

TELEFUNKEN FACHBUCH

DIE FERNSEH-BILDRÖHRE



TELEFUNKEN FACHBUCH

DIE FERNSEH-BILDRÖHRE

Nachdruck 1960

Herausgeber:

TELEFUNKEN

G · M · B · H

Geschäftsbereich Röhren

Vertrieb

Das Fernsehen ist durch seinen sprunghaften Anstieg zu einem sehr wichtigen Faktor im täglichen Leben geworden. Damit steht die Fernseh-Bildröhre, die das zeitnahe, lebendige Fernsehbild tagtäglich vor Millionen von Beschauern entstehen läßt, im Blickfeld größten Interesses. Die Mehrzahl nimmt dieses Wunder in unserem technischen Zeitalter als etwas Selbstverständliches hin. Aber in vielen, vor allen Dingen in den fachlich interessierten Kreisen ist der Wunsch wach, dem Geheimnis der Bildröhre nachspüren zu können. Dazu will das vorliegende Büchlein einen Weg zeigen.

Um wirklich alle Einzelheiten der Bildröhre ausführlich genug diskutieren zu können, sind nur die sie unmittelbar berührenden Probleme behandelt worden. Im ersten Kapitel wird ein Überblick über die Arbeitsweise der Fernseh-Bildröhre gegeben und gezeigt, was alles dazu gehört, um das Bild auf den Leuchtschirm zu schreiben. Die wichtigsten physikalischen Grundlagen sind nur kurz gestreift, um diesen Abschnitt leicht faßlich zu machen und ihn nicht durch umfangreiche Erläuterungen zu durchbrechen. Dagegen werden im zweiten und dritten Kapitel alle wesentlichen physikalischen Eigenschaften an Hand sehr vieler Bilder so ausführlich besprochen, daß dem tiefer schürfenden Leser sämtliche Fragen beantwortet werden, die für ihn beim Lesen des ersten Abschnittes offen geblieben sind.

In den Kreis der Abhandlung sind dabei auch Probleme wie magnetische und elektrostatische Ablenkung, Luminiszenz sowie Strahlung einbezogen. Doch auch deren Darstellung wurde so gehalten, daß sie keine speziellen theoretischen Vorkenntnisse voraussetzt.

Den Abschluß bildet als viertes Kapitel ein Streifzug durch die Fertigungsstätte von Fernseh-Bildröhren. Es zeigt sinnfällig die Fülle neuartiger Probleme, die bei der Serienproduktion zu lösen waren.

Ein sehr ausführliches Stichwörterverzeichnis befindet sich am Schluß des Buches. Es erleichtert die Übersicht und ermöglicht eine rasche Information bei Einzelfragen.

Verzeichnis der ganzseitigen Bildtafeln

Seite	9	Die drei Teile, aus denen der Kolben einer Fernseh-Bildröhre durch Verschmelzen entsteht
	13	Teile eines Strahlensystems
	15	Fertigmontiertes geradsichtiges Strahlensystem
	41	Ein geknicktes Strahlensystem im Schnitt
	54	Fernseh-Bildröhre AW 53–88 (Ablenkwinkel = 110°) mit Ablenkspulensystem
	62	Drei Fernseh-Bildröhren mit gleicher Diagonale, aber mit den Ablenkwinkeln 70° , 90° und 110°
	71	Geradsichtiges Strahlensystem mit seinen vormontierten Bauelementen
	73	Hängebahn, auf der die Fernseh-Bildröhren bei der Herstellung die Fabrik durchlaufen
	75	Karussell zum Aluminisieren
	77	Blick in die Kette der Pumpwagen
83 u. 84		Farbige Übersichtstafel: Fernseh-Bildröhre. Schema des Fertigungsganges

A Aufbau und Arbeitsweise der Fernseh-Bildröhre

Zweck und Prinzip

Auf dem Schirm der Bildröhre soll das bei Fernsehsendungen übertragene Bild erscheinen. Dieses Bild wird zeilenweise geschrieben. Als Schreibwerkzeug dient ein Elektronenstrahl. Er trifft den Schirm jeweils in einem feinen Punkt und bringt ihn dort zum Leuchten. Die Wucht der mit erheblicher Geschwindigkeit auf dem Schirm aufprallenden Elektronen setzt sich zu einem gewissen Teil in sichtbares Licht um. Dessen Helligkeit hängt von der Bildrohren(anoden)spannung und von dem Strahlstrom ab. Die Bildrohrenspannung wählt man recht hoch (z. B. mit 16 Kilovolt) und sorgt dafür, daß sie im Betrieb möglichst konstant bleibt. Den Strahlstrom steuert man und beeinflusst damit die Helligkeit, die der Elektronenstrahl in seinem Auftreffpunkt hervorruft.

Damit das Bild auf dem Schirm erscheinen kann, sind in der Bildröhre bzw. in unmittelbarem Zusammenhang mit ihr folgende Hauptteile unbedingt notwendig:

1. Eine Einrichtung, mit der sich der Elektronenstrahl erzeugen läßt, also ein Strahlensystem, das man gelegentlich auch Elektronenkanone oder Kanone nennt,
2. eine Möglichkeit, die Stärke des Elektronenstrahls, also den Wert des Strahlstromes zu beeinflussen, d. h. eine Steuerelektrode, die auch als Wehneltzylinder bezeichnet wird,
3. ein Bildschirm, der dort aufleuchtet, wo er vom Elektronenstrahl getroffen wird, und
4. Anordnungen zum waagerechten und senkrechten Ablenken des Elektronenstrahls so, daß er Zeile für Zeile und Bild für Bild zu schreiben vermag (Ablenkspulensystem).

Strahlensystem und Bildschirm sind im Innern des Bildrohrenkolbens angeordnet. Als Ablenkensystem dienen zwei außerhalb des Kolbens befindliche Spulenpaare, die von den Ablenkströmen durchflossen werden.

Der Kolben

Der Kolben der Fernseh-Bildröhre besteht aus Glas. Er setzt sich aus drei Teilen zusammen (**Bilder 1 und 2**). Diese Teile: die Bildröhren-Front-

platte, der Kolbentrichter und der Kolbenhals sind miteinander verschmolzen.

Die **Bildröhren-Frontplatte** ist ein mit hohem Rand ausgebildeter, dickwandiger Preßteil. Aus dem Preßvorgang ergibt sich auf dem Rand eine **Preßnaht**.

Der **Kolbentrichter** ist mit dem **Hochspannungsanschluß (Anodenanschluß)** versehen.

Der **Kolbenhals** schließt mit einem Preßteller ab, auf dem das Strahlensystem aufgebaut ist.

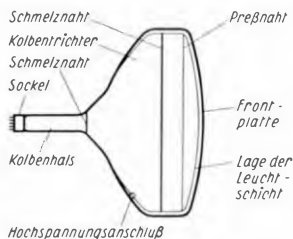


Bild 1. Der Kolben einer Fernseh-Bildröhre von oben gesehen mit den einzelnen Teilen, aus denen er besteht. Es handelt sich in diesem Bild um eine Röhre für 90° Ablenkung.

Die Bildröhren-Frontplatte ist gewölbt, wodurch die erforderliche Festigkeit ohne übermäßige Glasdicke erreicht wird. Auf der Bildröhre lastet nämlich der äußere **Luftdruck** mit etwa einem Kilopond auf jedem Quadratzentimeter. Ihm hält kein Innendruck das Gleichgewicht.

Ein **Kilopond** ist die Kraft, mit der ein Kilogramm Masse infolge der Anziehung durch die Erde auf die Unterlage drückt.

Die Wölbung der Bildröhren-Frontplatte kommt im übrigen auch etwas der Gleichmäßigkeit der Bildschärfe auf dem Schirm zugute:



Bild 3. Der Kolben einer Fernseh-Bildröhre mit zwei eingetragenen **Brennflächen**. Das sind Flächen, auf denen der Brennpunkt des abgelenkten Elektronenstrahls liegt. Im einen Fall ist auf die Bildschirmitte, im andern Fall auf den Bildschirrand fokussiert. Wie man sieht, sind die Brennflächen stark gewölbt, weit stärker als die Bildröhren-Frontplatte.

Die **Brennfläche**, also die Fläche, auf die der Brennpunkt des beliebig abgelenkten Strahles fiel, ist im selben Sinn gekrümmt wie die Bildröhren-Frontplatte, jedoch weit stärker als diese. **Bild 3** zeigt die zwei Grenzfälle zur Lage der Brennfläche. Ein Fall ist durch Einstellung großer Punktschärfe



auf die Bildmitte gegeben. Im zweiten Fall liegt die größte Schärfe auf dem Bildrand.

Für die **Ausmaße der Bildröhre** sind insbesondere die folgenden zwei Zahlenwerte wichtig:

Die eine Zahlenangabe bezieht sich auf die „**Diagonale**“ der Bildröhren-Frontplatte und damit auf den Bildschirm. Man versteht hierunter den Durchmesser des Kreises, in den der Umriß der Bildröhren-Frontplatte gerade hineinpaßt (**Bild 4**). Üblich sind hierfür 43, 53 und 61 cm.

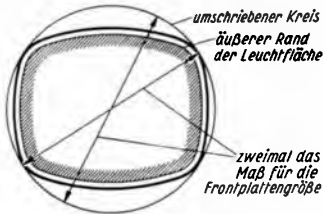


Bild 4. Was man unter der Diagonale einer Bildröhren-Frontplatte zu verstehen hat. Die Länge der Diagonale, ausgedrückt in Zentimeter, bzw. im Ausland in Zoll, ist das charakteristische Maß für die Größe der Bildröhren-Frontplatte.

Die andere Zahlenangabe betrifft den **Ablenkwinkel**. Angegeben wird der Winkel, der zur Bilddiagonale gehört (**Bild 5**). Man ist bestrebt, diesen Winkel möglichst groß zu machen, weil man damit bei gegebener Diagonale zu kurzen Röhren kommt.

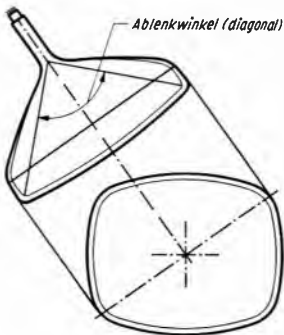


Bild 5. Der Ablenkwinkel, den man zum Charakterisieren einer Fernseh-Bildröhre angibt (früher 70° , später 90° und neuerdings 110°), ist der Winkel, der zur Diagonale der Bildröhren-Frontplatte gehört. In diesem Bild beträgt der Ablenkwinkel 90° .

Das Strahlsystem, ein Überblick

Das Strahlsystem soll den zum Schreiben des Bildes notwendigen Elektronenstrahl erzeugen. Dazu sind erforderlich:

1. eine Kathode, die die für den Elektronenstrahl notwendigen Elektronen in das Vakuum emittiert,

2. wenigstens eine Elektrode mit einer gegen die Kathode positiven Spannung, die die Elektronen von der Kathode nach dem Bildschirm hin beschleunigt,
3. die schon erwähnte Einrichtung zum Steuern des Strahlstrom-Wertes und
4. Anordnungen, die den Strahl so bündeln, daß er auf dem Bildschirm in einem feinen Punkt, also mit geringem Querschnitt, auftrifft.

Aus dem Strahlsystem wird der Elektronenstrahl etwa so herausgeschossen, wie **Bild 6** das veranschaulicht.

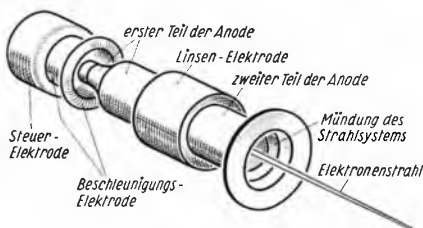


Bild 6. Ein vollständiges, geradsichtiges, also nicht geknicktes Strahlsystem. Die Kathode ist im Innern der Steuerelektrode angeordnet und demgemäß hier nicht sichtbar. Bild 12 zeigt dasselbe Strahlsystem im Schnitt.

Die Teile des Strahlsystems entsprechen im Prinzip denen einer Verstärkerröhre, wie sie z. B. in Rundfunkempfängern benutzt wird. Der Aufbau aber weicht bezüglich der konstruktiven Durchbildung wesentlich davon ab.

Bild 7 gibt einen Vergleich zwischen Verstärkerröhre und Fernseh-Bildröhre. In der Mitte stehen dort die für die verschiedenen ausgeführten Systemteile beider Röhren gemeinsam verwendbaren Bezeichnungen, während rechts und links die speziellen Ausdrücke eingetragen sind.

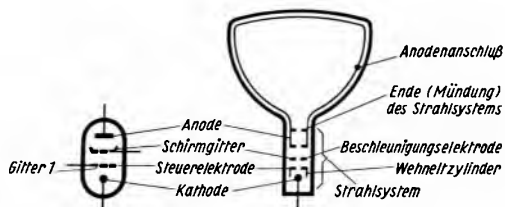


Bild 7. Vergleich zwischen einer Verstärker-Tetrode und einer Fernseh-Bildröhre in bezug auf die Elektroden.

Bei dem mit Bild 7 gegebenen Vergleich könnte die Meinung aufkommen, die Bezeichnung „Kanone“ sei für das, was Bild 6 veranschaulicht, abwegig: Sowohl in der Verstärkerröhre wie in der Bildröhre werden die

Elektronen von der Kathode nach der Anode beschleunigt und prallen schließlich auf der Anode auf.

Werden also nicht etwa die Elektronen aus der Kanone herausgesaugt, statt, wie es sich für eine Kanone gehört, aus ihr herausgeschossen?

Die gelegentlich benutzte Bezeichnung „Kanone“ besteht jedoch sachlich zu Recht: Die Elektronen werden in der Bildröhre wie in der Verstärker- röhre durch die zwischen Kathode und Anode liegende Spannung be- schleunigt.

In der Verstärkerröhre wirkt sich diese Spannung auf dem gesamten Weg der Elektronen zwischen Kathode und Anode aus. Es ist dabei wichtig, festzustellen, daß hier die Elektronen ihre durch die Anoden- spannung bedingte Endgeschwindigkeit erst unmittelbar vor dem Auf- treffen erreichen.

In der Bildröhre hingegen haben die Elektronen schon innerhalb des Strahlsystems ihre Endgeschwindigkeit erreicht. Sie werden somit tat- sächlich aus dem Strahlsystem herausgeschossen: Denn bereits an den Anodenteilen des Strahlsystems liegt dieselbe Spannung wie am Bild- schirm. Also herrscht zwischen Bildschirm und Mündung des Strahlsystems keine Spannung mehr, die die Elektronen weiterhin beschleunigen und damit „ansaugen“ könnte.

Die Kathode

Die Kathode (**Bild 8** und **Bild 9**) besteht aus einem einseitig geschlosse- nen Nickelröhrchen. Die geschlossene Stirnseite der Kathodenhülse weist eine aus Barium- und Strontiumoxyd gebildete Oberflächenschicht auf. Diese hat die Eigenschaft, Elektronen schon bei Temperaturen zwischen 700... 800° C in ausreichendem Maß zu emittieren. Man drückt das aus, indem man sagt: Die **Elektronenaustrittsarbeit**, also der zum Emittieren eines Elektrons notwendige Arbeitsaufwand, ist für solche Materialien besonders gering.

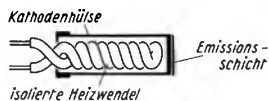
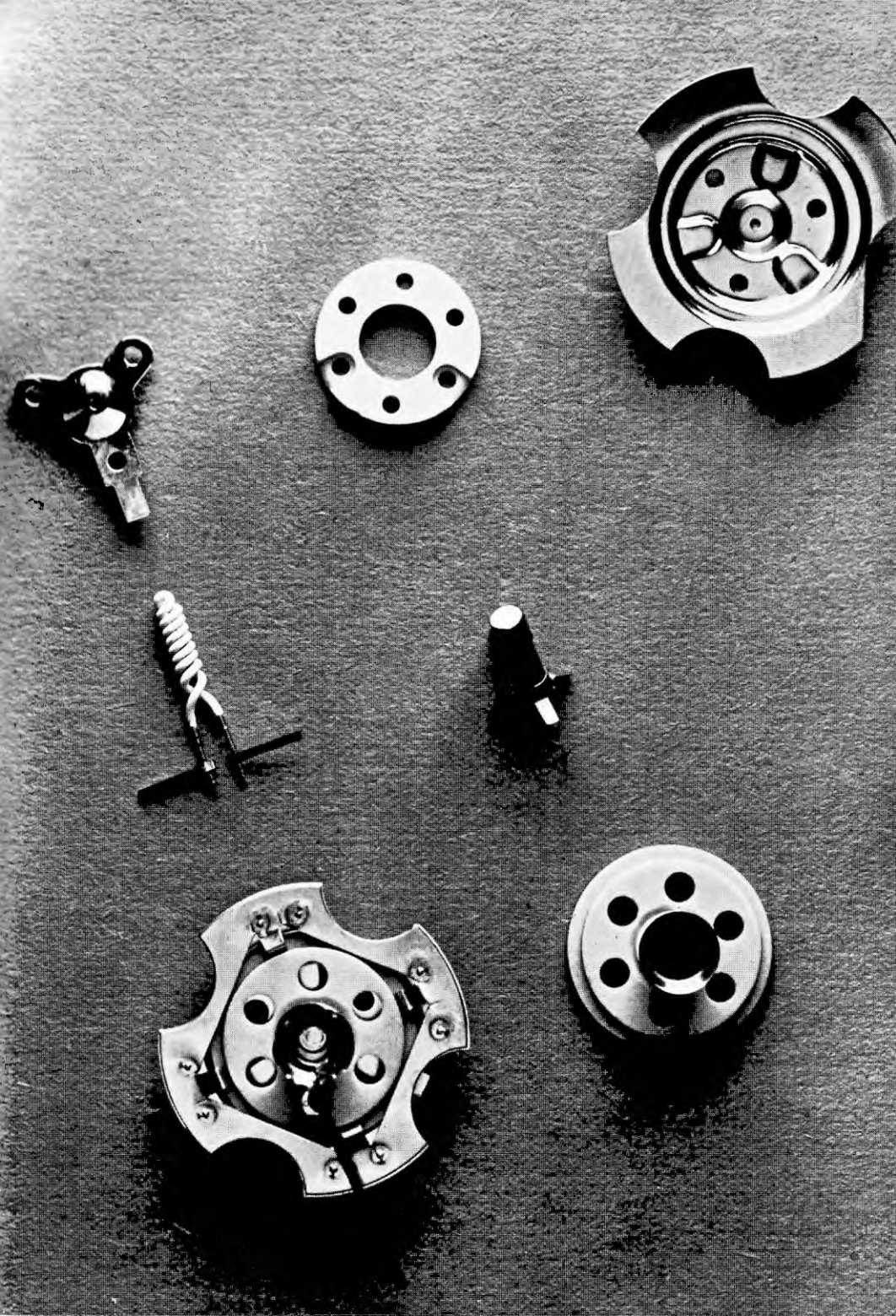


Bild 8. Schnitt durch die Kathode einer Fernseh-Bildröhre. Die Kathodenhülse ist ein einseitig geschlossenes Nickelröhrchen, das an seiner Stirnseite die Emissionsschicht trägt und in dessen Innerem die durch eine nachträglich gebrannte Aluminiumoxyd- paste isolierte Heizdrahtwendel untergebracht ist.

In der Kathodenhülse ist die durch Aluminiumoxyd isolierte, vom Heiz- strom durchflossene **Heizwendel** (der **Brenner**) angeordnet.

Bild 9. Teile des in den Bildern 49, 50 und 52 dargestellten Strahlsystems: Jeweils von links nach rechts in der oberen Reihe die Beschleunigungselektrode, ein keramischer Zwischenring und die Steuerelektrode, in der mittleren Reihe die isolierte Heizwendel (der Brenner) und die Kathodenhülse, in der unteren Reihe die Baueinheit aus diesen Teilen und aus dem daneben dargestellten Kathodenhalter.



Beschleunigung der Elektronen

Die aus der Kathode emittierten Elektronen verlassen diese mit sehr geringen Geschwindigkeiten. Folglich müssen die Elektronen, wie schon angedeutet, wirksam beschleunigt werden. Das geschieht mit Hilfe der positiven Spannungen, die einzelne Elektroden des Strahlsystems gegen die Kathode aufweisen.

Die Steuerelektrode für den Strahlstrom

Der Strahlstrom muß in seinem Wert gesteuert werden. Das geschieht mit der Spannung zwischen Steuerelektrode und Kathode. Wie das Steuergitter der Verstärkerröhre wird diese Bildröhren-Elektrode mit einer gegen die Kathode negativen **Vorspannung (Gittervorspannung)** betrieben. Ihr überlagert man die steuernde Spannung. In beiden Fällen wirkt die folgende positive Elektrode mit ihrer beschleunigenden Spannung durch die negative Steuerelektrode hindurch. Dieses Hindurchwirken bezeichnet man wie bei der Verstärkerröhre als Durchgriff.

Die Bildröhren-Steuerelektrode, die auch Wehneltzylinder heißt, hat Topfform mit einem kleinen, kreisrunden Loch im Boden des Topfes. Der Topf umgibt die Kathode so, daß die von ihr emittierten Elektronen das im Topfboden befindliche Loch der Steuerelektrode passieren können (**Bild 10** links).

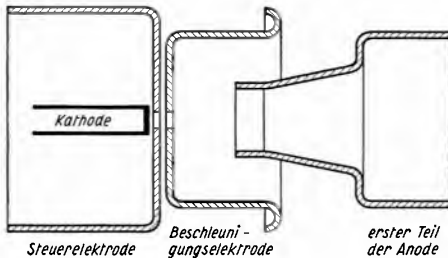
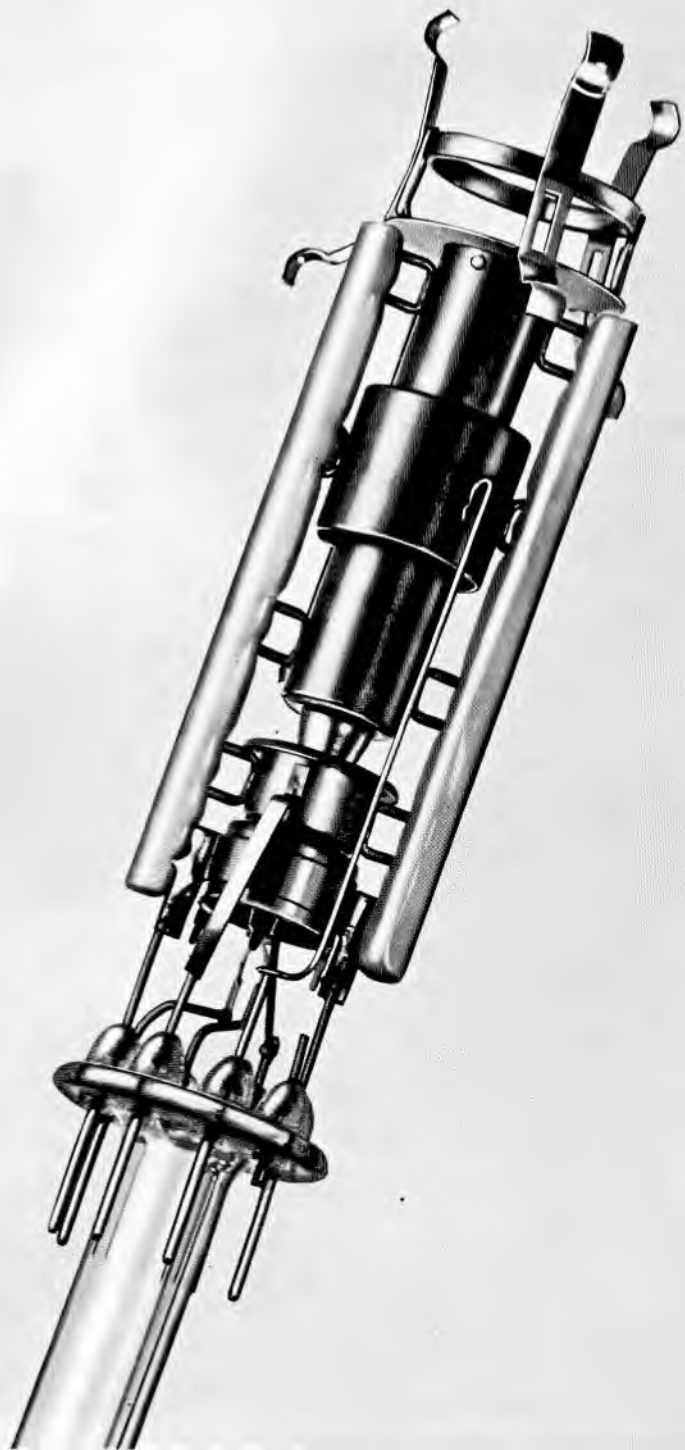


Bild 10. Die ersten vier Teile des in den Bildern 6, 11 und 12 veranschaulichten Strahlsystems: Die Kathode, die Steuerelektrode, die Beschleunigungselektrode und der erste Teil der Anode.

