbild. Die zur Strahlableitung benötigte Ablenkspannung soll möglichst klein sein. Zur Erzielung eines hellen Schirmbildes benötigt man eine hohe Elektronengeschwindigkeit und somit eine hohe Beschleunigungsspannung.

Ist die Geschwindigkeit der Elektronen nach Verlassen der Anode sehr hoch, so durchfliegen sie rasch den Wirkbereich der Ablenkplatten. Die Ablenkwirkung der Platten ist gering. Will man eine große Ablenkung des Elektronenstrahls erzielen, so ergeben sich dafür zwei Möglichkeiten:

- die Ablenkspannung muß erhöht werden,
- die Elektronengeschwindigkeit muß relativ klein sein.

In der Praxis wählt man den letzteren Weg. Nach Verlassen der Elektronenkanone besitzen die Elektronen eine relativ geringe Geschwindigkeit. Bereits kleine Ablenkspannungen verursachen eine hohe vertikale bzw. horizontale Ablenkung (Abb. 27).

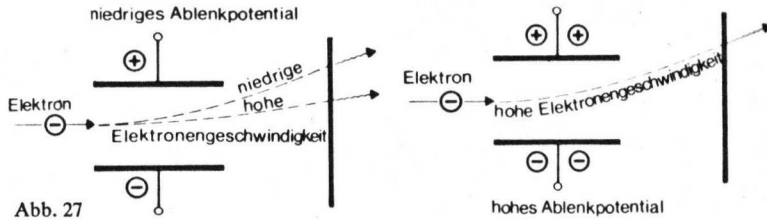


Abb. 27

Damit die Elektronengeschwindigkeit nun doch ausreichend hoch ist, um ein helles Schirmbild zu erzeugen, werden die Elektronen nach Verlassen des Ablenkplattenbereichs nachbeschleunigt (Abb. 28). Als Nachbeschleunigungselektrode dient ein Graphitwendel auf dem erweiterten Glaskolbenteil der Strahlröhre. Dieser Graphitwendel wird auf ein deutlich höheres positives Potential als das der eigentlichen Beschleunigungselektrode der Elektronenkanone gebracht. Die Nachbeschleunigungselektrode in Form des Graphitwendels gewährleistet im Vergleich zu einer Flächenelektrode eine bessere Abbildungsqualität.

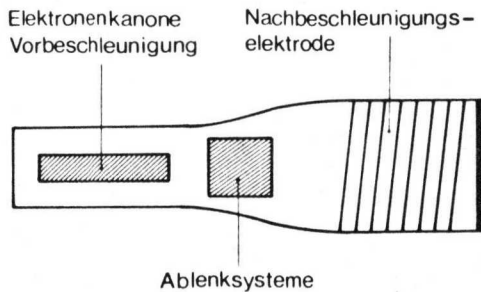


Abb. 28

### Zeitlich veränderliche Signale an den Ablenkplatten

Welches Schirmbild bekommen wir, wenn wir zeitlich veränderliche Signale, z. B. Sinussignale, auf die Ablenkplatten geben?  
In Abbildung 29 haben wir ein sinusförmiges Wechselspannungssignal auf die

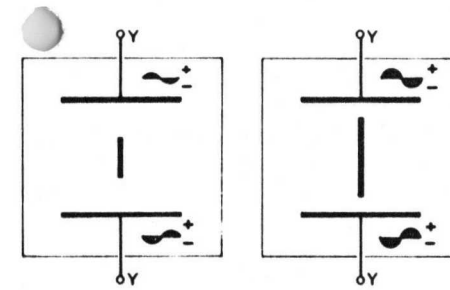


Abb. 29

Y-Ablenkplatten gegeben. Die zeitliche Veränderung der Signalspannung drückt sich in einem ständigen Wechsel der Ablenkpotentiale sowohl im Hinblick auf ihre Polarität wie ihre Beträge aus. Bei schnellem Signalwechsel können das Auge und die Trägheit des Leuchtschirms diese zeitliche Veränderung nicht mehr auflösen. Auf dem Oszillographenschirm erscheint ein Strich, der vom positiven Spannungsmaximum bis zum negativen Spannungsmaximum reicht.