Mit der gegen die Kathode stets negativen Gesamtspannung der Steuerelektrode wird einerseits erreicht, daß die aus der Kathode emittierten Elektronen nicht auf der Steuerelektrode landen können. Andererseits unterstützt die negative Spannung das Bündeln der Bahnen, auf denen sich die aus der Kathode kommenden Elektronen bewegen: Die Elek-



tronen werden durch die Steuerelektrode gezwungen, nach ein und demselben Punkt (dem Bündelungspunkt, siehe Bild 37, Seite 31) zu fliegen.

Die Schwankungen der Spannung der Steuerelektrode dienen ebenso zum Erzielen der Strahlstromschwankungen, wie man in einer Verstärkeröhre durch die Steuergitterspannung den Anodenstrom beeinflusst.

Zwei Beispiele für die tatsächliche Ausführung dieses Systemteils und seinen Zusammenbau mit den ihm benachbarten Teilen bringen die **Bilder 9 und 11**, die zwei verschiedene Röhrenkonstruktionen betreffen. Welche Präzision hier notwendig ist, erkennt man schon daran, daß der Abstand zwischen Kathodenoberfläche und Boden der Steuerelektrode mit nur 0,15 mm sehr genau eingehalten werden muß.

Die Beschleunigungselektrode

Diese auf die Steuerelektrode folgende Elektrode weist im Betrieb der Röhre eine feste, gegen die Kathode positive Spannung von einigen 100 Volt auf. Sie hat mit dieser Spannung durch die Steuerelektrode hindurchzuwirken: Sie muß die Elektronen von dem der Kathode unmittelbar vorgelagerten Raum in dem Maß wegsaugen, in dem der jeweilige Wert der Spannung der Steuerelektrode das gerade zuläßt. Darüber hinaus fällt der Beschleunigungselektrode die Aufgabe zu, die Elektronen, die so die Steuerelektrode passiert haben, auf eine hohe Geschwindigkeit zu bringen. Schließlich hat die Beschleunigungselektrode im Verein mit der Steuerelektrode den Zweck, die Elektronenbahnen zusammenzuführen. Das bildet die Voraussetzung dafür, daß durch das nachfolgende Bündeln (Fokussieren) ein scharfer Bildpunkt auf dem Schirm entsteht.

In den Bildern 9, 10 und 11 ist die Beschleunigungselektrode zu sehen. Ihr Durchgangsloch hat wie das der Steuerelektrode einen Durchmesser von noch nicht einem Millimeter. Ihr Abstand von der Steuerelektrode beträgt z. B. 0,3 mm.

Der erste Teil der Anode

Auf die Beschleunigungselektrode folgt im Zuge des Elektronenstrahles in der Mehrzahl der Fälle eine im wesentlichen rohrförmig ausgebildete Elektrode, die an der **Bildröhren-Anodenspannung** liegt. Diese Spannung ist die Hochspannung des Fernsehgerätes. Ihr Wert liegt bei 16 000 Volt = 16 Kilovolt = 16 kV. Die hohe gegen die Kathode der Röhre positive Anodenspannung bewirkt bis etwa zum Eingang des Anodenrohres die Hauptbeschleunigung der Strahlelektronen: Die Elektronen werden durch die hohe Anodenspannung auf ihre große Endgeschwindigkeit gebracht.

Infolge der Geschwindigkeit, die die Elektronen so beim Eintritt in den ersten Teil der Anode erreicht haben, landen sie nicht etwa auf der Wand dieses Rohres, sondern fliegen insgesamt als Strahl weiter.

Linse zur Fokussierung

Auf den ersten Teil der Anode folgt zunächst ein weites Rohr, das eine nur geringe positive Spannung gegen die Kathode hat. Dann kommt der zweite Teil des Anodenrohres, mit dem der Innenbelag des Kolbentrichters leitend verbunden ist. Das Strahlsystem endet mit der Austrittsöffnung dieses zweiten Anodenrohrteiles.

Mit dem zwischengeschalteten weiten Rohr, der **Linsenelektrode**, schafft man im Verein mit den beiden Teilen des Anodenrohres für den Elektronenstrahl eine Linse. Diese fokussiert ihn auf den Bildschirm.

Das **Bild 12** zeigt im Schnitt das vollständige Strahlsystem, das schon durch die Bilder 6 und 11 veranschaulicht wird. Der Elektronenstrahl ist darin angedeutet.

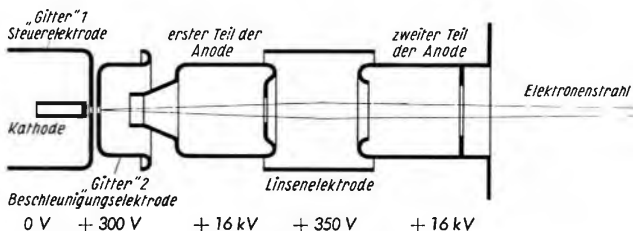


Bild 12. Das durch die Bilder 6 und 11 in der Ansicht dargestellte Strahlsystem hier im Schnitt gezeigt. Die ersten vier Teile dieses Systems sind uns aus Bild 9 bekannt.

Die Linse wirkt auf Grund der angelegten Spannungen gewissermaßen wie ein Engpaß und führt dadurch die auseinanderstrebenden Elektronenbahnen des Strahls so zusammen, daß der Strahlquerschnitt am Bildschirm einen hinreichend kleinen Durchmesser bekommt.

Die hier beschriebene Fokussierung bezeichnet man als **elektrostatische Fokussierung**. Daneben gibt es auch die magnetische Fokussierung. Für sie verwendet man andere Strahlsysteme und als Linsen Magnetanordnungen, die den Röhrenhals umschließen.

Auffangen des Elektronenstrahls

Der aus dem Strahlsystem herausschießende Strahl trifft auf die dünne Aluminiumfolie, die die Leuchtschicht gegen das Röhreninnere abdeckt.

Er durchdringt diese Folie ohne dabei merklich abgebremst zu werden und erzeugt in der Leuchtschicht das Bildpunktleuchten. Die Leuchtschicht ist über die Aluminiumfolie mit der leitenden Schicht verbunden, die die Innenfläche des in den Röhrenhals übergehenden Kolbentrichters bedeckt. Von hier besteht eine Verbindung zum Anodenanschluß. So schließt sich der Strahlstromkreis (**Bild 13**).

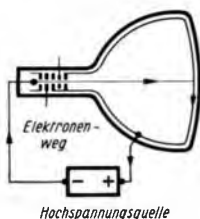


Bild 13. Der zum Strahlstrom und damit zum Elektronenstrahl gehörende vollständige Elektronenweg: Die aus der Kathode emittierten Elektronen landen auf dem Bildschirm, gelangen von dort zum Anodenanschluß (Hochspannungsanschluß der Bildröhre) und von da zum Pluspol der Hochspannungsquelle. In dieser werden sie nach deren Minuspol befördert und kommen so zurück zur Kathode.

Beim Aufprall der Elektronen verwandelt sich deren kinetische Energie im wesentlichen in Licht und Wärme. Die abgebremsten Elektronen wandern nun von der Leuchtschicht über die Aluminiumfolie, wie schon erwähnt, als Leitungsstrom nach dem positiven Pol der Hochspannungsquelle.

Aluminisierung

Die Bildröhre weist auf der Rückseite der Leuchtschicht (vom Betrachter des Fernsehbildes aus gesehen) eine dünne **Aluminiumfolie** auf. Diese Folie (**Aluminisierung**, auch als **Aluminium-Hinterlegung** bezeichnet) hat mehrere wichtige Aufgaben zu erfüllen. Einige von ihnen seien hier genannt:

Zunächst einmal soll sie das vom Leuchtpunkt nach hinten abgestrahlte Licht so reflektieren, daß auch dieses Licht dem Beschauer zugute kommt.

Außerdem verhindert die Aluminiumfolie ein Ausstrahlen des Leuchtpunktlichtes in das Röhreninnere und damit ein hierdurch sich ergebendes Aufhellen des übrigen Leuchtschirmes.

Dann soll sie das, wenn auch schwache Leuchten der glühenden Kathode gegen den Beschauer des Fernsehbildes abdecken.

Damit die Aluminiumfolie das Leuchtpunktlicht nach vorn reflektieren kann, muß sie einigermaßen glatt sein. Man darf sie also nicht etwa unmitttelbar auf die verhältnismäßig zerklüftete Oberfläche der Leuchtschicht

aufdampfen. Man erzeugt vielmehr durch eine sich über die Leuchtschicht von Gipfel zu Gipfel spannende, äußerst dünne **Kollodiumhaut** eine hinreichend glatte Fläche. Erst auf diese dampft man das Aluminium auf (**Bild 14**). Die Kollodiumhaut wird nachträglich durch Erhitzen beseitigt.



Bild 14. Schnitt durch ein kleines Stück der Bildröhren-Frontplatte. Hinter der dicken Glasschicht befindet sich auf der gerauhten Glasinnenseite die Leuchtschicht. Über deren unebener Oberfläche liegt die glatte Aluminiumfolie.

Die Farbe des Bildschirmleuchtens

Angestrebt wird ein schwarz-weißes Bild. Das bedeutet: die hellen Teile des Bildes sollen in weißem Licht aufleuchten. Da es keine Stoffe gibt, die bei Elektronenaufprall weißes Licht ausstrahlen, mischt man verschiedenfarbig aufleuchtende Stoffe so, daß das gewünschte Weiß entsteht. Auf dem Bildschirm befinden sich demgemäß, in feiner Verteilung und in geeigneten Verhältnissen gleichmäßig gemischt, gelb und blau aufleuchtende Teilchen.

Die weiße Farbe des Leuchtens kann allerdings subjektiv nicht besonders exakt festgelegt werden.

Vom Kontrast

Kontrast bedeutet allgemein Helligkeitsunterschied oder Helligkeitsverhältnis. Unter dem Kontrast versteht man bei Fernseh-Bildröhren das Helligkeitsverhältnis zwischen hellen und dunklen Bildstellen.

In bezug auf die Bildröhre wird der Kontrast bestimmt durch die maximale Bildpunkthelligkeit einerseits und durch das Reflexionsvermögen der nicht zum Leuchten angeregten Leuchtschicht andererseits.

Guter, d. h. großer Kontrast verlangt nicht nur besonders helles Leuchten, sondern auch, daß die nicht zum Leuchten angeregten Flächenteile möglichst dunkel erscheinen und dies sogar bei mäßiger Raumbeleuchtung. Dazu wäre besonders günstig eine fast nicht reflektierende Leuchtstoffmischung, also eine Mischung, die, ohne zum Leuchten angeregt zu sein, schwarz erscheint. Leider gibt es eine solche Mischung nicht. Deshalb hilft

man sich, außer mit der Aluminiumfolie hinter der Leuchtschicht, mit einer Graufärbung des Glases der Bildröhren-Frontplatte.

Um die nicht angeregten Teile der Leuchtschicht schwarz erscheinen zu lassen, könnte man daran denken, das Fernsehbild in einem sonst völlig abgedunkelten Raum zu betrachten. Doch tut das den Augen nicht gut. Eine gewisse Raumbelichtung wirkt ihrem vorzeitigen Ermüden entgegen. Besonders günstig ist es sogar, die hinter dem Fernsehempfänger befindliche Wand oder den hinter ihm liegenden Raumteil mäßig zu erleuchten.

Im übrigen ergibt nicht nur jede zusätzliche Raumbelichtung, sondern auch das Leuchten des Bildschirms ein Aufhellen des Wiedergaberaumes und damit auch ein Aufhellen der nicht zum Leuchten angeregten Teile der Bildschirmfläche.

Der Fernsehteilnehmer hat innerhalb der durch das Gerät gegebenen Grenzen die Möglichkeit, den Kontrast einzustellen. Das geschieht am besten beim Beobachten einer Grautreppe, wie sie in Testbildern enthalten ist.

In der **Grautreppe** liegen mehrere Helligkeitsstufen nebeneinander. Man stellt den Kontrastregler so ein, daß sich alle einzelnen Stufen gut voneinander abheben.

Bei genauerer Betrachtung hat man zwischen dem Kontrast größerer Flächen, d. h. dem **Grobkontrast**, und dem Kontrast von Einzelheiten, also dem **Feinkontrast**, zu unterscheiden. Es ist nicht unbedingt gesagt, daß der Feinkontrast befriedigt, wenn der Grobkontrast nichts zu wünschen übrig läßt.

Grauglas für die Bildröhren-Frontplatte

Für die Bildröhren-Frontplatte wird eine in sich grau eingefärbte Glasmasse verwendet. Diese Graufärbung absorbiert rund 25% des durchgehenden Lichtes. Die hellen Bildstellen sind also weniger hell sichtbar als sie das bei klarem Glas wären. Mit dem Grauglas ergibt sich nur das 0,75fache der Helligkeit wie mit klarem Glas.

Dieser Helligkeitsverlust wird gern in Kauf genommen: Das Grauglas schwächt zwar die Helligkeit des Fernsehbildes um die erwähnten 25%; es reduziert aber den Einfluß des Außenlichtes in weit stärkerem Maße. Das Außenlicht, das auf den Schirm fällt, gelangt durch das Grauglas hin-

durch auf den Schirm. Damit ist es um 25% geschwächt. Das vom Schirm reflektierte störende Licht wird beim Durchtritt durch die Bildröhren-Frontplatte nochmal um 25% geschwächt (**Bild 15**). Insgesamt wird also die wahrgenommene Helligkeit der vom Außenlicht beleuchteten Bildschirmteile auf das $0,75 \cdot 0,75 = 0,56$ fache des ohne Graufärbung sich ergebenden Wertes herabgesetzt.

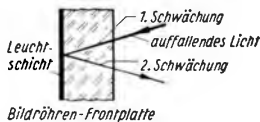


Bild 15. Das auf die Bildröhren-Frontplatte auffallende Außenlicht wird infolge der grauen Einfärbung des Glases sowohl beim ersten Durchgang wie auch – nach der Reflexion an der Leuchtschicht – beim zweiten Durchgang geschwächt. Auf das Darstellen der Lichtbrechung im Strahlengang wurde hier verzichtet

Das bedeutet einen Kontrastgewinn im Verhältnis 0,75 : 0,56, d. h. von 33% für den Fall, daß die Raumbelichtung beim Betrachten des Fernsehbildes, wie dies im Interesse der Augen sein sollte, nur geschwächt, aber nicht ausgeschaltet ist. Dieser Kontrastgewinn ist natürlich auch hinsichtlich der Raumaufhellung vorhanden, die durch das Leuchten des Bildschirms zustande kommt.

Das Grauglas wirkt sich zusätzlich auf den Detailkontrast aus. Betrachten wir einen einzelnen Leuchtpunkt, der auf dem sonst dunklen Bildschirm erzeugt wird! Das Licht des Leuchtpunktes strahlt nach allen Richtungen in das Glas der Bildröhren-Frontplatte (**Bild 16, rechts**). Ein Teil dieses Lichtes wird von der Vorderseite der Bildröhren-Frontplatte reflektiert und erhellt die Umgebung des Leuchtpunktes (**Bild 16, links**). So entsteht ein **Lichthof**. Das von dem Lichthof stammende reflektierte Licht wird von der Vorderfläche der Bildröhren-Frontplatte wiederum auf den Leuchtschirm zurückgeworfen, wodurch sich der Lichthof verstärkt und vergrößert.

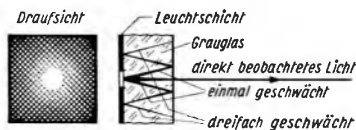


Bild 16. Links ein Lichthof rund um den hellen Punkt herum. Rechts wird gezeigt, wie das Grauglas der Bildröhren-Frontplatte einen solchen Lichthof wesentlich schwächt.

Das Grauglas schwächt das Licht, das durch das Glas der Bildröhren-Frontplatte geht, bei jedem Durchgang auf das 0,75fache ab. Schon zu dem durch die erste Reflexion bedingten Lichthof gehört ein dreimaliger Lichtdurchgang durch das Grauglas. Die Lichthofbildung wird durch das Grauglas somit stark herabgesetzt.

B Physikalische Erläuterungen

Magnetfeld krümmt Elektronenbahn

Ein Elektronenstrahl stellt einen elektrischen Strom dar. Auf ihn wirkt also in einem Magnetfeld eine Kraft, wie dies für einen stromdurchflossenen Leiter gilt. Um das Auftreten dieser Kraft zu veranschaulichen, stellt

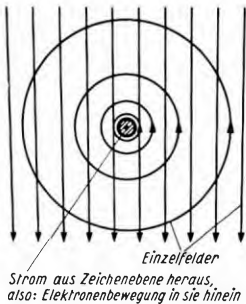


Bild 17. Das Magnetfeld, das sich rotationssymmetrisch rings um einen stromdurchflossenen Leiter ausbildet, und ein homogenes Ablenkkfeld, das mit dem Magnetfeld des Leiterstromes zusammenwirkt. Der Punkt in dem Leiterquerschnitt soll andeuten, daß der Strom aus der Zeichenebene heraus gerichtet ist.

man zunächst sowohl das Magnetfeld, das auf den stromdurchflossenen Leiter wirkt, wie auch das Magnetfeld, das zum Leiterstrom gehört, durch Feldlinien dar (**Bild 17**). Dann erhält man aus den zwei Einzelfeldern durch

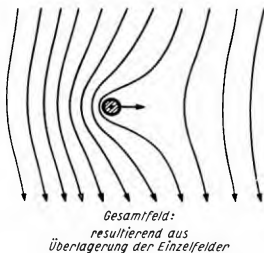


Bild 18. Das Gesamtfeld, das sich aus der Überlagerung der beiden Einzelfelder von Bild 17 ergibt.

Addition den Verlauf der zum Gesamtfeld gehörenden Feldlinien (**Bild 18**). Bild 18 macht es anschaulich, daß der Leiter hier nach rechts aus dem Feld herausgedrängt wird.

Ein bewegtes Elektron ist nichts anderes als ein Anteil eines elektrischen Stromes. Somit wird auf das Elektron, das ein Magnetfeld durchfliegt, eine Kraft ausgeübt. Sie steht senkrecht sowohl zur Bewegungsrichtung des Elektrons wie auch zur Richtung des Magnetfeldes. Besonders einfach wird die Bahn des Elektrons, wenn

1. das Elektron quer zu einem Magnetfeld, also senkrecht zu dessen Richtung, einfliegt und
2. im Raum des Magnetfeldes kein elektrisches Feld vorhanden ist, das die Bewegung des Elektrons beschleunigen oder verzögern könnte.

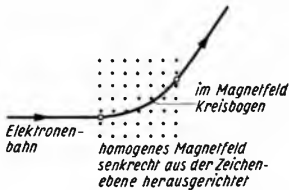


Bild 19. Ein homogenes, gegen den Beschauer gerichtetes Magnetfeld und ein durch dieses Magnetfeld abgelenkter Elektronenstrahl.

Das Elektron hat in diesem Fall eine Geschwindigkeit mit gleichbleibendem Betrag. Seine Flugrichtung aber wird durch das Magnetfeld laufend geändert. Im homogenen, ruhenden und zeitlich konstanten Magnetfeld ist die je Weg-Einheit erzielte Querablenkung konstant. Dazu gehört als Elektronenbahn ein Kreisbogen (**Bilder 19** und **20**).

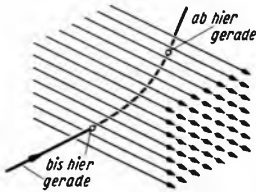


Bild 20. Der Fall des Bildes 19 perspektivisch dargestellt: Das Magnetfeld ist von links hinten nach rechts vorn gerichtet. Die Elektronen des Strahls bewegen sich von links vorn nach rechts hinten, wobei der Elektronenstrahl nach oben abgelenkt wird.

Im Hinblick auf die hohe Geschwindigkeit der Strahl-Elektronen können die Ablenkmagnetfelder als zeitlich konstant angesehen werden.

Die Ablenkspulen

Um die Ablenkmagnetfelder zu erzielen, mit denen die vertikale und die horizontale Ablenkung bewirkt werden, braucht man zwei Ablenkspulenpaare, die von den Ablenkströmen durchflossen werden. Diese Spulen-

paare sind verschieden ausgebildet. Das folgt schon daraus, daß die Ablenkfrequenz für die Zeile z. B. $625/2$ mal so hoch ist wie die für das Bild (CCIR-Norm).

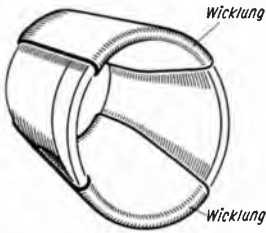


Bild 21. Der hier konisch ausgebildete Ferritring des Ablenkspulensatzes mit den beiden ihn umschließenden Spulen für die Vertikalablenkung

Teils um das Zustandekommen der magnetischen Ablenkkfelder zu erleichtern, teils aber auch, um störende Streufelder in der Umgebung zu vermeiden, sorgt man dafür, daß sich die beiden Magnetfelder teilweise in einem Ferritring schließen können.

Vertikal - Ablenkfeld

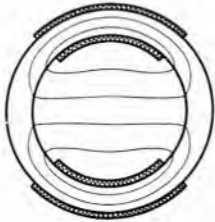
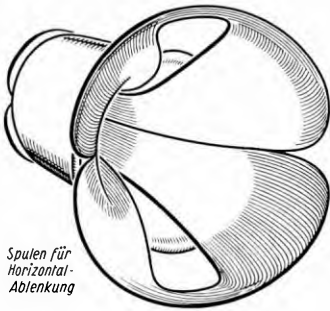


Bild 22. Die Anordnung von Bild 21 im Schnitt. Das Magnetfeld, das durch den in den Ablenkspulen fließenden Strom verursacht wird, ist durch vier Feldlinien veranschaulicht. Die beiden Spulen sind gegeneinander geschaltet, so daß sich das Feld nicht im Ferritring schließt, sondern den Rohrehals durchdringt

Die beiden Spulen, die das Spulenpaar für die vertikale Ablenkung bilden, sind meistens – gemäß **Bild 21** – um den Ring herumgewickelt. Man nennt eine solche Anordnung eine **Toroid-Spule**. In **Bild 22** ist dargestellt, wie das Magnetfeld zustande kommt, wenn dieses Spulenpaar von Strom durchflossen wird.

Die Spulen, die für die horizontale Ablenkung benutzt werden, sind sattelförmig ausgebildet und in den Ring eingelegt. Diese **Sattelspulen** umschließen also den Ring nicht. **Bild 23 a** zeigt die Anordnung. **Bild 23 b** veranschaulicht die untere der beiden gleich ausgebildeten Spulen. **Bild 24** deutet den Feldverlauf an, der sich bei stromdurchflossenen Spulen ergibt.

In den Bildern 22 und 24 sind die Magnetfelder, wie üblich, durch Feldlinien dargestellt. Die Zahl der Feldlinien in Bild 24 ist größer als die



Spulen für
Horizontal-
Ablenkung

Bild 23a. Das Ablenkspulenpaar für die Horizontalablenkung, eingelegt in den Ferritring von Bild 21, der hier ohne die in Bild 21 gezeigte Bewicklung dargestellt ist

Zahl der Feldlinien in Bild 22. Damit wird ausgedrückt, daß die Dichte des die horizontale Ablenkung bewirkenden Magnetfeldes größer sein muß



Bild 23b. Dieses Bild zeigt die untere Spule der Anordnung von Bild 23 a, und zwar ohne den Ferritring, in den beide Spulen eingelegt sind.

als die des Feldes für die vertikale Ablenkung. Die Zeilen sind nämlich länger als das Bild hoch ist.

Horizontal-Ablenkefeld

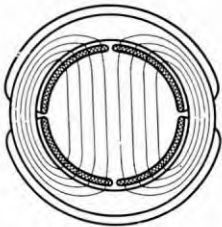


Bild 24. Das in den Ferritring eingelegte Spulenpaar für die Horizontalablenkung (Bild 23a) im Schnitt. Die geschnittenen Wicklungsquerschnitte sind schraffiert. In dem Bild ist angedeutet, wie je zwei Wicklungs-Querschnitte über das hintere, nach außen abgebogene Wicklungsende zusammenhängen. Der Feldverlauf wird durch acht Feldlinien veranschaulicht.

Spannungsgefälle und räumliches Gefälle

Zu einer elektrischen Spannung gehört ein elektrisches Spannungsgefälle. Herrscht beispielsweise zwischen zwei Platten, die sich im Abstand von

0,8 mm gegenüberstehen, eine Spannung von 600 V, so bedeutet das ein Spannungsgefälle von $600 \text{ V} : 0,08 \text{ cm} = 7500 \text{ V/cm}$ (**Bilder 25 und 26**).



Bild 25. Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes längs der Verbindungslinie zwischen den Mitten zweier ebener, einander parallel in einem Abstand von 0,8 mm gegenüberstehender Platten. Die rechte Platte hat gegen die linke eine Gleichspannung von + 600 V. Abhängig von der Entfernung ab Mitte der linken Platte ist die Spannung gegen diese Platte in Ordinatenrichtung aufgetragen. Jede Spannungsdifferenz kann man als Höhenunterschied auffassen.

Die Elektronen werden im Vakuum durch ein **Spannungsgefälle** zur positiven Elektrode hin beschleunigt. Daher ist die positive Richtung des Spannungsgefälles von der negativen nach der positiven Elektrode hin

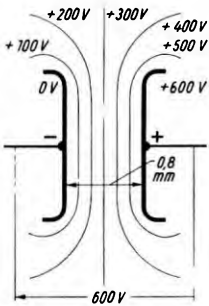


Bild 26. Zwei in der Richtung zur Zeichenebene lange Platten, die sich z. B. in Luft oder Vakuum gegenüberstehen. An diese Platten ist eine Spannung von 600 V angelegt. Die Spannungsverteilung zwischen den Platten und ihrer Umgebung läßt sich, wie hier angedeutet, durch Äquipotentiallinien veranschaulichen. Der Plattenabstand ist mit 0,8 mm angenommen. Das bedeutet ein Spannungsgefälle von $600 \text{ V} : 0,08 \text{ cm} = 7500 \text{ V/cm}$.

festgelegt. Das elektrische Spannungsgefälle beschleunigt die Elektronen, ähnlich wie etwa Stahlkugeln ein räumliches Gefälle hinunterrollen. Diese Übereinstimmung hat dazu geführt, die positive Spannung für solche „Spannungsgefälle“ senkrecht nach unten aufzutragen.

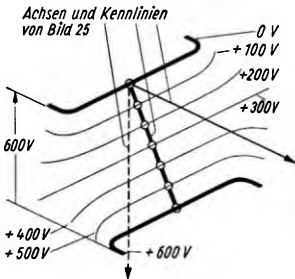


Bild 27. Die elektrische Spannung zu den Bildern 25 und 26 als Höhenunterschied und die Äquipotentiallinien demgemäß als Höhenlinien dargestellt. Die Linie 0 V gehört zur Oberfläche der linken Platte, die Linie + 600 V zur Oberfläche der rechten Platte. Der Zusammenhang mit Bild 25 ist durch die eingetragene Kennlinie gegeben.

Für das räumliche Gefälle spielen die Höhenlinien (Linien gleicher Höhe) (**Bilder 27 und 28**) dieselbe Rolle wie für das Spannungsgefälle die

Äquipotentiallinien. Das sind Linien, zu denen jeweils gleiche Spannungen gehören. Das Bild 26 enthält z. B. die Linien für + 100, + 200, + 300, + 400 und + 500 V (gegen die links dargestellte negative Platte).

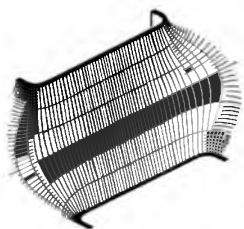


Bild 28. Das räumliche Gefälle, das sich zu einer Darstellung gemäß Bild 27 ergibt. Die die Äquipotentiallinien senkrecht überkreuzenden Linien geben den Verlauf des Gefälles an.

Die Elektronen werden stets in Richtung des Spannungsgefälles, also für die bildliche Darstellung senkrecht zu den Äquipotentiallinien beschleunigt.

Hierfür gilt allgemein: Ist das Gefälle positiv (also in Bewegungsrichtung von einer negativen zu einer positiven Elektrode), so nimmt der Betrag der Geschwindigkeit zu. Handelt es sich hingegen um ein negatives Gefälle (also gewissermaßen um einen Anstieg), so wird das Elektron abgebremst.

Durch Gefälleverlauf gekrümmte Elektronenbahnen

Gerät ein Elektron in ein Gebiet, in dem die Äquipotentiallinien nicht senkrecht zu seiner ursprünglichen Bahn stehen, so wird es abgelenkt: Seine Bahn krümmt sich in dem durch **Bild 29** veranschaulichten Sinn.

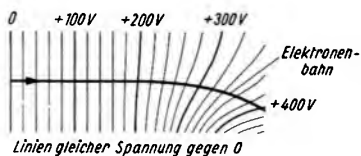


Bild 29. Ein elektrisches Feld, das in seinem rechten Teil inhomogen ist, mit einem Elektronenstrahl, der durch dieses Feld beschleunigt und infolge der Inhomogenität dieses Feldes abgelenkt wird.

Besonders deutlich wird das Zustandekommen der Bahnkrümmung an Hand des **Bildes 30**. In ihm ist angenommen, daß das mit 200 V beschleunigte Elektron in ein senkrecht zu seiner Bahn liegendes Gefälle gelangt. Hierbei ändert sich an dem in Bild 30 von links nach rechts gerichteten Geschwindigkeitsanteil v nichts. Es ergibt sich aber ein zusätzlicher Geschwindigkeitsanteil quer zu v . Dieser zusätzliche Geschwindigkeitsanteil wächst mit der Wurzel aus der vom Elektron durchlaufenen **Querspannung**

an (siehe Seite 46). Die Gesamtgeschwindigkeit ermittelt man als vektorielle Summe beider Geschwindigkeitsanteile (entsprechend dem Parallelogramm der Kräfte). Solange sich das Elektron in dem Quergefälle bewegt, nimmt seine Gesamtgeschwindigkeit weiter zu, wobei die Richtung der Gesamtgeschwindigkeit immer stärker von der ursprünglichen Richtung abweicht. Dabei entsteht im homogenen Quergefälle (Querfeld) eine parabelförmige Bahn.

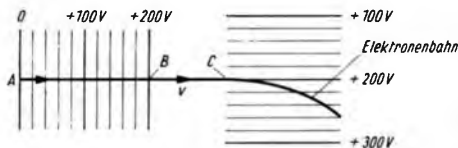


Bild 30. Ein Elektronenstrahl, auf den nacheinander zwei elektrische Felder einwirken. Das linke Feld beschleunigt die Elektronen des Strahls von links nach rechts. Im rechten Feld werden die Elektronen weiterhin, aber quer zur ursprünglichen Richtung beschleunigt. Das verursacht ein Erhöhen ihrer Geschwindigkeit und eine Krümmung ihrer Bahn.

Ist im Querfeld z. B. gerade die Spannung durchlaufen, die der Fluggeschwindigkeit des in das Querfeld eintretenden Elektrons gleichkommt, so hat sich damit die Flugrichtung um 45° geändert und die Geschwindigkeit auf das $\sqrt{2}$ -fache erhöht (**Bild 31**).



Bild 31. Wie sich die Geschwindigkeiten zusammensetzen, die durch die Beschleunigungen im Längs- und Querfeld erzielt werden. Hier ist angenommen, daß die ursprüngliche und die durch das Querfeld hinzukommende Geschwindigkeit gleich groß sind. Die Richtung der Gesamtgeschwindigkeit weicht demgemäß von der Richtung der ursprünglichen Geschwindigkeit um 45° ab.

In einem Magnetfeld wird, entsprechend Seite 23, nur die Geschwindigkeitsrichtung, nicht aber der Geschwindigkeitsbetrag geändert. Ein elektrisches Querfeld ändert beides.

Strahlstromsteuerung

Wenn die Kathode Elektronen emittiert, entsteht unmittelbar vor ihr eine negative **Raumladung**: Eine Elektronenwolke lädt den Raum dort negativ auf. Die Raumladung bewirkt, daß alle emittierten Elektronen auf die Kathode zurückfallen, sofern kein Spannungsgefälle vorhanden ist, das die Raumladungswolke auflockert und Elektronen von ihr weg beschleunigt. Wenn man der Steuerelektrode gegen die Kathode eine genügend hohe negative Spannung gibt, können keine Elektronen den der Kathode vorgelagerten Raum verlassen, obwohl hinter der Steuerelektrode positive

Elektroden liegen. Auf diese Weise wird also der Elektronenstrahl unterdrückt und die Röhre gesperrt (**Bild 32**). Macht man die negative Spannung, die die Steuerelektrode gegen die Kathode hat, geringer, so wird

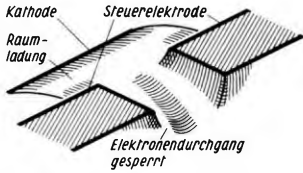


Bild 32. Die Kathode und ein Stück der Steuerelektrode mit dem Spannungsgefälle, das zustande kommt, wenn die Steuerelektrode gegen die Kathode eine höhere negative Spannung hat. Hierzu gibt es in der Nachbarschaft der Kathode zunächst einmal einen Anstieg. So werden die emittierten Elektronen daran gehindert, den der Kathode unmittelbar vorgelagerten Raum zu verlassen.

das Spannungsgefälle in unmittelbarer Nähe der Kathode positiv. Ein diesem Gefälle entsprechender Bruchteil der von der Kathode emittierten Elektronen hat hiermit die Möglichkeit, die Umgebung der Kathode zu

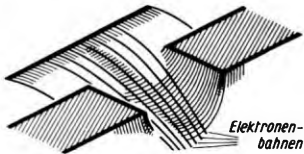


Bild 33. Hier ist die negative Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode wesentlich geringer. Demgemäß neigt sich unter Einwirkung der positiven Beschleunigungselektrode die Talsohle des Gefälles schon in unmittelbarer Nähe der Kathode. Folglich können Elektronen, die aus der Kathode emittiert werden, das Loch der Steuerelektrode passieren.

verlassen. Das ergibt einen Strahlstrom (**Bild 33**). Dieser fällt um so höher aus, je kleiner die negative Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode ist (**Bild 34**).

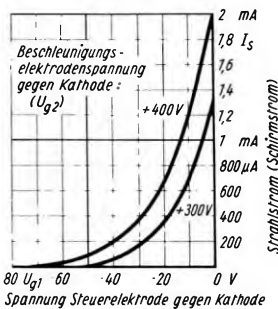


Bild 34. Abhängigkeit des Strahlstroms (des Schirmstroms) von der Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode für zwei verschiedene Spannungen der Beschleunigungselektrode gegen die Kathode. Diese Kennlinien entsprechen den Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinien der Verstärkerrohren für zwei verschiedene Schirmgitterspannungen. Die Anodenspannung hat für beide Kennlinien denselben Wert.

Wie schon erwähnt, wird im Betrieb der Bildröhre die den Strahlstrom und damit die Bildhelligkeit steuernde Spannung einer negativen Vorspannung der Steuerelektrode gegen die Kathode überlagert. Die Vor-

spannung nennt man wie bei der Verstärkerröhre meistens **Gittervorspannung**.

Die **Bilder 35** und **36** zeigen die Steuerung einer Fernseh-Bildröhre im Vergleich zu der einer Verstärkerröhre durch eine sinusförmige Wechselspannung. Die Verstärkerröhre wird im allgemeinen, wie in Bild 36 veranschaulicht, symmetrisch zum Arbeitspunkt gesteuert. Bei der Bildröhre

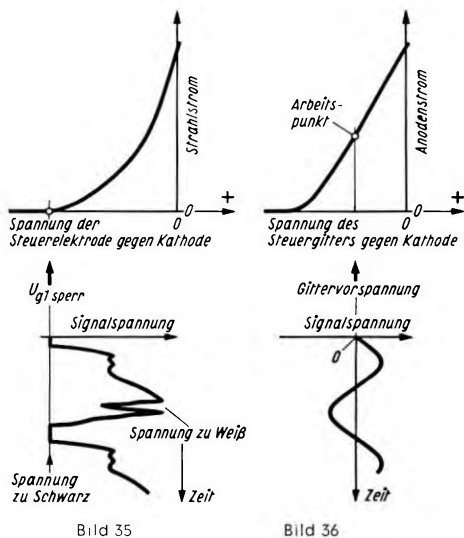


Bild 35. Steuerung des Strahlstroms einer Fernseh-Bildröhre. Gesteuert wird durch die Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode. Dabei kann statt der Kathode auch die Steuerelektrode an Masse liegen und die Kathodenspannung schwanken. Es kommt nur darauf an, daß die zwischen den beiden Elektroden auftretende Spannung schwankt. Richtige Steuerung verlangt: Die zu schwarzen Bildstellen gehörende Gesamtspannung zwischen Steuerelektrode und Kathode muß mit der Sperrspannung übereinstimmen.

Bild 36. Steuerung einer Verstärkerröhre im Normalfall (A-Betrieb). Hier wird nicht einseitig gesteuert wie bei der Fernseh-Bildröhre. Bei der Steuerung schwankt die Spannung vielmehr nach beiden Seiten. Die Schwankungen erfolgen um den Wert der Vorspannung herum. Zu ihr ergibt sich etwa die Hälfte des Anodenstromes, der zur Gitterspannung Null gehören würde.

ist der Fixpunkt mit $U_{g1\text{ sperr}}$ gegeben. Diese Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode sperrt den Strahlstrom. Das ergibt einen schwarz erscheinenden Bildpunkt. Jedes Aufhellen des Bildpunktes bedeutet ein Verschieben der Steuerspannung in positiver Richtung.

Bei Verstärkerröhren legt man üblicherweise die Kathode für die Signalspannung an Masse. Hierbei herrscht die Signalspannung am Gitter gegen Masse (**Gittersteuerung**).

Bei der Bildröhre hingegen besteht eine solche Masseverbindung meistens mit der Steuerelektrode. Damit tritt die Signalspannung an der Kathode gegen Masse auf (**Kathodensteuerung** bzw. Gitterbasisschaltung).

In beiden Fällen handelt es sich um ein Wirksamwerden der Signalspannung zwischen Steuerelektrode und Kathode.

Der Kathode benachbarte Linse

Steuerelektrode und Beschleunigungselektrode (Schirmgitter) führen die Elektronenbahnen des die Kathode verlassenden Strahlstromes zusammen. Dies wird auf Grund des elektrischen Spannungsgefälles erreicht, das **Bild 37** durch Äquipotentiallinien veranschaulicht.

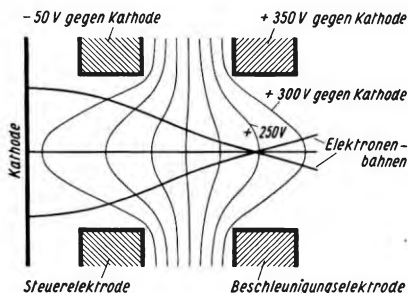


Bild 37. Der Verlauf der Äquipotentiallinien zwischen der Kathode und den beiden auf sie folgenden Elektroden des Strahlensystems. In das Bild sind außerdem die mittlere Elektronenbahn und die beiden äußeren Elektronenbahnen eingezeichnet. Diese Bahnen überkreuzen sich im **Bündelungspunkt**.

In **Bild 38** ist das zugehörige Spannungsgefälle als räumliches Gefälle dargestellt. Wie man sieht, bildet das Gefälle eine nahe der Kathode beginnende Mulde, deren Sohle geneigt ist. Die Elektronen, die von der

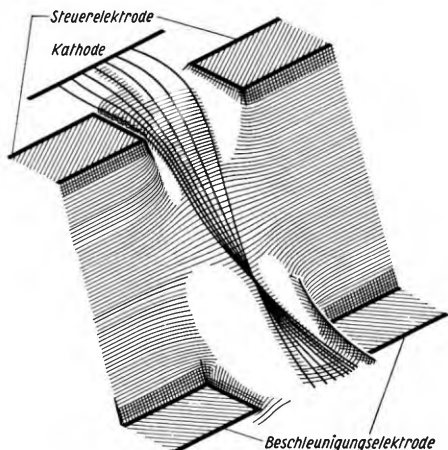


Bild 38. Das, was Bild 37 zeigt, als räumliches Gefälle veranschaulicht. Man sieht, wie die Elektronenbahnen auf Grund des Gefällesverlaufes zusammengeführt werden und wie sie hinter dem Bündelungspunkt wieder auseinanderstreben.

der Kathode vorgelagerten Elektronenwolke stammen, werden in der Mulde zusammengeführt und laufen dem Gefälle in der Weise entlang, wie Bild 38 das zu erkennen gibt. Man wählt die Verhältnisse so, daß es

unter dem Einfluß der Mulde sogar zu einem Überkreuzen der Elektronenbahnen kommt.

Die tatsächlichen Abmessungen der Elektroden sind schon in Bild 9, erst recht aber in Bild 37 stark vergrößert dargestellt. Die beiden Löcher in der Steuerelektrode und in der darauffolgenden Beschleunigungselektrode haben in Wirklichkeit Durchmesser, die kleiner sind als 1 mm! Und die gegenseitigen Elektrodenabstände, die sehr genau eingehalten werden müssen, sind entsprechend gering.

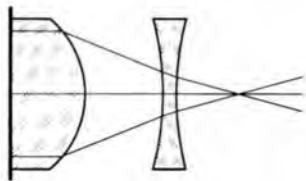


Bild 39. Ein Linsensystem, das sich für Lichtstrahlen ähnlich auswirkt wie das Spannungsgefälle gemäß Bild 37 auf die Elektronenbahnen.

Die zwei auf die Kathode folgenden Elektroden stellen, wie schon angedeutet, für die Elektronenbahnen etwas Ähnliches dar, wie für Lichtstrahlen ein Linsensystem, das aus einer Sammellinse und einer darauffolgenden, wenig wirksamen Zerstreuungslinse besteht (**Bild 39**).

Elektrostatistische und optische Linsen

Der Vergleich elektrischer Linsen mit optischen Linsen (Bild 37 mit Bild 39) ist recht anschaulich. Doch bestehen Unterschiede.

Eine optische Linse wird durch einen festen Körper dargestellt. Sie hat eine Oberfläche, die sie klar gegen ihre Umgebung abgrenzt. In ihr nutzt man den von Luft abweichenden Brechungsindex des Linsenmediums aus.

Eine elektrische Linse hat keine Oberflächen, an denen sie beginnt bzw. endet. In einem System elektrischer Linsen gibt es demgemäß keine scharf zu unterscheidenden einzelnen Linsen, sondern allmähliche Übergänge.

In der elektrischen Linse sind an Stelle von Medien-Verschiedenheiten Kräfte wirksam, wie wir sie an Hand der Bilder 29 und 30 studiert haben. Die ursprüngliche Geschwindigkeit und die durch in der Linse wirkende Kräfte erzeugte zusätzliche Geschwindigkeit addieren sich vektoriell. So ist für die Wirkung einer elektrischen Linse die Elektronengeschwindigkeit von entscheidendem Einfluß:

Je rascher die Elektronen sich bewegen, desto schneller passieren sie eine elektrische Linse und desto geringer ist die Geschwindigkeitsände-

rung, die in der Linse quer zur Einfallrichtung der Elektronen erfolgt. Die Abhängigkeit der Auswirkung einer elektrischen Linse von der Elektronengeschwindigkeit läßt sich an Hand der Bilder 30 und 31 leicht einsehen.

Beschleunigende und nichtbeschleunigende elektrostatische Linsen

Die Linse, die wir in den Bildern 37 und 38 betrachtet haben, ist mit zwei Elektroden aufgebaut. Diese sind hier Lochblenden. Wesentlich ist, daß die zweite Elektrode gegen die erste eine positive Spannung aufweist.

Die Elektronen, die in ein solches Linsensystem eintreten, werden demgemäß innerhalb des Systems beschleunigt: Sie verlassen das System mit einer Geschwindigkeit, die höher ist als ihre Eintrittsgeschwindigkeit. Folglich nennt man derartige Linsen „**Beschleunigungslinsen**“.

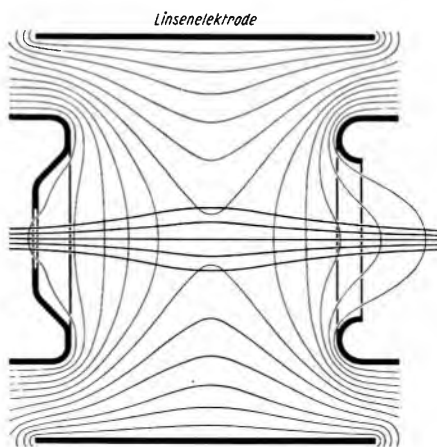


Bild 40. Die Aquipotentiallinien für den Abschnitt des Strahlsystems, der durch die Linsenelektrode (z. B. +350V) und durch die in sie hineinragenden Enden der beiden Anodenteile (z. B. 16 kV gegen Kathode) gebildet wird. Die Elektronenbahnen werden hier zunächst etwas auseinandergebogen und dann wieder so zusammengeführt, daß sich auf dem Bildschirm ein der Zeilenhöhe entsprechender Strahldurchmesser ergibt.

Es handelt sich um einen Ausschnitt aus Bild 12.

Eine weitere Linse bildet sich zwischen den beiden Teilen des Anodenrohres unter Mitwirkung des die Unterbrechungsstelle umhüllenden Zylinders aus. Dieser Zylinder hat eine niedrige positive Spannung gegen die Kathode. Die beiden Anodenteile liegen an der Hochspannung. Eine Linse solcher Art beschleunigt die Elektronen nicht, da zwischen Eintritts- und Austrittselektrode (im vorliegenden Fall zwischen erstem und zweitem Teil der Anode) keine Spannung herrscht. Elektrische Linsen, die derart aufgebaut sind, nennt man „**Einzellinsen**“.

Die zu einer Einzellinse gehörende Elektrode niederer Spannung heißt **Linsenelektrode** oder hier auch **Fokussierungselektrode**.

Bild 40 veranschaulicht die Spannungsverteilung in einer Einzellinse und die Wirkung der Linse auf den Elektronenstrahl. In **Bild 41** ist das zugehörige Spannungsgefälle als räumliches Gefälle dargestellt. Auch hier entsteht eine Mulde. Diese ist in der Mitte hochgewölbt.