Die gleichen Verhältnisse liegen vor, wenn man die zeitlich veränderliche Spannung auf das X-Ablenkssystem gibt. Nur erfolgt hier die Ablenkung naturgemäß in der Horizontalen (Abb. 30).

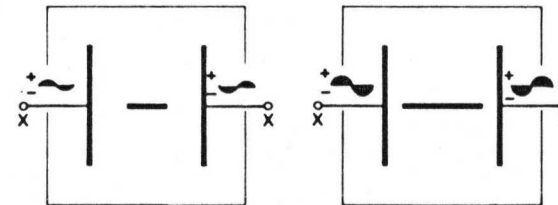


Abb. 30

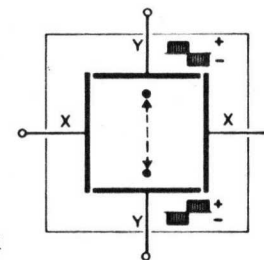


Abb. 31

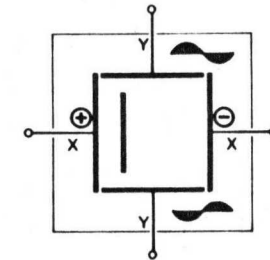


Abb. 32

In Abbildung 31 wurde eine Rechteck-Wechselspannung auf das Y-Ablenkssystem gegeben. Da die Spannung nur zwischen zwei Extremwerten wechselt, bekommen wir lediglich zwei Leuchtpunkte, die diesen Extremwerten entsprechen.

In Abbildung 32 wurde eine sinusförmige Wechselspannung auf das Y-Ablenkssystem, eine feste Ablenkspannung auf das X-Ablenkssystem geschaltet. Als Resultat beider Ablenkensignale bekommen wir einen Strich, der um die Wirkung des X-Ablenkpotentials nach links verschoben ist.

## Darstellung einer zeitlich veränderlichen Spannung auf dem Leuchtschirm

Wir sagten, daß der Oszillograph jede noch so kleine und schnelle Veränderung eines elektrischen Signals anzuzeigen vermag. In unseren bisherigen Strahlablenkversuchen erhielten wir aber immer nur Oszillogramme in Form von Punkten oder Strichen. Eine zeitliche Auflösung von Wechselspannungssignalen erfolgte nicht.

Wir suchen nun einen Weg, wie man ein zeitlich veränderliches Signal auf dem Schirm auflösen kann.

Zum Verständnis unseres Problems müssen wir uns ein solches Signal etwas genauer ansehen. Als Beispiel nehmen wir eine sinusförmige Wechselspannung (Abb. 33).

Wechselspannung

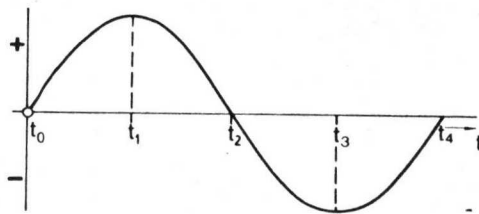


Abb. 33

Zum Zeitpunkt  $t_0$  – also zum Beginn des Linienzuges – beträgt die Spannung 0 V. Zum Zeitpunkt  $t_1$  – nach einer viertel Periode – ist die Spannung auf ihrem positiven Maximum, um dann bis zum Zeitpunkt  $t_2$  wieder auf 0 V abzufallen. Zwischen  $t_2$  und  $t_3$  steigt die Spannung auf ihr negatives Maximum an. Zwischen  $t_3$  und  $t_4$  fällt sie wieder auf 0 V zurück. Danach beginnt der periodische Vorgang von neuem. Will man einen solchen zeitlichen Vorgang schreiben, so muß der Ablauf der Zeit durch einen technischen Trick simuliert werden.

Verständlich wird dies bei der Signalaufzeichnung mit einem Papierlinienschreiber (Abb. 34). Die sehr niederfrequente Ausgangsspannung eines Sinusgenerators wird auf zwei parallelliegende Linien-schreiber aufgeschaltet. Der Papiervorschubmotor des ersten Linien-schreibers ist ausgeschaltet, der des zweiten läuft mit konstanter Geschwindigkeit.