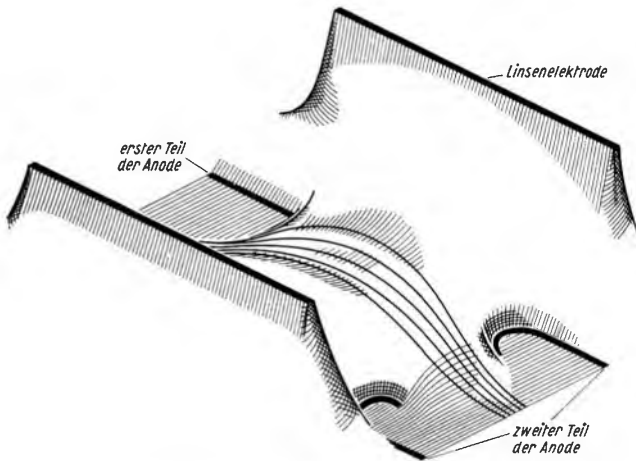


Bild 41. Die in Bild 40 durch die Äquipotentiallinien dargestellten Verhältnisse hier als räumliches Gefälle veranschaulicht

Eine Einzellinse entspricht einem optischen Linsensystem mit einer Sammellinse, die zwischen zwei weit schwächere Zerstreulinsen eingefügt ist.

Magnetisches Ablenken des Elektronenstrahls

Das Bild kommt auf dem Schirm der Fernseh-Bildröhre dadurch zustande, daß der Elektronenstrahl es Punkt für Punkt aufzeichnet. Das geschieht zeilenweise, wobei die Zeilen untereinander geschrieben werden. Hierzu gehören zwei Ablenkungen, eine horizontale für die Zeile und eine vertikale für das Bild.

Beide Ablenkungen sind im Prinzip sowohl elektrisch wie magnetisch möglich. Für Elektronenstrahl-Oszillographen arbeitet man mit elektrischer Ablenkung, während die Strahlablenkung in den Bildröhren magnetisch vorgenommen wird.

Mit den Bezeichnungen des **Bildes 42** ergibt sich hierzu:

$$x \approx 0,3 \cdot \frac{l \cdot L \cdot B}{\sqrt{U}}$$

worin U in Volt, l , L und x in Zentimeter und B in Gauß einzusetzen sind

Für den Halbmesser r der Kreisbahn gilt, wenn wiederum U die Spannung bedeutet, die der senkrecht zum Magnetfeld gerichteten Geschwindigkeit entspricht, und B die Dichte des homogenen Magnetfeldes darstellt, gemäß Bild 42

$$r = 3,37 \cdot \frac{\sqrt{U}}{B}$$

worin für r das Zentimeter, für die durchlaufene Spannung U das Volt und für B das Gauß gelten.

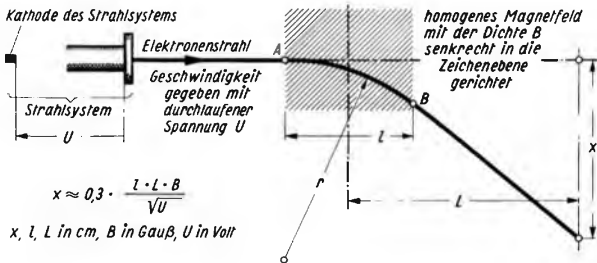


Bild 42. Noch einmal die magnetische Ablenkung. Das Magnetfeld hat die dem Bild 19 entgegengesetzte Richtung. Die Ablenkung erfolgt daher nach unten.

Man lenkt also für die Zeile in der Horizontalen und für das Bild in der Vertikalen ab, indem man die jeweils zugehörige Felddichte B abhängig von der Zeit ändert: Man gibt der Felddichte z. B. für den Zeilenanfang einen hohen Wert in der einen Richtung. Dann läßt man diesen Wert so abnehmen, daß er für die Zeilenmitte gleich Null wird. Anschließend bewirkt man eine weitere Änderung im gleichen Sinn. Das heißt: Man sorgt

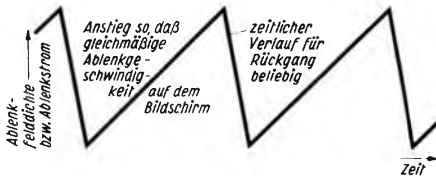


Bild 43. Der zeitliche Verlauf eines Ablenkstromes und damit auch der der Dichte eines magnetischen Ablenkfeldes

dafür, daß der Wert der Felddichte mit entgegengesetztem Vorzeichen wie zuvor nun wieder ansteigt, bis der zum Zeilenende gehörende Wert erreicht ist. Von diesem Wert muß die Felddichte in der kurzen dafür vorgesehenen Zeit wieder auf ihren zum Zeilenanfang notwendigen Wert zurückgehen. Das geschieht mit einem dazu passenden zeitlichen Verlauf des Ablenkstromes (**Bild 43**).

Warum hier magnetische Ablenkung?

In Oszillographenröhren wird der Elektronenstrahl elektrisch abgelenkt, und zwar in der Weise, wie es durch Bild 30 angedeutet ist.

Die **elektrostatische Ablenkung** hat ihre Vorzüge: Man braucht für sie nur Ablenkplatten in der Röhre und keine teuren Spulen. Außerdem ist der Leistungsaufwand für die elektrische Ablenkung verschwindend gering. Schließlich kann man den Ablenkbereich in weiten Grenzen wählen, so daß es möglich ist, Oszillographen mit elektrischer Ablenkung für Meßgrößen zu benutzen, die an keine bestimmte Frequenzen gebunden sind.

Die freie Wahl der Frequenz ist für Bildröhren belanglos. Selbst wenn man die Bildröhre in Empfängern für mehrere Fernsehnormen verwenden möchte, handelt es sich doch um ganz bestimmte Ablenkfrequenzen, die einigermäßen nahe beieinander liegen und auf die sich die Schaltung leicht umstellen läßt.

Ablenkplatten innerhalb der Bildröhre würden eine größere Baulänge erfordern. Sie aber wäre äußerst unerwünscht: Man tut bei den Bildröhren ja sehr viel, um an Baulänge zu sparen.

Außerdem kann man mit der elektrischen Ablenkung nicht so ohne weiteres die großen Ablenkwinkel erzielen, die für Bildröhren, wieder im Interesse einer kleinen Baulänge, ausgenutzt werden.

Hierzu kommt noch ein recht wichtiger Punkt: Mit den Maßen bzw. Bezeichnungen des Bildes 42 ergibt sich für die elektrische Ablenkung, wenn der gegenseitige Abstand der zwei Ablenkplatten d und die zwischen diesen Platten herrschende Ablenkspannung U_x genannt werden:

$$x = 0,5 \cdot \frac{l \cdot L}{d} \cdot \frac{U_x}{U}$$

Das heißt: Bei Erhöhen der Bildröhren-Anodenspannung U muß die Ablenkspannung U_x im gleichen Maß hinaufgesetzt werden. Die im vorhergehenden Abschnitt für die magnetische Ablenkung enthaltene Formel besagt, daß die zu gleichem Ablenkwinkel erforderliche Magnetfeldstärke hingegen nur der Wurzel aus der Anodenspannung proportional ist.

Die Tatsache, daß im Fernsehempfänger jeweils mit festen Ablenkfrequenzen gearbeitet wird, macht es überdies möglich, auch für die magnetische Ablenkung mit verhältnismäßig geringer Leistung auszukommen: Man speichert Arbeit, die beim Abbau des Magnetfeldes frei wird, um sie nachher zum Ablenken wieder zu verwenden. Ferner nutzt man die elektromagnetische Schwingung aus, deren Frequenz durch die Induktivitäten der Ablenkspule und des Zeilentransformators sowie durch

deren Wicklungskapazitäten gegeben ist, um den raschen Rücklauf für die Zeilenablenkung zu erzwingen.

Magnetische Ablenkung des Elektronenstrahls verwendet man außer für Zeile und Bild auch in magnetischen Linsen sowie zum Zentrieren des unabgelenkten Strahles und für die Ionenfalle. Diese Ablenkungen sollen nun behandelt werden.

Magnetische Linsen

Fernseh-Bildröhren mit großen Schirmabmessungen sind heute, wie die früheren Bildröhren-Ausführungen allgemein, meistens für **magnetische**

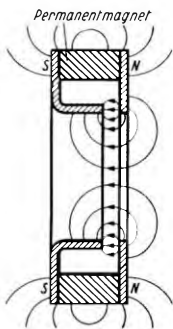


Bild 44. Eine magnetische Linse, die aus einem Dauermagnetring, einem ebenen Eisenblechring und einem als Düse ausgebildeten Weicheisenring gebildet ist. Zum Einstellen der für das Fokussieren notwendigen Magnetfeldstärke im Röhrenhals verwendet man einen zylindrischen, axial verschiebbaren Eisenblechring. Mit ihm kann der Luftspalt des Magnetringes einstellbar verändert werden.

Fokussierung gebaut. Man verwendet also hier statt der eingebauten Einzellinse ein von außen einwirkendes Magnetfeld. Dieses wird gemäß

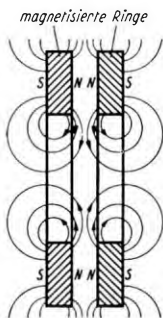


Bild 45. Eine andere magnetische Linse, bestehend aus zwei Dauermagnet-Ferritringen, die beide axial in entgegengesetzter Richtung magnetisiert sind. Die Auswirkung der Linse, also ihre Brennweite, läßt sich durch Verändern des gegenseitigen Abstandes der beiden Ringe einstellen. Obwohl das Magnetfeld auch im Bereich des Röhrenhalses hier gänzlich anders verläuft als für eine Anordnung gemäß Bild 44, ist die fokussierende Wirkung auf den Elektronenstrahl in grundsätzlich gleicher Weise vorhanden wie dort.

Bild 44 mit einem Magneten, oder, bei anderem Verlauf des Magnetfeldes, entsprechend **Bild 45** mit zwei Magneten erzielt.

Bild 46 zeigt, wie der Elektronenstrahl durch die Linse nach Bild 44 beeinflusst wird. Daß sich dabei die Elektronenbahnen zusätzlich zu ihrer Zusammenführung verwinden, beeinträchtigt die Linsenwirkung nicht. Um das Verwinden des Elektronenstrahls zu veranschaulichen, sind in Bild 46 unter dem Strahlverlauf vier Strahlquerschnitte eingetragen und in ihnen jeweils die acht betrachteten Elektronenbahnen markiert.

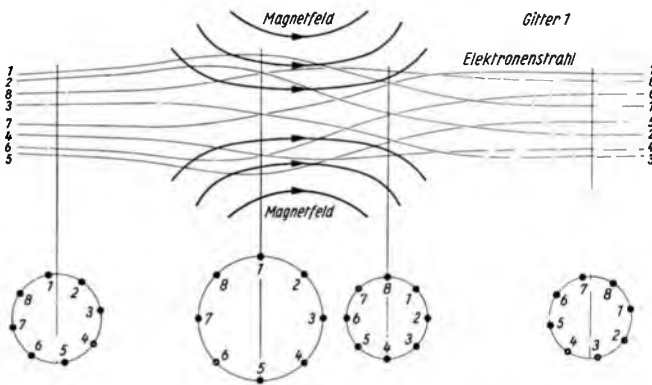


Bild 46. Auswirkung einer Linse gemäß Bild 44 auf einen Elektronenstrahl, der hier durch 8 Elektronenbahnen veranschaulicht ist. Die Elektronenbahnen des in die Linse eintretenden Elektronenstrahls divergieren schwach. Sie werden durch die Linse zum Konvergieren gebracht. Die Linse führt Elektronenbahnen nicht nur zusammen, sondern verdrillt sie miteinander. Das zeigen die unten eingetragenen Strahlquerschnitte.

Zum Einstellen der für das richtige Fokussieren im Einzelfall notwendigen Magnetfeldstärke verwendet man in einer Anordnung nach Bild 44 einen verstellbaren magnetischen Nebenschluß, während man dafür bei einem System gemäß Bild 45 den Abstand zwischen beiden Ringen ändert.

Der Zentriermagnet

Es ist notwendig, den Elektronenstrahl so auszurichten, daß die Bildmitte auf die Mitte des Schirmes trifft. Das geschieht mit Hilfe eines Zentriermagneten. Er bewirkt ein Magnetfeld, das quer durch den Röhrenhals geht und das sich sowohl in seiner Dichte wie auch bezüglich seiner Richtung einstellen läßt. Ein einstellbarer Zentriermagnet ist unter anderem wegen des Magnetfeldes der Erde erforderlich. Der Zentriermagnet ist z. B. gemäß **Bild 47** aufgebaut: Zwei Eisenbügel umschließen einerseits den Röhrenhals und andererseits einen kleinen, zylindrischen, quermagneti-

sierten Dauermagneten. Um die Magnetfeldichte im Röhrenhals zu verändern, verdreht man den Dauermagneten. In der Lage, in der eine Pol des Dauermagneten an dem einen Eisenbügel und sein anderer Pol an dem



Bild 47. Zentriermagnet, bestehend aus einem drehbar angeordneten Dauermagnetzylinder und zwei Weicheisenklammern, die mittels einer Feder zusammengehalten sind

anderen Eisenbügel anliegt, erreicht das Magnetfeld im Röhrenhals seine größte Dichte. Dreht man den Magneten um ein Viertel einer Umdrehung aus dieser Stellung heraus, so wird die Magnetfeldichte im Röhrenhals zu Null. Da man den ganzen Zentriermagnet zusätzlich auf dem Röhrenhals

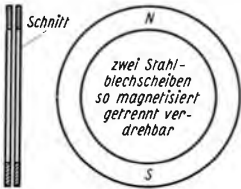


Bild 48. Zentriermagnet aus zwei gestanzten in Durchmesser-richtung magnetisierten Stahlblechringen, die zum Ändern der Zentrierfeldichte gegeneinander und zum Ändern der Richtung dieses Feldes gemeinsam verdreht werden. Während das Magnetfeld zu Bild 45 rotations-symmetrisch ausgebildet ist, geht es hier quer durch den Rohrenhals

verdrehen kann, läßt sich dem Magnetfeld jede beliebige Richtung geben. Eine andere (modernere) Ausführung zeigt **Bild 48**: In einem dort nicht dargestellten Halter sind zwei magnetisierte Stahlblechringe getrennt verdrehbar angeordnet.

Der Knick im Strahlsystem

Das Strahlsystem einiger Typen von Fernseh-Bildröhren ist geknickt ausgebildet. **Bild 50** gibt hierzu ein Beispiel. Mit diesem Knick (**Bild 49**) verhindert man, daß negative Ionen auf die Leuchtschicht gelangen.

Solche Ionen entstehen teils an der Kathode bei der Emission, teils unmittelbar vor ihr. Sie ergeben sich dort aus den niemals völlig zu vermeidenden geringen Gasresten im Röhrenkolben, und zwar durch Anlagern von Elektronen an die Atome bzw. Moleküle, die diese Gasreste darstellen. In der Nähe der Kathode sind die Elektronengeschwindigkeiten noch gering, was die Möglichkeit des Anlagerns von Elektronen an die Gasteilchen erhöht. Ein Atom oder Molekül, woran wenigstens

ein Elektron angelagert ist, hat damit eine negative Ladung und stellt demgemäß ein **negatives Ion** dar.

Alle diese Ionen haben Massen, die die Masse eines Elektrons um mehrere Zehnerpotenzen übersteigen.

Die negativen Ionen werden durch die im Strahlensystem vorhandenen Spannungsgefälle in gleichem Sinn beschleunigt wie die aus der Kathode emittierten Elektronen. Auf Grund ihrer großen Massen sind die

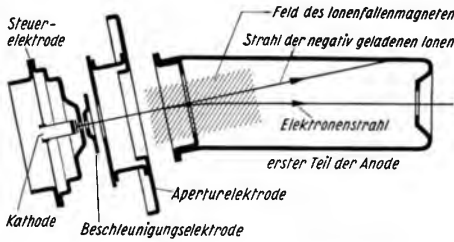
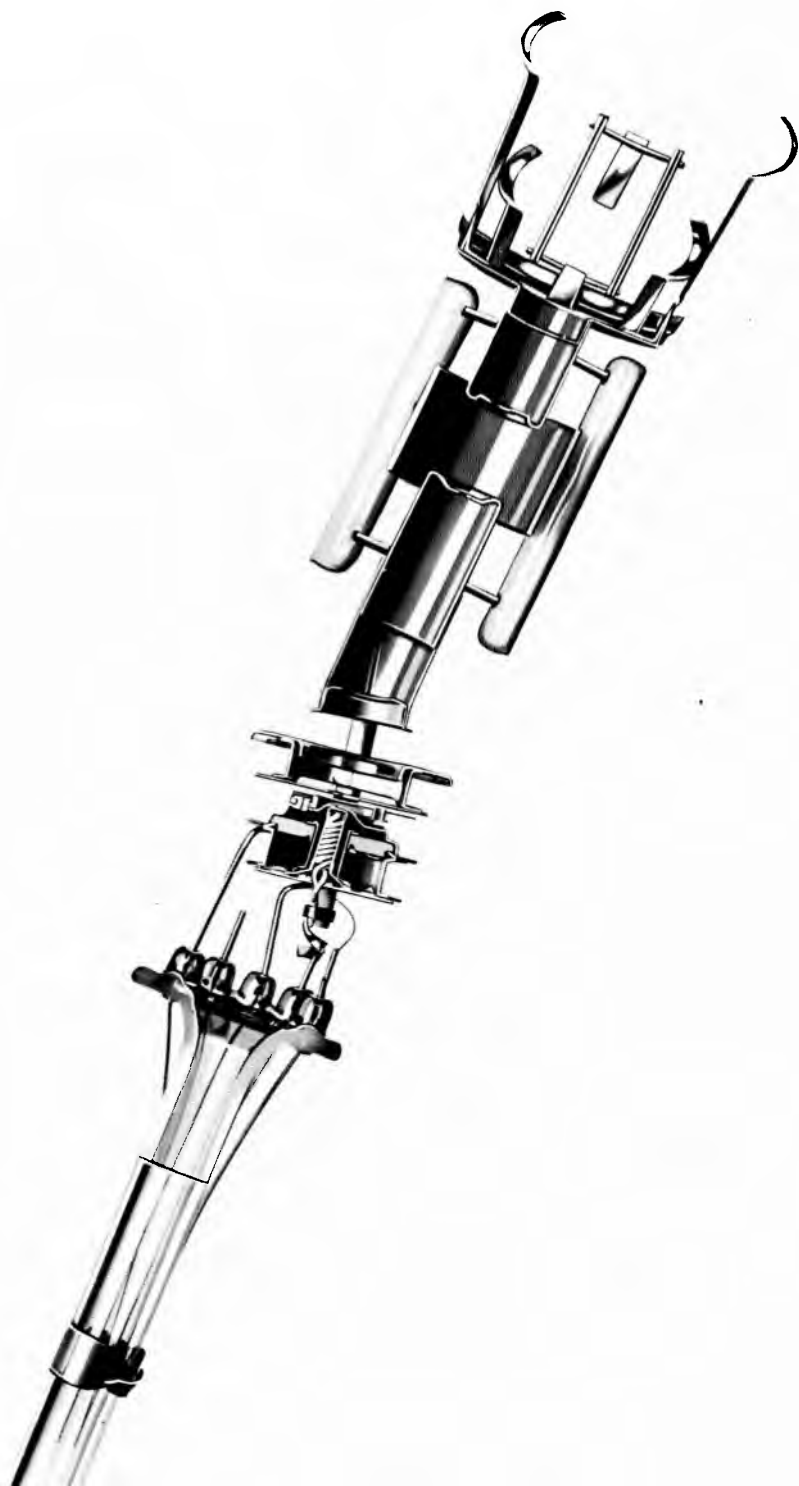


Bild 49. Ein geknicktes Strahlensystem mit dem durch Schraffur angedeuteten Magnetfeld des Ionenfallenmagneten. Dieses Feld ist in Zeichenebene hinein- gerichtet. Vergleiche hierzu Bild 42.

negativen Ionen durch die magnetischen Ablenkfelder weit weniger beeinflussbar als die Elektronen (siehe Seite 42). Sie trafen also durchweg auf einen verhältnismäßig kleinen, in der Bildschirmmitte gelegenen Fleck. Diese Konzentration auf einen engbegrenzten Bezirk des Schirmes würde die Leuchtschicht dort beschleunigt altern lassen, wenn sie hiergegen nicht durch eine Aluminiumfolie geschützt wäre. Die viel größere Masse der Ionen gegenüber den Elektronen ist hierbei, abgesehen von der dadurch bedingten verringerten Ablenkung, belanglos: Ein Ion mit der Ladung q eines Elektrons bekommt unter dem Einfluß einer beschleunigenden Spannung U die gleiche kinetische Energie wie ein Elektron, nämlich $q \cdot U$. Man darf sich hier nicht durch den Vergleich des elektrischen Spannungsgefälles mit einem räumlichen Gefälle täuschen lassen: Im elektrischen Feld ist die beschleunigende Kraft der elektrischen Ladung des Ions und nicht seiner Masse proportional!

Mit dem Knick wird vermieden, daß die negativen Ionen auf den Schirm gelangen können: Man nutzt die Tatsache aus, daß die Ionen infolge ihrer großen Massen magnetisch nur wenig abgelenkt werden, um sie hinter dem Knick abzufangen.

Elektronen wie Ionen würden ohne besondere Vorkehrungen dem Knick nicht folgen, sondern geradeaus weiterfliegen. Wegen der kleinen Elektronenmasse ist es möglich, die Elektronenbahnen dem Knick des



Strahlsystems gemäß abzubiegen, während die Ionen praktisch ihre Richtung beibehalten und damit auf die Innenwand des ersten Anodenteiles aufprallen (Bild 49). Dort können die Ionen keinen Schaden stiften. So ist



Bild 51. Ein Ausführungsbeispiel für einen Ionenfallenmagneten. Dieser Magnet ist aus zwei magnetisierten Permanentmagneten und einer federnden Klammer zusammengesetzt.

es erklärlich, daß man den Knick im Strahlsystem (oder eine ähnlich wirkende Vorkehrung) **Ionenfalle** nennt. Als Ergänzung der Ionenfalle braucht man den **Ionenfallenmagneten (Bild 51)**, dessen Magnetfeld die Elektronen davor bewahrt, mit den Ionen in die Falle zu gehen. Man verwendet das Feld des Ionenfallenmagneten also zum Ablenken des Elektronenstrahls.

Die im Abschnitt „Magnetisches Ablenken des Elektronenstrahls“ (Seite 34) enthaltene Formel kann man mit Ladung q und Masse m eines Elektrons oder Ions auch so anschreiben:

$$x \approx \frac{l \cdot L \cdot B}{V U} \cdot \sqrt{\frac{q}{2 m}}$$

Diese Formel läßt erkennen, daß bei gleicher Ladung und 1000facher Masse des Ions gegenüber dem Elektron die Ablenkung x für das Elektron ungefähr 30mal so groß ausfällt wie für das Ion.

Die weit verbreitete Ansicht, der Knick des Strahlsystems diene nebenbei auch zum Schutz der Kathode vor dem Aufprall positiver Ionen, trifft nur sehr bedingt zu: Positive Ionen entstehen schon vor der Beschleunigungselektrode. Der Knick aber liegt gemäß Bild 49 in dem weiter von der Kathode entfernten ersten Anodenteil.

Einen gewissen Schutz der Kathode gegen den Aufprall positiver Ionen bietet die Steuerelektrode. Sie kann zwar die durch ihr Loch hindurch unmittelbar auf die Kathode fokussierten Ionen nicht von dieser abhalten, fängt aber die anderen positiven Ionen ab.

Im übrigen wurde die Ionenfalle durch stetiges Verbessern des Pumpverfahrens und damit des Vakuums sowie natürlich auch durch das Aluminisieren des Bildschirms in wachsendem Maße überflüssig. Das ist

der Grund, warum man nun auf den Knick im Strahlsystem verzichtet und gerade (**geradsichtige**) Systeme baut.

Das Verbessern des Vakuums bedeutet ein erhebliches Herabsetzen der Ionenzahlen und macht dadurch die Einflüsse der Ionen belanglos.

Aperturelektrode

Zwischen Beschleunigungselektrode und erstem Teil der Anode ist gelegentlich eine weitere Elektrode eingefügt, die gegen die Kathode eine niedrige, einstellbare, meistens positive Spannung bekommt (**Bild 52**).

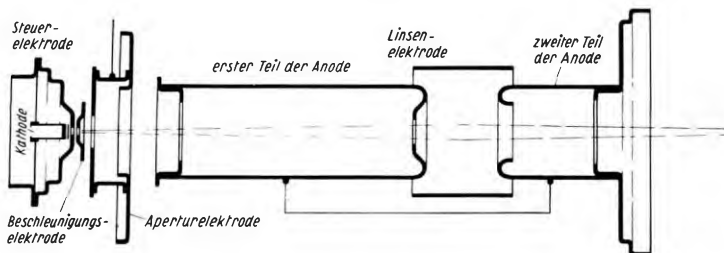


Bild 52. Ein Strahlensystem, das zwischen der Beschleunigungselektrode und dem ersten Teil der Anode noch eine weitere Elektrode enthält. Diese Elektrode legt man an eine einstellbare Gleichspannung und kann damit den Aperturwinkel (Bild 53) beeinflussen, mit dem die Elektronen hinter dem Bündelungspunkt (siehe z B Bild 37) auseinanderlaufen.

Diese Elektrode dient dazu, den Winkel, mit dem der Strahl nach dem Bündelungspunkt auseinanderläuft, zu verändern. Es handelt sich hierbei um den **Aperturwinkel**, der gegen die Strahlachse gemäß **Bild 53** gemessen wird.

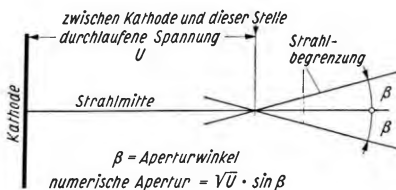


Bild 53. Hier ist der Aperturwinkel β veranschaulicht, um den die äußeren Bahnen des Elektronenstrahls gegen die Strahlachse im ersten Bündelungspunkt geneigt sind. Aus ihm folgt die numerische Apertur. Die Abmessungen entsprechen denen des Bildes 37.

Ein großer Winkel, erreicht mit erhöhter positiver Spannung der Aperturelektrode gegen die Kathode, ermöglicht eine besonders gute Punkt-schärfe in der Mitte des Bildschirmes. Mit einem kleineren Winkel erzielt

man zwar eine geringere Mittenschärfe. Dafür aber fällt hiermit die Schärfe über den gesamten Bildschirm, also die **Allgemeinschärfe**, gleichmäßiger aus.

In ähnlichem Sinn ermöglicht die Aperturolektrode ein gewisses Anpassen an die Verschiedenheiten der Ablenkspulensysteme. Mit dem Ansteigen der Qualität aller Typen von Ablenkspulen verringerte sich der **Randfehler**, d. h. die bei Auslenkung aus der Mitte durch die Spulenfelder bedingte Unschärfe. Außerdem haben sich die Ablenkspulensätze stark vereinheitlicht. Aus beiden Gründen wurde die Aperturolektrode meistens überflüssig.

Nochmal die Farbe des Bildschirmleuchtens

Das Bildschirmleuchten soll einen einigermaßen weißen Eindruck machen. Das, was unserm Auge weiß erscheint, ist aber nicht leicht zu definieren: Der weiße Schnee sieht bei Sonnenbeleuchtung gelblich oder mitunter auch leicht rötlich aus. In den Schattenpartien macht er hingegen vielfach einen bläulichen oder sogar einen tiefblauen Eindruck. Ein weißes Papier erscheint im Vergleich zu einem anderen weißen Papier etwa bläulich oder gelblich. Auch die Farbe der Umgebung und natürlich ebenfalls die Farbnuance der allgemeinen Raumbelichtung sind für das Beurteilen dessen, was weiß sein sollte, von Bedeutung.

Breibt man mehrere Bildschirme nebeneinander, so lassen sich schon geringe gegenseitige Abweichungen feststellen: Der eine Bildschirm wirkt bläulich gegen den anderen und dieser vielleicht gelblich gegen den ersten. Dabei kann es sein, daß man bei längerem Betrachten des Bildes auf dem einen Bildschirm dessen Leuchten als Weiß empfindet, und bei einem Seitenblick auf den anderen Bildschirm den Eindruck eines gefärbten Leuchtens hat.

Alle solche Unterschiede kommen nur beim unmittelbaren Gegenüberstellen, also bei der Auswahl eines Empfängers, zur Geltung. Bei fehlender Vergleichsmöglichkeit verlieren diese feinen Nuancen ihre Bedeutung.

Wie überall, so spielt im übrigen auch für das Leuchtschirmweiß die Mode eine Rolle: Früher wurde Chamois-Tönung verlangt, wie man sie für Porträt-Fotografien auch heute noch häufig vorzieht. Allmählich ging man für das Bildschirmleuchten mehr und mehr auf eine bläuliche Färbung über.

Man charakterisiert die Leuchtfarbe vielfach durch die Angabe einer **Farbtemperatur**. Das gründet sich auf folgendes: Wird ein Körper zum

Glühen gebracht, so leuchtet er bei tiefen Temperaturen dunkelrot. Das Leuchten wechselt allmählich über Orange in Gelb, wobei die Intensität der Färbung abnimmt. Bei noch höheren Temperaturen nähert sich das Leuchten stark dem unbunten (reinen) Weiß, um dann nach und nach ins Bläuliche überzugehen. Für das unbunte Weiß beträgt die Glühtemperatur etwa 5500° Kelvin (absolute Temperatur). Die 5500° K stellen somit die Farbtemperatur für das unbunte Weiß dar. Dem Leuchten des Bildschirms entsprechen ungefähr $8000 \dots 10\,000^\circ$ K. Dabei handelt es sich jedoch, weil der Bildschirm nicht als glühender Körper leuchtet, nur näherungsweise um das Spektrum des mit der angegebenen Farbtemperatur strahlenden Körpers. Demgemäß wird hierfür, statt von der Farbtemperatur selbst, von einer „**ähnlichsten Farbtemperatur**“ gesprochen.

Weitere Aufgaben der Aluminisierung

Daß die Aluminiumfolie die Aufgabe hat, das Licht des jeweils zum Leuchten angeregten Punktes der Leuchtschicht zu reflektieren und dadurch für den Beschauer aufzuhellen, daß die Aluminiumfolie außerdem das Glühen der Kathode verdeckt und die Leuchtschicht gegen negative Ionen schützt, wissen wir bereits. Der Aluminiumfolie fällt aber noch eine weitere wichtige Aufgabe zu:

Dem Schirm werden durch den Strahlstrom ständig negative Ladungen zugeführt. Es muß verhindert werden, daß sich der Schirm hierdurch örtlich auflädt. Das erreicht man durch die Aluminiumfolie auf einfache und sichere Weise: Sie bietet mit der großen Leitfähigkeit des Aluminiums den Elektronen einen bequemen Weg nach dem Anodenspannungsanschluß.

Bei nicht aluminisierten Schirmen wird die störende Aufladung zu einem kleinen Teil durch ein Abwandern von Elektronen über die Leuchtschicht selbst, deren Leitfähigkeit gering ist, verringert, im wesentlichen aber durch das Auslösen von Sekundärelektronen vermieden.

Sekundärelektronen sind Elektronen, die durch die Wucht aufprallender Elektronen aus einer Oberfläche herausgeschlagen werden.

Die Aluminiumfolie ist für die Strahlelektronen ein Hindernis. Deshalb darf sie gerade nur so dick gemacht werden, wie das ein Erfüllen ihrer oben angedeuteten Aufgaben erfordert. Hierzu genügt ein Bruchteil eines Tausendstel Millimeters. Eine solch dünne Schicht wird bei den heute üblichen hohen Bildröhren-Anodenspannungen von den Strahlelektronen ohne merkliche Abbremsung gut durchdrungen.

Abbremsen der Elektronen beim Eintreffen auf dem Bildschirm

Die Elektronen kommen am Bildschirm mit der Geschwindigkeit an, auf die sie im Strahlsystem der Fernseh-Bildröhre beschleunigt wurden. Unabhängig von dem speziellen Aufbau des Strahlsystems ist für die Beschleunigung die gesamte Spannung maßgebend, die die Anode der Röhre gegen ihre Kathode aufweist.

Die Energie, die zum einzelnen Elektron des den Bildschirm treffenden Strahls infolge dieser Beschleunigung gehört, ist gegeben als das Produkt aus Ladung des Elektrons und Wert der beschleunigenden Spannung

Dementsprechend hat man hierfür als Maß das **Elektronenvolt** (eV), wobei $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Js}$. Bei einer Anodenspannung U von 16 kV beträgt somit die kinetische Energie eines jeden auf dem Bildschirm ankommenden Elektrons 16 000 eV. Die hierzu sich ergebende **Elektronengeschwindigkeit** v ermittelt man mit der Formel

$$v = 594 \cdot \sqrt{U} \text{ km/s} \quad \text{für } U = 16\,000 \text{ V also zu rund } 75\,000 \text{ km/s.}$$

Wandert das Elektron schließlich über den Anodenspannungsanschluß zurück zur Hochspannungsquelle (siehe Bild 13), so hat es dort nurmehr eine Geschwindigkeit, wie sie sich üblicherweise in Leitungen ergibt, nämlich einen kleinen Bruchteil eines Millimeters je Sekunde. Die kinetische Energie, die das Elektron bei dem Auftreffen auf dem Schirm hat, wird hier voll abgegeben:

Einige wenige der auf dem Bildschirm eintreffenden Elektronen verlieren ihre Energie beim ersten Aufprall nahezu vollständig. Die meisten der dort ankommenden Elektronen geben ihre Energie stufenweise ab, wobei die Höhen der Stufen voneinander recht verschieden ausfallen.

Unabhängig von der Stufenhöhe gibt es für die Energieabgabe zwei Möglichkeiten: Das Auslösen einer elektromagnetischen Wellenstrahlung einerseits und die Abgabe von Energie an weitere Elektronen andererseits, wobei es sich häufig um das Herausschlagen dieser Elektronen aus dem Molekülverband, in den sie eingebaut sind, handelt (siehe den folgenden Abschnitt).

Diese zwei Möglichkeiten des Energieaustausches gelten nicht nur für die Energieabgabe des ankommenden Elektrons. Kinetische Energie der Elektronen und Energie der Wellenstrahlung können im weiteren Verlauf des Energieaustausches wechselweise vorkommen:

Eine durch einen Elektronenaufprall ausgelöste energiereiche Wellenstrahlung trifft z. B. auf ein Molekül und löst dort ein Elektron aus dessen

Verband heraus, das nun mit entsprechend hoher Geschwindigkeit weiterfliegt und, seinerseits durch ein Hindernis abgebremst, die zuvor übernommene Energie als Wellenstrahlung abgibt.

Letzten Endes verwandelt sich hierbei die gesamte kinetische Energie des auftreffenden Elektronenstrahls in Wellenstrahlung (vor allem sichtbares Licht sowie Wärmestrahlung) und in Wärme, die durch Konvektion abgegeben wird.

Der hierbei auf das sichtbare Licht entfallende Anteil der Gesamtenergie wäre ohne Mitwirkung des Leuchtstoffes verschwindend gering. Im folgenden Abschnitt wird erläutert, wie das Licht im Leuchtstoff zustande kommt.

Der Leuchtschirm und seine Fluoreszenz

Der Leuchtschirm besteht aus einer dünnen Schicht einer Mischung aus „aktivierten“ Kristallphosphoren. Eine solche Schicht strahlt beim Aufprall von Elektronen an den getroffenen Stellen Licht aus.

Als **Kristallphosphore** dienen hier Sulfide des Zinks und des Cadmiums. Diese Sulfide bilden ein **Kristallgitter**. Das heißt: sie ordnen sich räumlich so an, daß die Standorte der einzelnen Atome gewissermaßen als Knotenpunkte eines Raumgitters zu betrachten sind. Dabei wäre das Gitter selbst dargestellt durch die Verbindungslinien zwischen den jeweils benachbarten Knoten.

Aktivieren heißt: Zufügen sehr geringer Mengen besonderer Stoffe, die das Leuchten erst ermöglichen. Einen solchen Stoff nennt man „**Aktivator**“. Das Aktivieren setzt voraus, daß die Kristallphosphore von anderen Beimengungen in einem unvorstellbar hohen Maß gereinigt sind. Als Aktivator benutzt man vor allem Silber.

Trifft ein Elektron mit hoher Geschwindigkeit auf ein Kristallphosphormolekül, so schlägt es dort Elektronen heraus. Ein herausgeschlagenes Elektron hat ebenfalls vielfach noch eine beträchtliche Geschwindigkeit. Mit dieser prallt es auf andere Moleküle des Kristallgitters so auf, daß es hiervon elastisch zurückgeworfen wird. Es bewegt sich demgemäß auf Zickzackbahnen in der Leuchtschicht.

Dort, wo ein Elektron herausgeschlagen wurde, ist ein einem Elektron zukommender Platz frei. Das nennt man „**Elektronenfehlstelle**“ oder „**Defektelektron**“ oder einfach „**Loch**“. Ein solches Loch kann sich ähnlich be-

wegen wie ein Elektron: Es füllt sich mit einem Elektron eines benachbarten Moleküls auf, worauf dort das Loch auftaucht, das nun wieder aus der Nachbarschaft aufgefüllt wird usw.

Wie das freigeschlagene Elektron auf Zickzackbahnen herumfliegt, so springt also auch das Loch im Zickzack von Molekül zu Molekül. Hierbei gelangt es einmal zu einem Aktivator-Atom. Dieses ist leicht **ionisierbar**.

Das heißt: Es gibt leicht eines seiner äußeren Elektronen frei. Demgemäß landet das Loch nun beim Aktivator-Atom. Diesem fehlt damit ein Elektron. So wird das Aktivator-Atom zu einem **positiven Ion**.

Das eine Elektron, das eben noch zum Silberatom gehörte, fällt, wie man sagen kann, in das Loch hinein und füllt es aus. Dem damit entstandenen neuen Zustand entspricht ein etwas geringerer Energieinhalt als dem vorangehenden Zustand. Der kleine Energieüberschuß wird frei. Er setzt sich in Wärme um. Wäre der Energiesprung größer, so entstünde Licht. Zu einem niedrigen Energiesprung ergibt sich leider nur Wärme als energiegeschwächere Strahlung.

Das positive Aktivator-Ion stellt für unser sich frei bewegendes Elektron eine Falle dar: Ein Elektron ist nämlich der Träger einer negativen Ladung.

Sowie das sich im Zickzack bewegende Elektron in die Nähe des Aktivator-Ions kommt, fällt es in dessen Loch hinein. Damit wird aus dem Ion wieder ein Atom. Sein Energieinhalt ist beträchtlich geringer als der, der zuvor für das freie Elektron und das Ion vorhanden war. Der Energiesprung reicht in diesem Fall aus, um Licht zustande zu bringen. Das ist das Licht, das das Leuchten des Bildpunktes ausmacht.

Ein Leuchten des Bildschirms kann übrigens statt durch Aufprall schneller Elektronen auch durch **Ultraviolettbestrahlung (UV-Strahlung)** erzielt werden. Das nutzt man zum Prüfen der Leuchtschicht aus. Auch durch UV-Strahlung werden Elektronen aus dem Gitterverband herausgehoben, womit sich die weiteren Vorgänge ebenso abspielen wie bei der Anregung durch Elektronen.

Die Wellenstrahlung (elektromagnetische Strahlung)

Die Wellenstrahlung ist die Abgabe von Energie in Form elektromagnetischer Wellen. Wellenstrahlung entsteht z. B., wenn ein Elektron bei seinem Aufprall kinetische Energie verliert. Für solche Vorgänge ist das **Plancksche Wirkungsquantum h** maßgebend. Dieses stellt die kleinstmögliche Energie je Hertz der Strahlung dar. Das Produkt aus dem

Wirkungsquantum und der Frequenz in Hertz ist das **Energiequant** der Strahlung, das als Photon-Energie bezeichnet wird. Hierzu gilt:

1. Die Energie eines Quants der Wellenstrahlung, also deren **Photon-Energie**, wächst mit der Frequenz der Strahlung;
2. Die kinetische Energie eines aufprallenden Elektrons ist gleich dem Produkt aus seiner Ladung und der von ihm durchlaufenen Spannung.

Aus beidem ergibt sich folgender zahlenmäßiger Zusammenhang zwischen der Strahlungsfrequenz f in Hertz und der beschleunigenden Spannung U in Volt:

$$f = 2,43 \cdot 10^{14} U \quad [\text{Hz}]$$

Mit der Spannung U kann man an Stelle der Frequenz auch die Wellenlänge λ der Strahlung (in **Ångström**; $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) in Zusammenhang bringen. Diese erhält man, wenn man die Lichtgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) durch die Frequenz (in Hz) teilt. Mit der vorstehenden Formel gilt daher:

$$\lambda = \frac{12365}{U} \quad [\text{Å}]$$

Die angeschriebenen Formeln ergeben die höchstmögliche Frequenz und damit die kürzeste Wellenlänge der Wellenstrahlung, die bei Beschleunigung mit der Spannung U zustandekommen kann. Voraussetzung hierfür

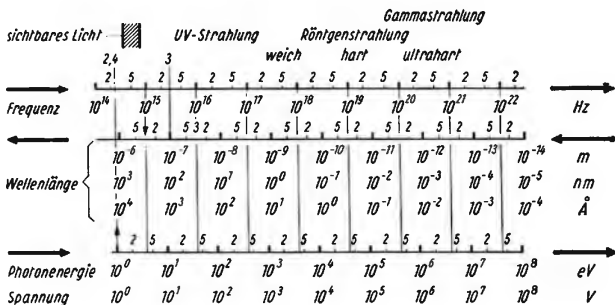


Bild 54. Überblick über die Strahlungsarten vom sichtbaren Licht bis zur Gammastrahlung mit Frequenz, Wellenlänge, Photon-Energie und Spannung

ist also, daß das aufprallende Elektron seine gesamte Energie beim ersten Zusammenstoß vollständig in Wellenstrahlung umsetzt, d. h. seine Geschwindigkeit hierbei restlos einbüßt, ohne daß andere Elektronen von ihm kinetische Energie übernehmen. **Bild 54** veranschaulicht die unter dieser Voraussetzung geltenden Zusammenhänge.

Bild 54 zeigt, daß für eine Spannung U von 16 kV die oberste überhaupt mögliche Frequenz der Wellenstrahlung etwa auf die Grenze zwischen **weicher** und **harter Röntgenstrahlung** fällt.

Es sei nochmals betont, daß diese Frequenz nur in dem seltenen Fall auftritt, in dem das mit 16 kV beschleunigte Elektron seine Energie **in einer Stufe vollständig als Wellenstrahlung abgibt**.

Verliert dagegen ein aufprallendes Elektron in einer Stufe nicht seine gesamte kinetische Energie, sondern nur einen Teil von ihr, so gehen daraus Wellenstrahlungen hervor, deren Frequenzen tiefer liegen und deren Wellenlängen demgemäß größer sind. So entstehen, außer einem geringen Anteil an Röntgenstrahlen, Ultraviolettstrahlen sowie, wenn auch nur in kleinem Ausmaß, unmittelbar sichtbares Licht, weil dazu lediglich ein schmaler Frequenzbereich gehört, und im übrigen Wärme.

Ein nicht unbedeutender Anteil der Röntgenstrahlung wie auch der UV-Strahlung wird am Auftreffpunkt des Elektronenstrahls auf die im vorhergehenden Abschnitt geschilderte Weise in sichtbares Licht und in Wärme umgesetzt.

Ein weiterer sehr bedeutender Anteil der Röntgen- und UV-Strahlung wird von der dicken, aus Glas mit hohem spezifischen Gewicht hergestellten Bildröhren-Frontplatte absorbiert. Auch daraus bildet sich Wärmeenergie.

Die Röntgenstrahlung ist es, die heute von manchen Laien als Gefährdung beim Fernsehen gefürchtet wird. Röntgenstrahlen gehören zwar zu den Strahlen, wie sie von radioaktiven Stoffen ausgesendet werden. Von der Gefährlichkeit solcher Strahlen wird viel geschrieben. Bei den radioaktiven Stoffen handelt es sich aber um **Gammastrahlung** (Bild 54). Das ist ultraharte Röntgenstrahlung, also eine Röntgenstrahlung sehr hoher Frequenz. Weiche Röntgenstrahlen können nur gefährlich werden, wenn sie in hoher Intensität auftreten.

Die Röntgenstrahlen, die im Leuchtschirm entstehen, gehören einerseits noch zu den weichen Röntgenstrahlen und sind andererseits schwächer als die vom Leuchtzifferblatt einer Armbanduhr ausgehenden Strahlen.

Die Ungefährlichkeit des Bildschirms als Strahlungsquelle wird durch folgendes unterstrichen: Um industriell oder medizinisch zu verwertende Röntgenstrahlen zu erzeugen, verwendet man dafür speziell entwickelte Röhren, die mit 50...300 kV und wenigstens einigen mA betrieben werden, während für die Fernseh-Bildröhren Spannungen nur bis etwa 16 kV und als Strom nur Bruchteile eines Milliampere in Frage kommen. Außerdem

ist die Bildröhre durchaus nicht auf guten Röntgenstrahl-Wirkungsgrad hin aufgebaut.

Bild 55 zeigt die spektrale Energieverteilung für mehrere Spannungen zu Strömen von jeweils 30 mA. Man ersieht hieraus den verschwindenden

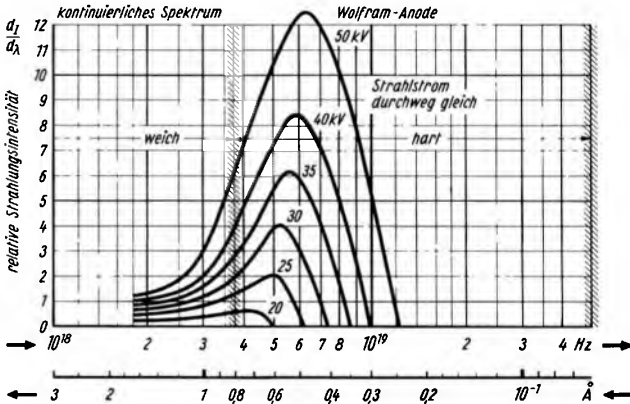


Bild 55. Kennlinien, die zeigen, wie sich die Strahlung ändert, wenn man die Anodenspannung einer Röntgenröhre erhöht. Mit wachsender Spannung wird die Strahlung härter. Außerdem wächst damit auch die Intensität der Strahlung erheblich an.

ULREY *Physical Review* 11 [1918] S. 401

Anteil von Röntgenstrahlen bei Spannungen unter 25 kV und die Notwendigkeit, für Röntgenapparaturen eben mit den dafür üblichen, sehr hohen Spannungen zu arbeiten.

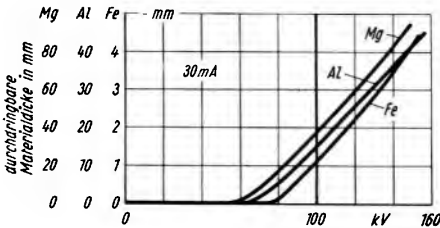


Bild 56 a. Hier sieht man, wie das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen mit wachsender Anodenspannung ansteigt. Für Spannungen unter etwa 55 kV ist das Durchdringungsvermögen noch sehr gering.

Während Bild 55 veranschaulicht, daß zum Erzeugen wirksamer Röntgenstrahlung sehr hohe Spannungen erforderlich sind, ergibt sich aus **Bild 56 a**, daß nur sehr harte Röntgenstrahlen, wie sie mit hohen Spannungen erzielt werden, nennenswerte Schichtdicken zu durchdringen vermögen.

Bildschirm-Röntgenstrahlung und natürliche Strahlung

Man hat die Dosisleistung der Röntgenstrahlung in der Umgebung von Fernsehgeräten gemessen und zwar abhängig von der Dicke der durchstrahlten Glaswand bei einem Strahlstrom von $100 \mu\text{A}$, in einem Abstand von 1 m vom Bildschirm. **Bild 56b** zeigt das Ergebnis dieser Messungen.