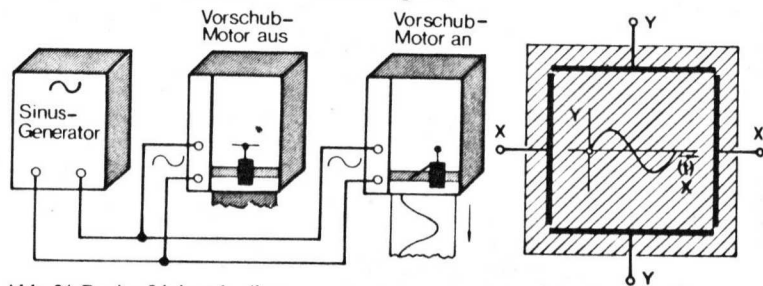


Abb. 34 Papier-Linienschreiber

Abb. 35

Auf dem ruhenden Papier des ersten Linienschreibers bekommen wir lediglich einen Strich; es erfolgt keine zeitliche Auflösung des Eingangssignals. Durch den Vorschub des zweiten Linienschreibers erzielen wir eine Zeitauflösung. Diese Zeitauflösung wird beeinflussbar, indem man die Vorschubgeschwindigkeit des Papiers verändert. Bedingung für eine qualitativ hochwertige Zeitauflösung ist eine hochkonstante Vorschubgeschwindigkeit des Papiers.

Da die Arbeitsweise des Elektronenstrahl-Oszillographen so gänzlich anders als die des Papierlinienschreibers ist – es steht anstelle einer langen Papierbahn nur eine begrenzte Schirmbreite zur Verfügung –, müssen wir den Zeitablauf durch einen anderen Trick simulieren. Als Zeitachse wählen wir die horizontale Ablenkrichtung, weil wir an diese Art der zeitlichen Auflösung einer Größe gewöhnt sind (Abb. 35).

Wie wird nun die kontinuierlich ablaufende Zeit auf dem X-Ablenkplattensystem nachgebildet?

So wie der gleichmäßige Vorschub des Papierlinienschreibers den Zeitablauf simuliert, muß der Leuchtpunkt in horizontaler Richtung absolut gleichmäßig schnell verschoben werden. (Wir erinnern uns, daß die horizontale Ablenkung durch die Steuerspannung an den X-Ablenkplatten erzielt wird.)

Da die Signaldarstellung auf dem Leuchtschirm zeitlich von links nach rechts erfolgen soll, muß zu Beginn der Signaldarstellung eine relativ hohe Spannung an den X-Ablenkplatten anliegen, die den Elektronenstrahl nach links außen verrückt (Abb. 36).

Zeitablenkspannung

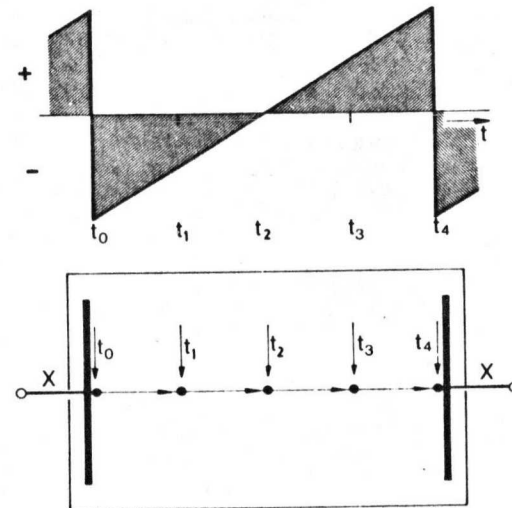


Abb. 36

Verkleinert man die Zeitablenkspannung jetzt gleichmäßig schnell gegen Null hin, so wandert der Strahl gleichmäßig schnell zur Mitte des Leuchtschirms. Jetzt muß die Spannung an den X-Ablenkplatten umgepolt und gleichmäßig schnell bis zu einem neuen, entgegengesetzten Maximum vergrößert werden. Auf diese Weise gelangt der Elektronenstrahl mit konstanter Geschwindigkeit