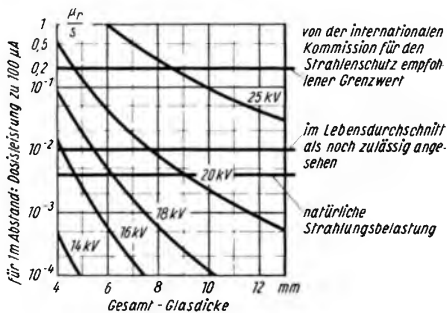


Bild 56b. Abhängigkeit der Röntgendosisleistung bei Fernseh-Bildröhren von der Dicke der durchstrahlten Glasschicht für verschiedene Anodenspannungen nach Messungen Dr. E. Zieler

In der Mitte der Bildröhren-Frontplatte beträgt die Glasdicke wenigstens 8 mm. Am Konus des Röhrenkolbens ist die Glaswand immerhin noch 4 mm dick. Der Fernsehteilnehmer sitzt beim Betrachten des Bildes vor dem Bildschirm. Er hat dabei die Bildröhren-Frontplatte sowie die ebenfalls einige Millimeter dicke Schutzglasscheibe zwischen sich und dem leuchtenden Bildpunkt, in dem unter anderem auch Röntgenstrahlen entstehen. Als Schutz ist somit für den Beschauer des Fernsehbildes eine Gesamt-Glasschicht von mehr als 10 mm Dicke wirksam. Nur in den seltenen Ausnahmefällen, in denen er sich zum Einstellen des Fernsehgerätes an dessen Seite stellt, ist die ihn dann schützende Glasschicht dünner. Aber auch da wirkt sie sich immer noch mit weit mehr als 4 mm aus, weil die ihn treffenden Strahlen die Konuswand schräg durchdringen.

Die internationale Kommission für Strahlenschutz hat in ihren Empfehlungen als eine dem Menschen **zumutbare Dosisleistung** $0,2$ Mikroröntgen je Sekunde angegeben. Die im Laufe von 30 Jahren **höchstzulässige Strahlenbelastung** einer Person wird mit 10 Röntgen angesetzt. Nun sind 30 Jahre ungefähr ebensoviel wie 10^9 Sekunden. Somit errechnen sich aus 10 Röntgen je 30 Jahre rund 10^{-8} r/s oder $10^{-2} \mu\text{r/s}$. Diese beiden Grenzen $0,2 \mu\text{r/s} = 2 \cdot 10^{-1} \mu\text{r/s}$ und $10^{-2} \mu\text{r/s}$ sind in Bild 56b eingetragen.

Einen vielleicht noch zuverlässigeren Anhaltspunkt für die dem Menschen zumutbare Dosisleistung bekommt man, wenn man die naturgegebene und demgemäß im Normalfall unvermeidbare Gesamtkörperbestrahlung,

also die **natürliche Strahlungsbelastung** zum Vergleich heranzieht. Hierfür wurden folgende Beträge an Milliröntgen je Jahr festgestellt:

Bestrahlung von außen:		Innenbestrahlung durch:	
kosmische Strahlung	Umgebungsstrahlung	Kalium 40	Kohlenstoff 14
35	70	20	1...2

also insgesamt 126 Milliröntgen je Jahr. Das bedeutet mit $3,15 \cdot 10^7$ Sekunden je Jahr rund $0,004 \mu\text{r/s}$. Dieser Wert ist in dem Bild 56b ebenfalls als waagerechte Linie eingetragen.

Man kann dem Bild 56b entnehmen, daß die Dosisleistung auch bei nur 1 m Abstand für eine Gesamt-Glasdicke von lediglich 10 mm noch weit unter dem Wert liegt, der zur natürlichen Strahlungsbelastung gehört.

Würden wir 40 Fernsehempfänger in kürzestmöglichem Abstand nebeneinander rings um uns herum aufstellen, so wäre die daraus erzielbare Gesamtstrahlungsleistung bei den heute benutzten Bildröhren-Anodenspannungen erst etwa ebenso stark wie die natürliche Strahlungsbelastung. Diese aber wirkt sich dauernd auf uns aus, während wir vor dem Fernsehempfänger doch nicht Tag und Nacht zubringen.

Die Angst vor den Röntgenstrahlen aus dem Fernsehempfänger ist, wie gezeigt, also völlig unbegründet!



Angaben zur Ausführung

Die Form wird durch den Umriß der Bildröhren-Frontplatte gekennzeichnet („Rechteck“ z. B. gemäß Bild 4 oder 5). Die Bilddiagonale ist in der Typenbezeichnung enthalten (z. B. AW **53** – 88). Als weitere Kennzeichen hat man den Ablenkwinkel (z. B. 110°), die Art der Fokussierung (meistens elektrostatisch), das Vorhandensein bzw. neuerdings das Fehlen der Ionenfalle, die Ausführung des Kolbens (Allglas), die Aluminisierung des Bildschirmes und das Grauglas für die Bildröhren-Frontplatte.

Allgemeine Daten

Die **Heizung** erfolgt indirekt, wobei vielfach mit Rücksicht auf Serien- und Parallelspeisung sowohl Heizspannung (6,3 V) wie auch der Heizstrom (300 mA) festliegen, was jeweils durch Fettdruck angedeutet wird.

Sphärische Form der Bildröhren-Frontplatte besagt: Allseitige gleiche Wölbung mit ein und demselben Krümmungshalbmesser.

Die **Lichtdurchlässigkeit** bezieht sich auf die aus Grauglas gefertigte Bildröhren-Frontplatte (früher 67% , heute 75%).

Die **Fluoreszenzfarbe**, d. h. die Farbe des Bildschirmleuchtens, gibt man einfach als weiß an.

Nebenbei wird in den „Technischen Daten“ auf **mittleres Nachleuchten** hingewiesen. Das deutet an, daß das durch den Elektronenstrahl angeregte Leuchten nicht sofort verschwindet, sondern erst innerhalb weniger Mikrosekunden abklingt. Man ist bemüht, das Nachleuchten als Maßnahme gegen das **Flimmern**, das bei übertriebener Helligkeit des wiedergegebenen Bildes stört, zu erhöhen.

Für das **Querfeld**, das der Zentriermagnet im Röhrenhals zu bewirken hat, werden z. B. $0 \dots 10$ Gauß angegeben. Hierzu interessiert vielleicht, daß die Dichte des **magnetischen Erdfeldes** in Deutschland knapp unter $0,5$ Gauß liegt.

Betriebswerte

Hierbei handelt es sich um die an die Fernseh-Bildröhre zu legenden Betriebsspannungen. Da stehen an erster Stelle (**Bild 57**):

die **Anodenspannung** ($U_a = U_{g3}$) mit z. B. 16 kV und

die **Spannung der Beschleunigungselektrode** (U_{g2}) mit etwa 400 V, beides gegen die Kathode.

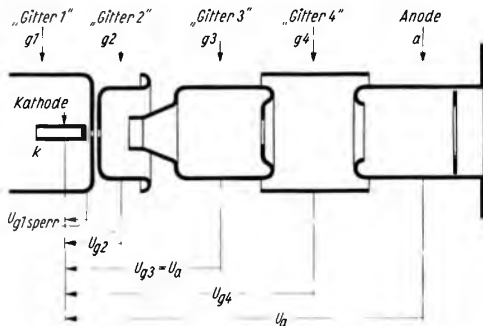


Bild 57. Das schon in Bild 12 gezeigte Bildröhren-Strahlensystem mit den Elektrodenbezeichnungen und den Formelzeichen der Betriebsspannungen

Die **Fokussierungsspannung** (U_{g4}), die man der Linsenelektrode (der Fokussierungselektrode) gegen die Kathode geben muß, hängt etwas auch von dem Aufbau des Ablenkspulensystems ab. Man stellt U_{g4} so ein, daß sich für einen Strahlstrom von $100 \mu\text{A}$ die günstigste Allgemeinschärfe ergibt.

Gemäß Bild 35 braucht man schließlich als Betriebsspannungswert noch die **Sperrspannung** ($U_{g1 \text{ sperr}}$) des Gitters 1 gegen die Kathode. Die Höhe dieser Spannung hängt von der Beschleunigungselektrodenspannung U_{g2} und etwas auch von der Anodenspannung ab. Sie unterliegt wegen der geringen Abstände zwischen Kathode und Steuerelektrode sowie zwischen dieser und der Beschleunigungselektrode wesentlichen **Exemplarstreuungen** (Verschiedenheiten von Stück zu Stück). Demgemäß findet man in den „Technischen Daten“ $U_{g1 \text{ sperr}}$ für $U_{g2} = 300 \text{ V}$ z. B. mit $-72 \dots -30 \text{ V}$ und für $U_{g2} = 400 \text{ V}$ z. B. mit $-94 \dots -38 \text{ V}$ angegeben.

Grenzwerte

Nicht immer können die vorgeschlagenen Betriebsspannungen gewählt werden. Deshalb ist es notwendig, für die Betriebsspannungen außerdem Grenz-

werte zu nennen, die nach oben bzw. unten nicht überschritten werden dürfen.

Für U_a und U_{g2} gibt es je einen höchstzulässigen Wert, der hauptsächlich aus Isolationsgründen nicht überschritten werden darf (z. B. $U_{amax} = 16 \text{ kV}$ und $U_{g2max} = 500 \text{ V}$). Man wählt die Betriebswerte von U_a und U_{g2} nach Möglichkeit ungefähr gleich diesen oberen Grenzwerten, weil Helligkeit und Schärfe mit sinkenden Werten der Anoden- und Beschleunigungselektroden-Spannung geringer sind.

Die Mindestwerte für U_a und U_{g2} (z. B. 13 kV und 200 V) sind damit gegeben, daß mit noch kleineren Spannungen Helligkeit und Schärfe keinesfalls mehr genügen.

Für U_{g4} werden in diesem Sinn keine Grenzwerte genannt. An deren Stelle gibt man den Einstellbereich an, der z. B. zwischen -500 V und $+1000 \text{ V}$ liegt.

Für U_{g1} , die Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode, ist ein negativer Grenzwert durch die Isolation zwischen Steuerelektrode und Kathode bedingt (z. B. -150 V), während der positive Grenzwert (z. B. $+2 \text{ V}$) berücksichtigt, daß die Steuerelektrode höchstens einen sehr geringen Anteil des Strahlstromes abfangen darf.

Damit die Steuerelektroden-Vorspannung hinreichend fest bleibt und damit sich eine genügend starre Übertragung der zur Grundhelligkeit gehörenden Spannung ergibt, liegen für den Widerstand R_{g1} zwischen Steuerelektrode und Kathode und für die zu 50 Hz gehörende Impedanz Z_{g1} zwischen diesen Elektroden Maximalwerte fest (z. B. $1,5 \text{ M}\Omega$ und $0,5 \text{ M}\Omega$).



Bild 58. Die Kathode der Fernseh-Bildröhre mit den in den „Technischen Daten“ dafür benutzten Bezeichnungen.

Die Isolation zwischen **Heizfaden** (Brenner) und Kathode (Kathodenhülse) wird im Interesse guter Wärmeübertragung auf das unbedingt Notwendige beschränkt. Diese Isolation hat überdies der relativ hohen Kathodentemperatur standzuhalten. Beides macht es notwendig, Grenzen für die Spannung des Brenners gegen die Kathode (U_{fk}) festzusetzen. Dabei spielt die Polarität der Spannung eine Rolle:

Verhältnismäßig hohe Spannungen sind zulässig für den Fall des gegen die Kathode negativen Brenners. Die einzelnen Werte gehören zu den speziellen Röhrendaten.

Wird der Brenner aus einer getrennten Transformator-Sekundärwicklung gespeist, so darf zwischen Brenner und Kathode weder ein zu großer Widerstand noch eine zu große Impedanz wirksam sein. So gelten z. B. $1\text{ M}\Omega$ für den Widerstand und $100\text{ k}\Omega$ für die Impedanz bei 50 Hz als obere Grenzwerte.

Kapazitäten

Wichtig sind folgende Kapazitäten:

- c_{g1} Kapazität der Steuerelektrode gegen alle anderen Elektroden, z. B. etwa 6 pF
- c_k Kapazität der Kathode gegen alle anderen Elektroden, d. h. praktisch Teilkapazität der Kathode gegen die Steuerelektrode, z. B. etwa 5 pF
- c_{am} Kapazität zwischen Innen- und Außenbelag des Kolbentrichters (Hochspannungs-Beruhigungskapazität), wofür die Toleranz durch den unteren und den oberen Grenzwert angegeben wird (z. B. $1,2\text{ nF}$ und $2,5\text{ nF}$).

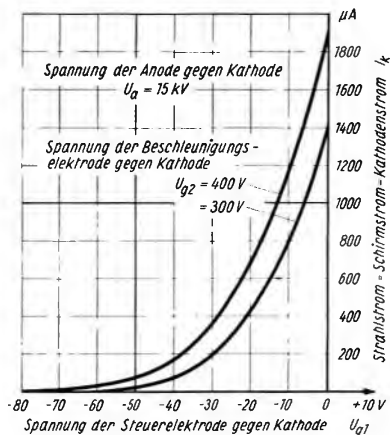


Bild 59. Die Kennlinien, die für die Fernseh-Bildröhre dieselbe Rolle spielen wie die Anodenstrom-Gitterspannungskennlinien für die Verstärkerröhre

Kennlinien

Wie für die Verstärkerröhre braucht man zunächst einmal zur Übersicht die Kennlinie, die zeigt, wie der Anodenstrom (= Strahlstrom = Schirm-

strom \approx **Kathodenstrom**) für gegebene Werte der Anodenspannung und der Beschleunigungselektrodenanspannung von der Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode abhängig (**Bild 59**).

Ein zweites Kennlinienbild (**Bild 60**) zeigt den Toleranzbereich für die Sperrspannung (Steuerelektrode gegen Kathode), abhängig von der Spannung der Beschleunigungselektrode gegen die Kathode.

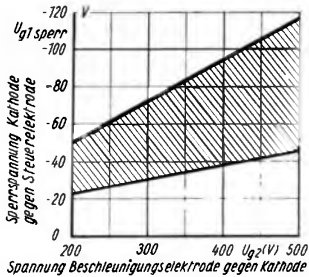


Bild 60. Der Bereich, in dem die Steuerelektroden-Sperrspannung der Fernseh-Bildröhre streuen kann, abhängig von der Spannung der Beschleunigungselektrode für eine Anodenspannung von 15 kV.

Ein drittes Kennlinienbild (**Bild 61**) veranschaulicht den linearen Zusammenhang zwischen Leuchtdichte des Leuchtpunktes auf dem Bildschirm und Strahlstromdichte.

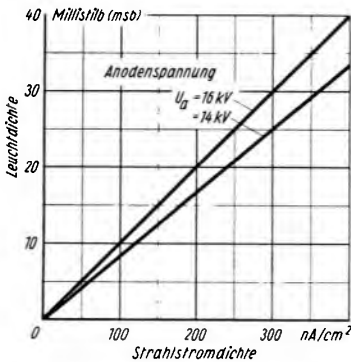


Bild 61. Zusammenhang zwischen Leuchtdichte auf dem Bildschirm der Fernseh-Bildröhre und der dort geltenden Strahlstromdichte für zwei verschiedene Werte der Bildröhren-Anodenspannung.

Die **Leuchtdichte** einer Lichtquelle bedeutet deren Lichtstärke je Flächeneinheit. Die **Lichtstärke** selbst ist die der Hellempfindlichkeit des mensch-

lichen Auges gemäß bewertete Strahlungsleistung je Einheit des Raumwinkels. Als Einheit der Lichtstärke hat man die Candela (lateinisches Wort für Kerze). Die **Candela** ist festgelegt durch die Lichtstärke, die eine Oberfläche von $\frac{1}{60} \text{ cm}^2 = 0,0167 \text{ cm}^2 = 1,67 \text{ mm}^2$ eines schwarzen Körpers ausstrahlt, wenn dieser Körper die Temperatur des erstarrenden Platins hat.

Die **Leuchtdichte** gibt man für das Bildschirmleuchten in Millistilb (msb) an. Ein **Stilb** ist die Kurzbezeichnung für eine Candela je cm^2 . Ein **Millistilb** stellt den tausendsten Teil eines Stilb dar.

Manchmal wird die Leuchtdichte von Fernseh-Bildröhren statt in Millistilb auch in **Footlambert** (ftL) angegeben. Auf 1 msb treffen 2,92 ftL.

Um einen Begriff von den Zahlenwerten zu geben, die für die Leuchtpunkthelligkeit des Bildschirms gelten, seien im Vergleich zu Bild 61 einige Leuchtdichten in Millistilb genannt: bedeckter Himmel 30...100 msb, Mond 250 msb, klarer Himmel 300...500 msb.

Die **Strahlstromdichte** ergibt sich als Strahlstrom geteilt durch die Bildpunktfläche. Diese stimmt mit dem Querschnitt überein, mit dem der Elektronenstrahl auf den Bildschirm auftritt. Man gibt die Stromdichte z. B. in nA/cm^2 an ($1 \text{ nA} = 1 \text{ Nanoampere} = 10^{-9} \text{ A}$).

Abmessungen

Die „Technischen Daten“ enthalten drei Ansichten von der Fernseh-Bildröhre (**Bild 62**). Die wichtigsten, in Bild 62 eingetragenen Maße sind: Höhe und Breite der Bildröhren-Frontplatte und Gesamtlänge der Bildröhre. Als weitere wesentliche Maße kommen der Krümmungshalbmesser und die Diagonale der Bildröhren-Frontplatte in Betracht.

Durch die **Bezugslinie** wird die Ebene festgelegt, auf die Maße und Anordnung der Ablenkmittel bezogen werden. Zum Ermitteln der Bezugslinie verwendet man eine Lehre, die über den Kolbenhals der Fernseh-Bildröhre geschoben wird. Eine Fläche dieser Lehre gibt die Lage der Bezugslinie an.

Die Abmessungen der Bildröhrenfrontplatte sind, abgesehen von Breite, Höhe und Diagonale, durch mehrere Krümmungshalbmesser festgelegt. Die Bildröhrenansichten enthalten Festlegungen über Grenzen des leiten-

den Belages, über Lage des Anodenanschlusses und über Maße für den Teil des Belages, an dem dieser an Masse zu legen ist.

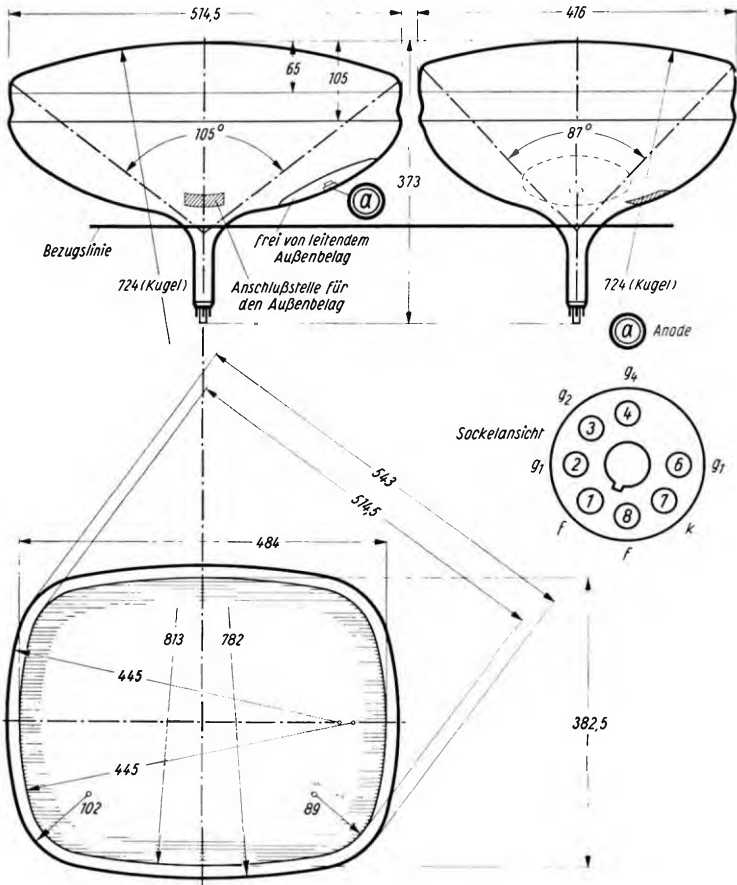


Bild 62. Die Maßskizzen einer Fernseh-Bildröhre (als Beispiel wurde die 110°-Röhre mit 53 cm Bildschirmdiagonale gewählt). Die Röhre ist in drei zusammengehörenden Rissen dargestellt. Außerdem enthält dieses Bild die Sockelansicht mit den Elektrodenbezeichnungen.

Schließlich sind in die Maßskizzen der horizontale und der vertikale Ablenkwinkel eingetragen (z. B. für die 110°-Bildröhre 105° und 87°).



Bedeutung des vergrößerten Ablenkwinkels

Bild 63 a u. b zeigen nebeneinander die Seitenansichten der 53-cm-Röhren mit den Ablenkwinkeln 70° , 90° und 110° . In **Bild 64** sind die drei Röhren

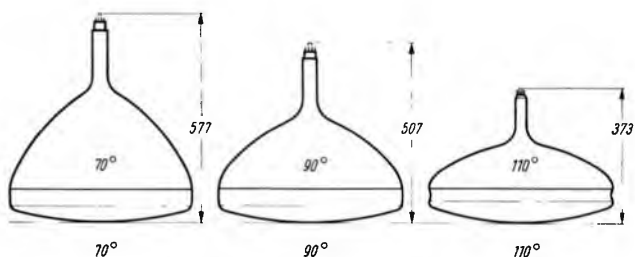


Bild 63b.

Drei Fernseh-Bildröhren mit 53 cm Bildschirmdiagonale und den Ablenkwinkeln 70° , 90° sowie 110° .

nochmals ineinander gezeichnet. Wie man sieht, ist die gesamte 110° -Röhre kürzer als der Kolbentrichter der 70° -Röhre.

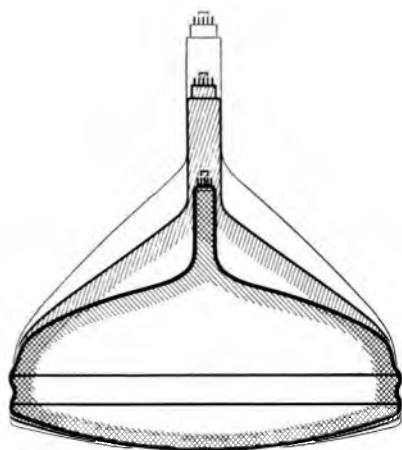


Bild 64. Die drei Fernseh-Bildröhren, die in den Bildern 63a und b gezeigt sind, ineinander gezeichnet

Betrieb der Fernseh-Bildröhre

Grundsätzlich gehört zum „Betrieb der Bildröhre“ die vollständige Funktion des Fernsehempfänger-Bild- und -Ablenkteiles. Im vorliegenden Zusam-

menhang genügt es, das Erzeugen der Hochspannung und das Steuern des Strahlstromes zu betrachten. Dies geschehe an Hand des **Bildes 65**.

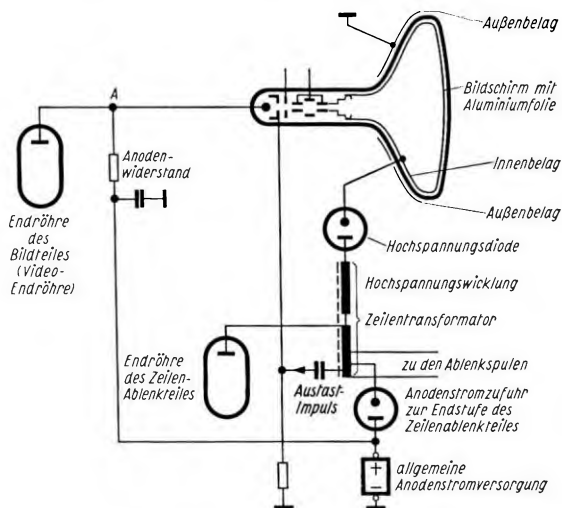


Bild 65. Die Fernseh-Bildröhre mit dem unmittelbar zugehörigen Teil der Empfängerschaltung: Unten der Zeilentransformator mit der Hochspannungsdiode, der Schaltdiode (Booster-

diode), auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, und der Anode der Endröhre des Zeilenablenketeiles, links oben die Anode der **Video-Endröhre** und der zu ihr gehörende Anodenwiderstand. Außerdem sind in dem Bild enthalten: die Masseverbindung der Steuerelektrode der Fernseh-Bildröhre mit der Einspeisung des Austastimpulses für den Strahlstrom während des „Zeilenrucklaufes“ und die Anodenstromversorgung, die für die Zeilenablenkung in Frage kommt.

Hierin ist rechts oben die Bildröhre veranschaulicht, darunter der Zeilentransformator mit der Hochspannungsdiode und links von ihr der Schaltungsteil, der zur Strahlstromsteuerung gehört.

Hochspannungserzeugung

Die Endröhre des Zeilenablenketeiles wird zu dem Zeitpunkt, auf den das Ende einer Zeile trifft, gesperrt. Damit brechen das Magnetfeld der Zeilenspule und mit ihm das des Zeilentransformators zusammen. Beim Abbau der beiden Magnetfelder wird deren Arbeitsinhalt frei:

Die Magnetfeldänderung bewirkt in jeder der in Reihe liegenden Windungen des Zeilentransformators eine Spannung, wobei sich alle Windungsspannungen addieren. An der Hochspannungswicklung des Zeilen-

transformators entsteht auf diese Weise ein Spannungsimpuls mit hohem Spannungswert. Durch entsprechende Polung ist dafür gesorgt, daß die Spannung des an der Hochspannungsdiode liegenden Wicklungsendes gegen das andere Ende und damit auch gegen Masse positiv ausfällt. Zu dem positiven Spannungsimpuls gehört in dieser Schaltung die Durchlaßrichtung der Diode. Ein Teil des frei werdenden Magnetfeld-Arbeitsinhaltes dient so zum Nachladen der Kapazität zwischen Innen- und Außenbelag des Bildröhrenkolbens. Hiermit wird die Anodenspannung der Fernseh-Bildröhre als positive Hochspannung ihres Innenbelages gegen ihren Außenbelag nach dem Einschalten des Gerätes zustande gebracht und während seines Betriebes aufrechterhalten.

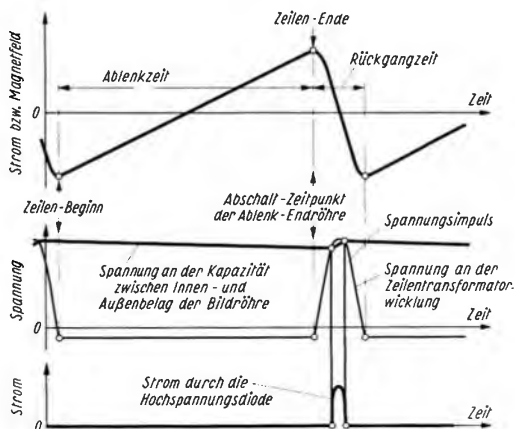


Bild 66. Oben: der zeitliche Verlauf des Stromes in der Zeilen-Ablenkendstufe und damit auch der zeitliche Verlauf des Magnetfeldes im Zeilentransformator. In der Mitte die Spannung an der Hochspannungswicklung des Zeilentransformators und die Bildröhren-Anodenspannung. Unten der Strom, der impulsweise durch die Hochspannungsdiode fließt.

Der **obere Teil des Bildes 66** zeigt den zeitlichen Verlauf des Zeilenablenkstromes. Mit ihm stimmt der zeitliche Verlauf des Magnetfeldes überein. Darunter ist der zeitliche Verlauf der in der Wicklung des Zeilentransformators auftretenden Spannung zu sehen, wobei für den zum Rücklauf gehörenden Spannungsimpuls das positive Vorzeichen gilt.

Der Augenblickswert der Spannung entspricht in jedem Zeitpunkt der zugehörigen Absinkgeschwindigkeit des Magnetfeldwertes. Zum raschen Rückgang des Ablenkstromes und demgemäß des Zeilentransformator-Magnetfeldes ergibt sich ein hoher Spannungsimpuls, der ungefähr in der Mitte der Rücklaufzeit seinen Scheitelwert erreicht.

Das Ansteigen des Magnetfeldes während des Hinlaufes erzeugt hier eine negative Spannung. Ihr Betrag ist entsprechend der verhältnismäßig

geringen Anstiegsgeschwindigkeit des Magnetfeldes weit kleiner als der Scheitelwert des positiven Spannungspulses.

Der **mittlere Teil des Bildes 66** veranschaulicht außer dem zeitlichen Verlauf der an der Transformatorwicklung auftretenden Spannung auch den der Hochspannung, die der Innenbelag der Fernseh-Bildröhre gegen den Außenbelag ihres Kolbentrichters annimmt.

Im **unteren Teil des Bildes 66** ist schließlich der zeitliche Verlauf des Diodenstromes aufgetragen. Er stellt im wesentlichen den Ladestrom für die aus den beiden Belägen der Bildröhre resultierende Kapazität dar.

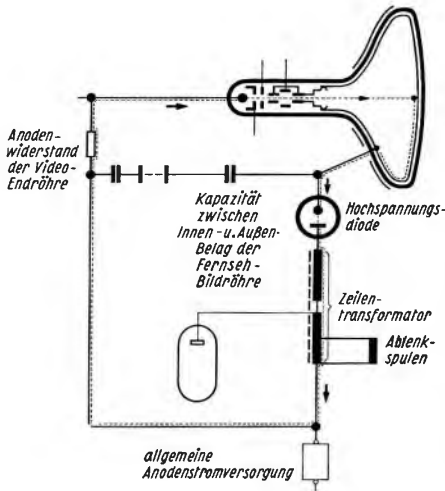


Bild 67. Der Strahlstromkreis der Bildröhre (punktiert eingetragen). Es handelt sich um den Gleichstromanteil. Der Wechselstromanteil, der aus der Strahlstromsteuerung folgt, schließt sich über die eingetragenen beiden Kapazitäten. Der Übersichtlichkeit halber ist nur der über den Anodenwiderstand der Video-Endröhre und nicht der über diese Röhre gehende Weg des Gleichstromanteiles veranschaulicht.

Wir verfolgen nun an Hand des **Bildes 67** noch einmal den uns schon aus Bild 13 bekannten, durch die Fernseh-Bildröhre führenden Elektronenweg: Die Strahlelektronen gelangen über den Anodenwiderstand der Video-Endröhre nach der Kathode der Fernseh-Bildröhre und gehen als Strahl auf den Bildschirm über. Von hier wandern sie im Innenbelag nach dem Anodenspannungs-Anschluß und über die Hochspannungsdiode sowie über den Zeilentransformator zurück zum Anodenwiderstand der Video-Endröhre.

Steuerung der Fernseh-Bildröhre

Wir gehen zurück auf Bild 65 und betrachten dort, wie die in Bild 35 dargestellte Steuerung erzielt wird. Die Steuerelektrode liegt über einen

Widerstand an Masse. Der Widerstand dient dazu, einen Kurzschluß der aus dem Zeilentransformator entnommenen Austastspannung zu verhindern. Die Austastspannung unterdrückt den Strahlstrom für die Zeitspanne des Zeilenrücklaufes. Sie entspricht in ihrem zeitlichen Verlauf dem des Hochspannungsimpulses (Bild 66).

Wenn die Steuerelektrode mit Masse verbunden ist, muß die negative Vorspannung der Steuerelektrode gegen Masse als positive Vorspannung der Kathode gegen Masse erzielt werden, eine Möglichkeit, von der man bei Verstärkerröhren Gebrauch macht (**Bild 68**): Bei diesen Röhren erzielt man die negative Gittervorspannung als positive Kathodenvorspannung gemäß Bild 68 meistens an einem vom Röhren-Kathodenstrom durchflossenen Kathodenwiderstand.

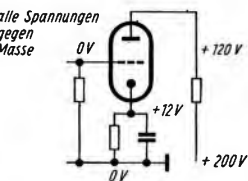


Bild 68. Das Erzeugen der negativen Steuergittervorspannung einer Verstärkerröhre als positive Kathodenvorspannung mit Zahlenbeispiel für die Spannungswerte. Die Steuergittervorspannung gegen die Kathode beträgt -12 V .

Bei der Fernseh-Bildröhre gewinnt man die positive **Kathodenvorspannung** in der Regel durch eine leitende Verbindung zwischen ihrer Kathode und der Anode der die Fernseh-Bildröhre steuernden **Video-Endröhre**. Von hier bekommt also die Fernseh-Bildröhre ihre Steuerelektroden-Vorspannung gemeinsam mit ihrer Steuerspannung (Signalspannung).

Die Video-Endröhre wird von der Bildsignalspannung in der Weise gesteuert, daß zu einer dunklen Bildstelle ein niedriger und zu einer hellen Bildstelle ein hoher Signalstrom gehört.

Wir betrachten zunächst den Fall der völlig dunklen Bildstelle. Dafür sei der Anodenstrom der Video-Endröhre Null. Ihr Anodenwiderstand ist somit stromlos. Folglich herrscht zwischen dessen beiden Enden keine Spannung. Das heißt: Das obere Ende dieses Widerstandes hat gegen Masse, ebenso wie sein unteres Ende, die volle von der Anodenstromversorgung zur Verfügung gestellte Spannung. Diese Spannung ist die Kathodenvorspannung. Durch sie wird also die Steuerelektroden-Vorspannung der Fernseh-Bildröhre erzielt. Diese Vorspannung stellt man so ein, daß sie gleich der Steuerelektroden-Sperrspannung $U_{g1\text{ sperr}}$ wird.

Nun entspreche die Bildsignalspannung einer hellen Bildstelle. Hierzu gehört ein gewisser Anodenstrom der Video-Endröhre. Er durchfließt den Anodenwiderstand, der als Außenwiderstand der Video-Endröhre dient. Das bedeutet an dem Anodenwiderstand eine Spannung. Um den Betrag dieser als Spannungsabfall zur Geltung kommenden Spannung sinkt die positive Spannung des in Bild 65 mit A bezeichneten Punktes gegen Masse ab. Der Punkt A aber steht mit der Kathode der Fernseh-Bildröhre in Verbindung.

Der Kathodenspannung ist die Spannung der Steuerelektrode gegen die Kathode entgegengesetzt gleich. D. h.: Der Wert der gegen die Kathode negativen Steuerelektroden-Spannung fällt jetzt kleiner aus als der Sperrspannungswert. Damit entsteht gemäß Bild 35 ein Strahlstrom, der den Bildschirm an der von ihm getroffenen Stelle zum Aufleuchten bringt.

D Von der Fernseh-Bildröhrenfertigung

Was man hierunter versteht

Mit der Bildröhrenfertigung meint man üblicherweise die Summe der Arbeitsgänge, die notwendig sind, um aus dem Rohkolben und dem fertig montierten Strahlensystem die Bildröhre herzustellen.

Die Fabrikation des Bildröhrenkolbens sowie die Montage des Strahlensystems, das Ausstanzen, Ziehen, Verschweißen und Vernieten der Metallteile dieses Systems, das Besprühen der Kathode mit der Emissionsmasse, rechnet man nicht zur eigentlichen Bildröhrenfertigung, sondern zu den vorbereitenden Arbeiten. Ein Beispiel für die Bauelemente, aus denen sich ein Strahlensystem zusammensetzt, gibt **Bild 69**.

Unterschiede gegenüber der Verstärkerröhrenherstellung

Trotz der prinzipiellen Übereinstimmung der Fernseh-Bildröhre mit einer Verstärkerröhre und insbesondere mit einer Abstimmanzeigeröhre unterscheidet sich die Bildröhrenherstellung erheblich von der Massenfertigung der Verstärker- und Abstimmanzeigeröhren. Erschwerend wirken sich vor allem folgende Punkte aus:

1. Die Bildröhrenkolben sind sperrig und einigermaßen leicht verletzbar. Das erfordert besondere Transporteinrichtungen.
2. Beim Herstellen der Leuchtschicht muß auf ungewöhnlich große Sauberkeit geachtet werden. Schon geringste Spuren einzelner Fremdstoffe können den Leuchtstoff vergiften oder Flecke auf dem Bildschirm verursachen.
3. Das Pumpen dauert länger als bei Empfängerröhren: Das zu evakuierende Volumen ist ungefähr 1000mal so groß wie das dieser Röhren.
4. Das beim Einschmelzen, Ausheizen und Pumpen notwendige Erwärmen des Kolbens führt zu Glasspannungen. Damit sich diese ausgleichen können, muß der Kolben nach einem erprobten Schema langsam erhitzt und vor allem langsam abgekühlt werden.
5. Da bei der möglichen Implosion einer Röhre eine verhältnismäßig große Energie frei wird, müssen die Röhren gegeneinander entsprechend geschützt werden.

Elektrizitäts- und Wasserversorgung

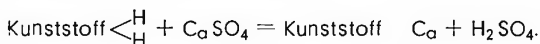
Die Bildröhrenfertigung verlangt umfangreiche elektrische Öfen. Hierzu wird eine Hoch- und Niederspannungs-Schaltanlage mit einem Anschlußwert von wenigstens einigen Tausend kVA benötigt. Außerdem muß für den Fall einer Störung im Hochspannungsnetz eine Notstromversorgung zur Verfügung stehen. Man braucht sie, um im Notfall die Aggregate zu speisen, deren Stillstand besonders große Ausfälle verursachen würde. In der TELEFUNKEN-Bildröhrenfabrik steht allein für die Notstromversorgung eine Hochspannungsanlage zur Verfügung. Diese Anlage ist über ein Sonderkabel mit einem unabhängig vom Netz arbeitenden Turbosatz des Versorgungskraftwerks verbunden.

Einige Arbeitsgänge erfordern Wasser von sehr hohem Reinheitsgrad. Dieses Reinwasser wird aus dem vorhandenen, an sich schon einigermaßen reinen Brunnenwasser gewonnen. Dazu dienen selbsttätig arbeitende **Entsalzungseinheiten**. Der Reinheitsgrad wird durch Leitfähigkeitsmessungen ständig überwacht.

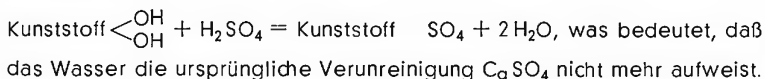
Die Entsalzungsanlage arbeitet nach dem **Ionenaustauschverfahren**. Man verwendet hierzu Kunststoffe, die an das durchlaufende Wasser Ionen abgeben und im Austausch dafür zur Verunreinigung gehörende Ionen binden. Auf diese Weise werden die schädlichen Ionen, die die Verunreinigung des Wassers darstellen, schließlich so ausgetauscht, daß im Endeffekt die abgegebenen Ionen durch gemeinsam wasserbildende Ionen ersetzt werden, daß das Wasser also die Verunreinigung nicht mehr enthält.

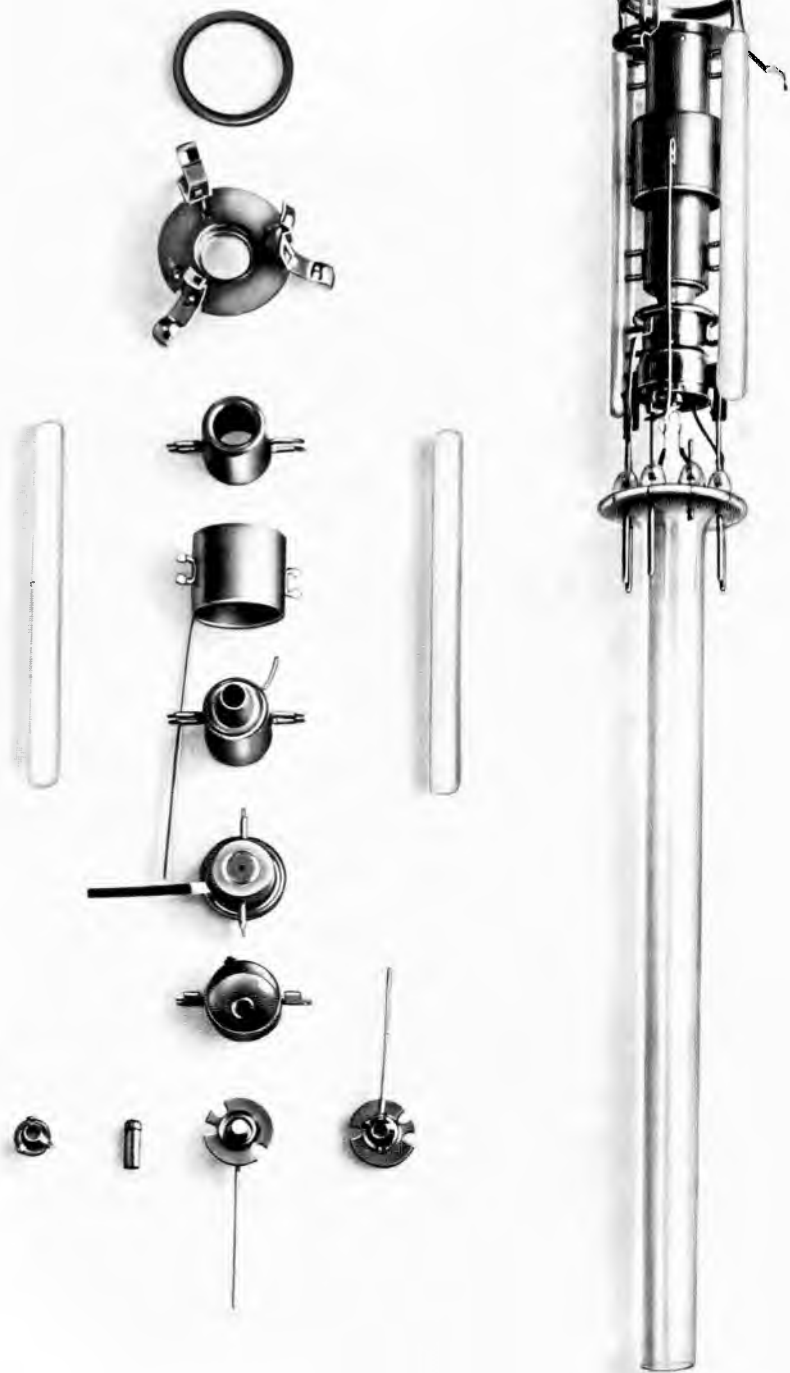
Der Vorgang sei an einem einfachen Beispiel erläutert: Das Wasser enthalte als Verunreinigung CaSO_4 .

Der Kunststoff des ersten Kessels (des Kationenaustauschers) stellt Wasserstoff-Ionen (H) zum Austausch gegen Kalzium-Ionen (Ca) zur Verfügung. Damit ergibt sich:



Der Kunststoff, der im zweiten Kessel (dem Anionenaustauscher) enthalten ist, weist zum Austausch gegen die SO_4 -Ionen OH-Ionen auf. Damit ergibt sich:





Fertigung in ununterbrochenem Fluß

Die von der Glashütte angelieferten **Rohkolben** wandern von der Verlade-rampe über das Eingangslager nacheinander an die verschiedenen Arbeitsplätze. Dabei geschieht der Transport von Maschine zu Maschine auf **Hängebahnen** (Bild 70). In diese können die Bildröhrenkolben der verschiedenen Größen leicht eingehängt werden. Das Befördern erfolgt ohne wesentliche Erschütterungen in Übermannshöhe so, daß dadurch der Verkehr in der Halle nicht gestört wird. Nur dort, wo die Kolben aufzuhängen oder abzunehmen sind, senken sich die Bahnen soweit herunter, daß die Kolben in Greifhöhe gelangen.

Zum Ausgleich zwischen der stetig arbeitenden Fertigung und dem notwendigerweise diskontinuierlichen An- und Abtransport wurden in unmittelbarer Nähe der Gleisanlagen Lager angeordnet. Sie erfordern etwa ebensoviel Fläche wie die eigentlichen Fertigungsstätten. In den Fertigungsgang sind weitere Lager eingefügt. Sie dienen als Pufferlager für einen eventuellen Störfall.

Nachdem hiermit Überblicke über die Einrichtung der Gesamtanlage gegeben worden sind, soll nun der Fertigungsgang der Bildröhre kurz geschildert werden. Dieser ist in der farbigen **Übersichtstafel** (Seite 83 u. 84) schematisch dargestellt.

Reinigen des Kolbens

Es ist notwendig, den Rohkolben sorgfältig zu reinigen, insbesondere, weil der später einzubringende Leuchtstoff peinlichst vor Verunreinigungen bewahrt bleiben muß. Das geschieht in einem zwölfteiligen, vollautomatisch arbeitenden Karussell von rund 3 m Durchmesser. Hier wird in den Kolben wechselweise ein scharfer Wasserstrahl und ein Strahl mit etwa 10%iger Flußsäure eingespritzt. Danach werden die Säurereste durch gründliche Wasserspülung entfernt.

Aufbringen der Leuchtschicht

Nach diesem Waschen wird auf die Innenseite der Bildröhren-Frontplatte das Leuchtstoffgemisch in passender Schichtstärke und gleichmäßiger Verteilung aufgebracht. Hierzu kommt in den Kolben eine Suspension (Aufschlämmung) der Leuchtstoffmischung in Wasserglaslösung.



Durch „Impfen“ der Lösung mit Elektrolyten flockt die Kieselsäure aus und setzt sich gemeinsam mit dem Leuchtstoff nach und nach auf der Innenseite der Bildröhren-Frontplatte ab. Im Verlauf dieses Vorganges verfestigt sich die Kieselsäure und bindet so den Leuchtstoff an das Glas. Nachdem das erreicht ist, wird die Flüssigkeit vorsichtig ausgekippt und der mit der Leuchtschicht versehene Kolben durch Luftblasen inwendig getrocknet.

Aufbringen der Kollodiumhaut

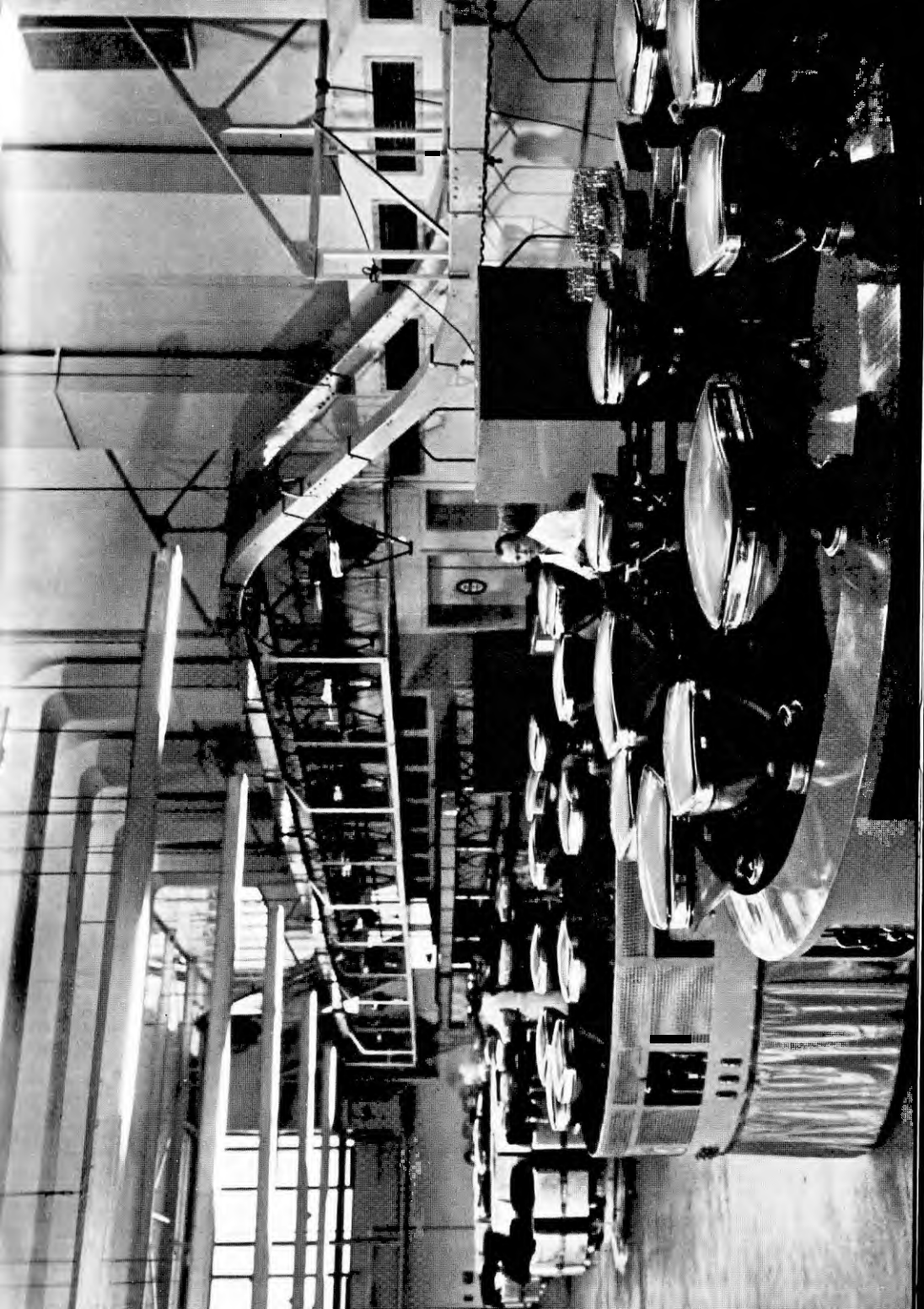
Als Vorbereitung der Aluminisierung muß über die Leuchtstoffschicht die schon erwähnte Kollodiumhaut gespannt werden. Dazu wird in den Kolben erneut Wasser eingegossen. Nach Beruhigung der Wasserbewegung tropft man eine Lacklösung auf das Wasser. Sie breitet sich sofort über die gesamte Wasseroberfläche aus. Sobald der größte Teil des Lösungsmittels verdunstet ist, wird das Wasser unter der Lackschicht weggekippt. Sie spannt sich dabei glatt über die Leuchtschicht.

Auftragen des leitenden Innenbelages

Die getrocknete Innenfläche des Kolbens bekommt nun dort, wo Kolbenhals und Kolbentrichter aneinandergrenzen, sowie von hier auf einem Streifen bis zum Hochspannungsanschluß einen leitenden Belag, wofür man eine Graphitaufschlämmung verwendet. Dieser Belag ist notwendig als gut leitende Verbindung zwischen dem Anodenspannungsanschluß und dem Anodenteil des Strahlsystems und als einer der beiden Beläge der Hochspannungs-Beruhigungskapazität, *c_{am}*.

Aluminisieren

Nach dem Auftragen des leitenden Innenbelages wird der Kolben von neuem getrocknet. Ist das geschehen, so kommt er auf ein Karussell (**Bild 71**). Dort wird in den Röhrenhals eine Wolfram-Heizwendel eingeführt, die mit einem Stückchen Aluminium versehen ist, und der Röhrenkolben auf rund 10^{-4} mm Quecksilbersäule evakuiert. Dann wird die Wolfram-Heizwendel erhitzt und so das Aluminium verdampft. Das Aluminium schlägt sich dabei auf der Kollodiumhaut und auf der Innenwand des Kolbentrichters nieder. Im Anschluß an dieses Bedampfen wird in den Kolben wieder Luft eingelassen.



Schirm ausheizen

Durch Ausheizen entwässert man die im Leuchtstoff enthaltene Kieselsäure und erhöht so dessen Haften auf dem Glas. Es treibt außerdem verdampfbare Verunreinigungen aus dem Innenbelag heraus und verbrennt die vorher erzeugte Kollodiumhaut.

Das Ausheizen ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen solcher Schirmfehler, die sich erst bei höheren Temperaturen ausbilden können. Derartige Temperaturen treten aber in jedem Falle beim Evakuieren auf. Ein Feststellen solcher Fehler erst in diesem Stadium würde den Ausfall einer praktisch fertigen Röhre bedeuten.

Das Ausheizen geschieht in einem Wanderofen mit Temperaturen bis zu rund 400°C. Die einzelnen Heizzonen des Ofens werden selbsttätig auf den Sollwerten ihrer Temperaturen gehalten.

Schirmkontrolle im Dunkelraum

Im Anschluß an das Ausheizen wird die Fehlerfreiheit der Leuchtschirme nachgeprüft. Das geschieht, indem man das Leuchten mit Ultraviolettstrahlung anregt. Der Elektronenstrahl, der später das Leuchten bewirkt, ist in diesem Stadium noch nicht verfügbar.

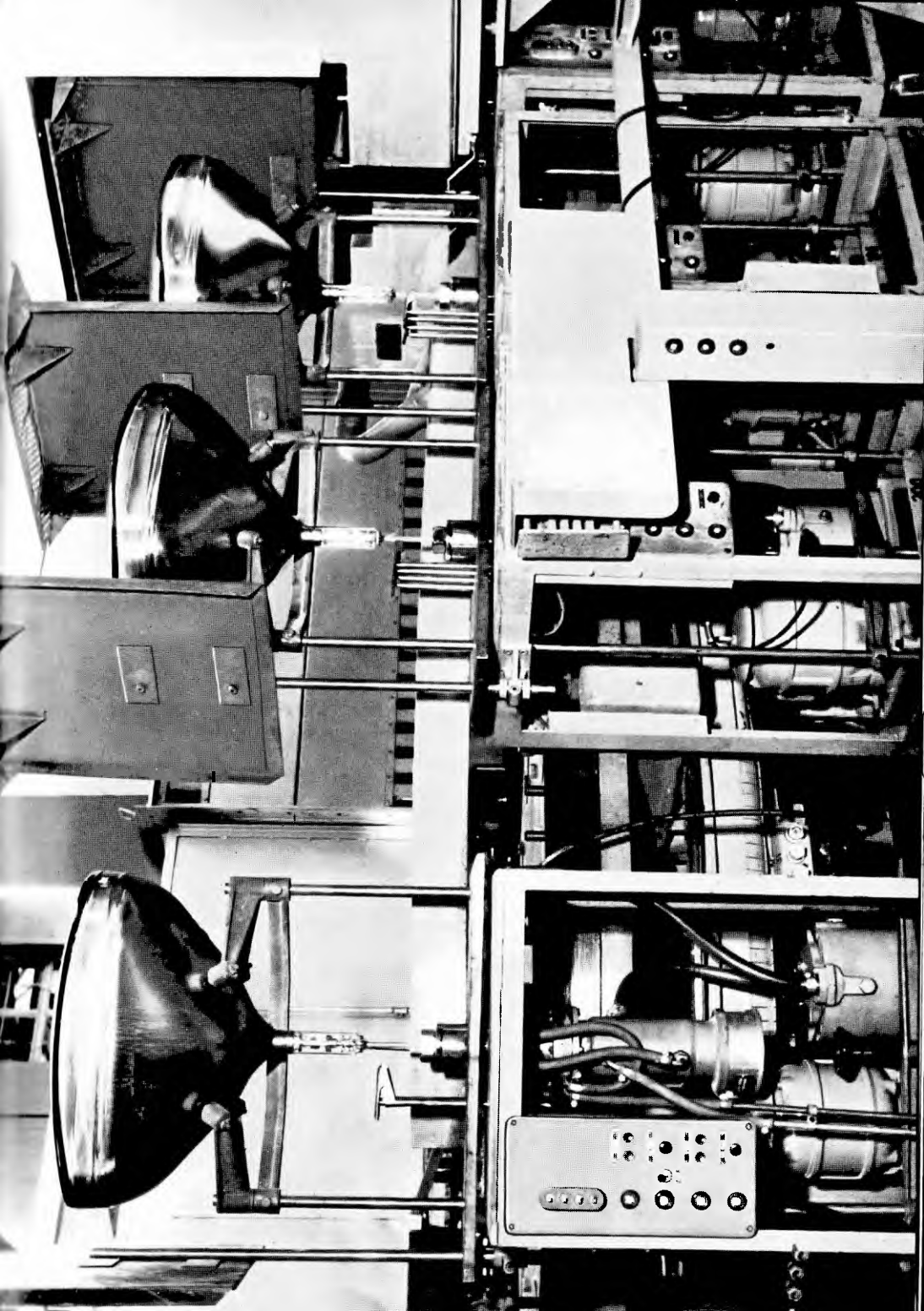
System einschmelzen

Der Kolben, der die Schirmkontrolle passiert hat, kommt nun auf den ebenfalls als Karussell ausgebildeten Einschmelzautomaten. Dort wird das auf dem Preßteller aufgebaute Strahlsystem in den Röhrenhals eingeschoben, das überstehende Stück des Röhrenhalses abgesprengt und der Preßteller mit dem Röhrenhals mit Hilfe von Gasflammen verschmolzen.

Evakuieren im Elektro-Ofen (Pumpofen)

Der mit Leuchtschicht und Strahlsystem versehene Kolben wird auf einen Pumpwagen aufgesetzt. Dieser enthält eine zweistufige, rotierende Vorpumpe und eine Öldiffusionspumpe sowie einen Wasserumwälzer zum Kühlen der Diffusionspumpe.

Die zahlreichen Pumpwagen bilden eine endlose Kette. In dieser durchwandern sie auf einer in sich geschlossenen Schienenbahn einen Durchlaufofen. Nachdem der Pumpstengel der Fernseh-Bildröhre mit der



Pumpanlage verbunden ist, beginnt das Evakuieren. Während dies geschieht, werden die Kolben zum zweitenmal durch Erhitzen im Ofen gründlich entgast und die Systemteile außerdem im Hochfrequenzfeld ausgeglüht. Weiterhin wird die **Emissionspaste** der Kathode vom Erdalkalikalbionat in das Oxyd umgewandelt.

Aus glastechnischen Gründen ist der Durchlaufofen in Heizzonen mit verschiedenen Temperaturen eingeteilt, diese werden durch Regelanlagen auf ihren Sollwerten gehalten. Die Pumpeinheiten werden nach jedem Umlauf durch Instrumente auf ordnungsgemäßes Arbeiten hin überwacht.

Die zum Entgasen des Systems notwendigen Hochfrequenzfelder werden durch mehrere voneinander unabhängige Hf-Generatoren erzeugt.

Zwischen den einzelnen Pumpwagen sind Eisenblechkulissen angeordnet (**Bild 72**), damit bei eventueller Implosion einer Röhre die benachbarten Röhren nicht beschädigt werden.

Fertigstellen der Röhre

Nach dem Abschmelzen der Bildröhre bekommt sie gegebenenfalls ihren Stiftsockel und wird formiert. Hierbei wird das Getter in einem Hochfrequenzfeld „abgeschossen“.

Unter **Gettern (Getter-Abschießen)** versteht man, daß aus einer Bariumlegierung im Hochfrequenzfeld Barium herausgedampft wird. Dieses schlägt sich an der Kolbenhals-Innenwand nieder. Der dünne Belag (**Getterspiegel**) hat die Fähigkeit, Gasreste zu binden. Damit wird das notwendige Hochvakuum erzeugt und aufrechterhalten.

Außenschwärzung

Der Kolbentrichter wird in einer festgelegten Zone außen mit einer leitenden Schicht versehen. Das geschieht in einem besonderen Automaten durch Besprühen mit Graphitaufschlammung. Die Außenschwärzung ergibt mit der Glaswand und dem Innenbelag die zum Beruhigen der Hochspannung notwendige Kapazität.

Endprüfung

Die jetzt betriebsfähige Röhre kommt in Spezialmeßstände, in denen man sie optisch und elektrisch prüft: Man mißt Strom- und Spannungswerte, beobachtet das Kathodenbild, die Schirmhelligkeit sowie die Strahlschärfe und kontrolliert auf Ausblendfreiheit.

Die Bildröhren sind auf größte Festigkeit des Kolbens hin dimensioniert. Dennoch wendet man eine Überdruckprüfung an, bei der die Röhre einer ungewöhnlichen Überbelastung ausgesetzt wird.

Die Kontrolle beschränkt sich nicht auf diese Endprüfung allein. In dem gesamten Fertigungsgang sind zahlreiche Prüfungen eingefügt, an denen die einzelnen Herstellungsphasen überwacht werden.

Dieses sorgfältige Überwachen sichert im Verein mit den vollautomatisch arbeitenden Einrichtungen die gleichbleibende Güte der Fernseh-Bildröhren.

	Seite		Seite
Ablenkspulen	23	Candela	60
Ablenkung, elektrostatisch	36	Daten der Fernseh-Bildröhre	55
magnetisch	34, 36	Defektelektron	47
Ablenkwinkel	10, 63	Detailkontrast = Feinkontrast	
Abmessungen	60	Diagonale	10
Äquipotentiallinien	27	Dosisleistung	52
Aktivator	47	Einzellinsen	33
Aktivieren	47	Elektrizitäts- und Wasser-	
Allgemeine Daten	55	versorgung	70
Allgemeinschärfe	44	Elektromagnetische Strahlung	48
Aluminisierung	18, 45, 74	Elektronenaustrittsarbeit	12
Aluminiumfolie	18, 45, 74	Elektronenfehlstelle	47
Aluminiumhinterlegung	18, 45, 74	Elektronengeschwindigkeit	46
Ängström	49	Elektronenvolt	46
Anode, erster Teil	16	Elektrostatische Fokussierung	17
Anodenanschluß	8	Elektrostatische Linsen	32
Anodenspannung	56	Emissionspaste	78
Aperturelektrode	43	Endprüfung	78
Aperturwinkel	43	Energiequant	49
Aufdampfen	19	Entsalzungseinheiten	70
Außenschwärzung	78	Erdfeld	55
Ausmaße der Bildröhre	10	Exemplarstreuungen	56
Beschleunigende		Evakuieren	76
elektrostatische Linsen	33	Farbe des Bildschirm-	
Beschleunigung der Elektronen	14	leuchtens	19, 44
Beschleunigungselektrode	16, 56	Farbtemperatur	44
Beschleunigungslinsen	33	Farbtemperatur, ähnlichste	45
Betrieb der		Feinkontrast	20
Fernseh-Bildröhre	55, 63	Fertigung	
Betriebswerte	56	von Fernseh-Bildröhren	69
Bezugslinie	60	in ununterbrochenem Fluß	72
Bildendröhre = Videoendröhre		Fertigstellen der Röhre	78
Bildröhren-Anodenspannung	16	Flächenkontrast = Grobkontrast	
-Frontplatte	8	Flimmern	55
Bildschirmröntgenstrahlung	52	Fluoreszenz	47
Brenner	12	Fluoreszenzfarbe	55
Brennfläche	8		
Bündelungspunkt	31		

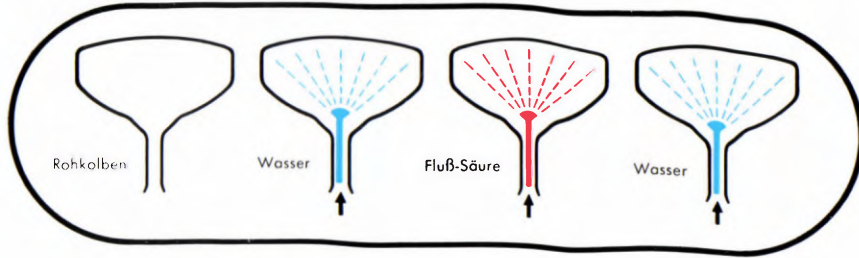
	Seite		Seite
Fokussierung, elektrostatisch	17	Kapazitäten	58
magnetisch	37	Kathode	12
Fokussierungselektrode	33	Kathodensteuerung	30
Fokussierungsspannung	56	-strom	59
Footlambert	60	-vorspannung	67
Gammastrahlung	50	Kennlinien	58
Gefälleverlauf krümmt		Kilopond	8
Elektronenbahnen	27	Knick im Strahlsystem	39
Geknicktes Strahlsystem	39, 40	Kolben	7, 72
Geradsichtiges		-hals	8
Strahlsystem	14, 43	-trichter	8
Getter abschießen	78	Kollodiumhaut	19, 74
Gettern	78	Kontrast	19, 20
Getterspiegel	78	Kristallgitter	47
Gittersteuerung	30	Kristallphosphore	47
Gittervorspannung	14, 30	Leuchtdichte	59, 60
Grauglas	20	Leuchtschicht aufbringen	72
Grautreppe	20	Lichtdurchlässigkeit	55
Grenzwerte	56	Lichthof	21
Grobkontrast	20	Lichtstärke	59
Hängebahnen	72	Linse der Kathode benachbart	31
Heizfaden	57	Linse zur Fokussierung	17
Heizung	55	Linsen, beschleunigende	33
Heizwendel	12	elektrostatische	32
Hochspannungsanschluß	8	magnetische	37
Hochspannungserzeugung	64	nichtbeschleunigende	33
Höchstzulässige		optische	32
Strahlenbelastung	52	Linselektrode	17, 33
Innenbelag	74	Loch	47
Ion, negativ	40	Luftdruck	8
positiv	48	Magnetfeld krümmt	
Ionenaustauschverfahren	70	Elektronenbahn	22
Ionenfalle	42	Magnetische Fokussierung	37
Ionenfallenmagnet	42	Linsen	37
Ionisierbar	48	Magnetisches Ablenken	34, 36
		Erdfeld	55

	Seite		Seite
Millistilb	60	Sekundärelektronen	45
Mittleres Nachleuchten	55	Spannungsgefälle und räumliches Gefälle	25, 26
Nachleuchten	55	Sperrspannung	56
Natürliche Strahlenbelastung	53	Sphärische Form	55
Strahlung	52	Steuerelektrode	14
Negatives Ion	40	Steuerung der Fernseh-Bildröhre	66
Nichtbeschleunigende elektrostatische Linsen	33	Stilb	60
Optische Linsen	32	Strahlenbelastung, höchstzulässige	52
Photon-Energie	49	natürliche	53
Physikalische Erläuterungen	22	Strahlstrom-Dichte	60
Plancksches Wirkungsquantum	48	-Steuerung	28
Positives Ion	48	Strahlsystem	10
Preßnaht	8	geknickt	39, 40
Pumpofen	76	geradsichtiges	14
Pumpstengel	14	Strahlung, elektromagnetische	48
Pumpstutzen	14	natürliche	52
		System einschmelzen	76
Querfeld	55	Toroid-Spule	24
Querspannung	27		
Randfehler	44	Übersichtstafel	83 u. 84
Räumliches Gefälle und Spannungsgefälle	25	Ultraviolettbestrahlung	48
Raumladung	28	UV-Strahlung	48
Reinigen des Kolbens	72	Video-Endröhre	64, 67
Röntgenstrahlung		Vorspannung	14
des Bildschirmes	52		
hart	50	Wasser- und Elektrizitäts- versorgung	70
weich	50	Wellenstrahlung	48
Rohkolben	72		
Sattelspule	24		
Schirm ausheizen	76	Zentriermagnet	38
-Kontrolle im Dunkelraum	76	Zumutbare Dosisleistung	52

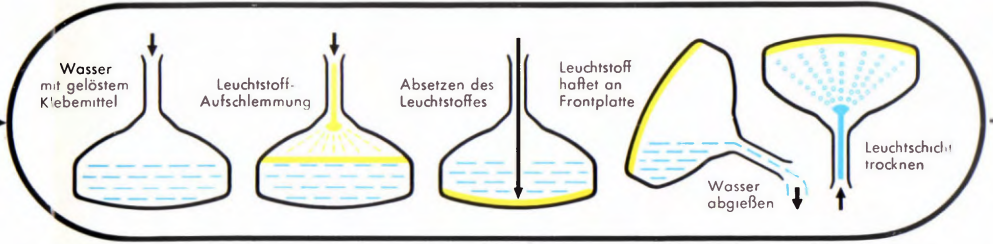
Fernseh-Bildröhre · Schema des Fertigungsganges



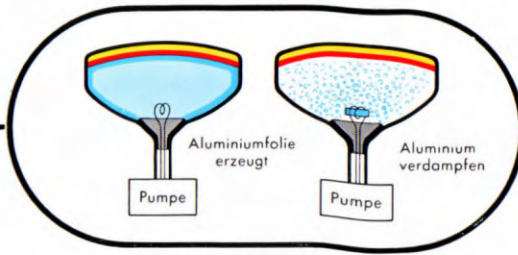
Reinigen des Kolbens



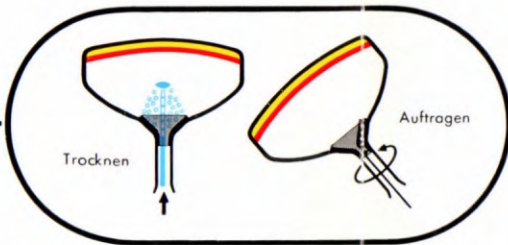
Aufbringen der Leuchtschicht



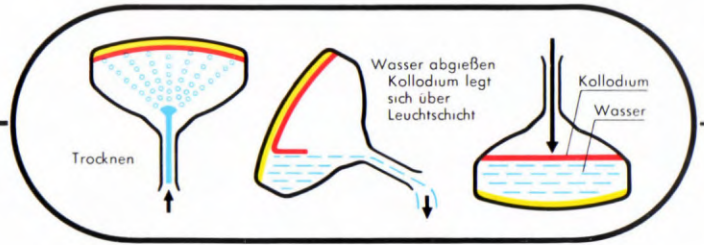
Aluminisieren



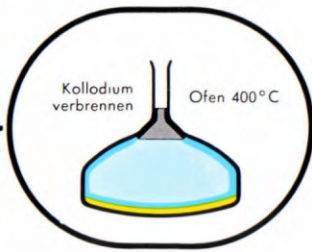
Leitender Innenbelag



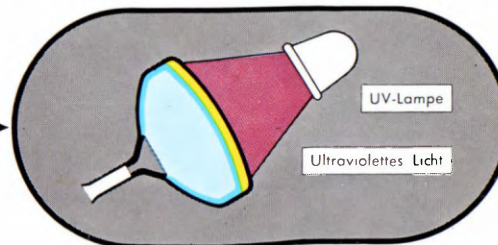
Aufbringen der Kollodiumhaut



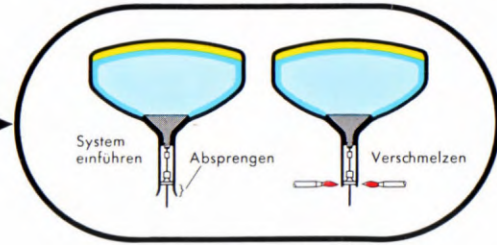
Schirm ausheizen



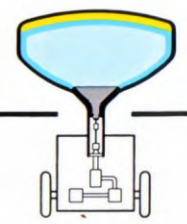
Schirmkontrolle im Dunkelraum



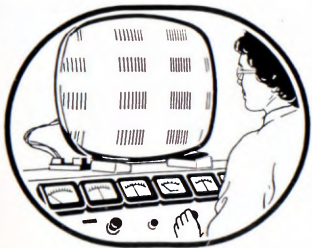
System-Einsmelzen



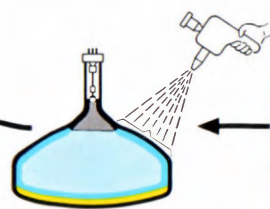
An Pumpwagen anschließen



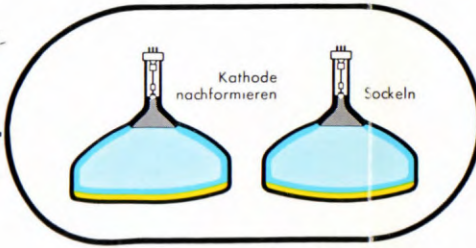
Endprüfung, elektrisch und optisch



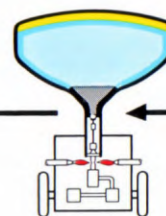
Außenschwärzen



Fertigstellen der Röhre



Abschmelzen



Evakuieren im Elektro-Ofen

