Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 33 (1955)

Heft: 5

Artikel: Technik des Fernsehens

Autor: Karolus, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874228

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Nº 5 - BERN, 1. V. 1955 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXXIII

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Technik des Fernsehens[1]

Von *A. Karolus*, Zollikon-Zürich

621.397.5:621.397.3

Zusammenfassung. *Vom Aufbau des menschlichen Auges und den physiologischen Vorgängen in demselben ausgehend, wird ein Überblick über die Entwicklung des Fernsehens von den «mechanischen» Verfahren der Bildfeldzerlegung bis zu den heutigen elektronischen Methoden gegeben. Die Forderung nach immer schärferen und helleren Fernsehbildern führte zu einer enormen Vergrösserung der Bandbreite der Verstärker und der elektrischen Übertragung und dadurch zur Entwicklung der Breitbandkabel und der Ultrakurzwellensender.*

Die Fernseh-Aufnahmeröhre ist durch die Verwendung des Speicherprinzipes und durch systematische Untersuchungen ihrer Wirkungsweise in ihrer Empfindlichkeit so weit gesteigert worden, dass sie in ihrer letzten Entwicklungsphase an die Empfindlichkeit des menschlichen Auges heranreicht.

Die Entwicklung der Fernseh-Empfangsröhre ist gekennzeichnet durch die stetige Zunahme der Bildgrösse, durch Steigerung der Schirmhelligkeit und durch Verbesserung des Bildkontrastes. Die heutige Bildqualität wurde im wesentlichen erreicht durch: Verbesserung der Phosphore, durch das Aufdampfen einer dünnen Aluminiumschicht auf den Leuchtschirm, durch Erhöhung der Elektronengeschwindigkeit und durch die stetige Verbesserung der elektronenoptischen Abbildung der Kathode auf dem Bildschirm. Einen wesentlichen Anteil am technischen Aufwand eines vollständigen Fernseh-Empfängers bilden die Hilfsmittel, die zur Ablenkung des Kathodenstrahles, zur Verstärkung des hochfrequenten Bildsignales und zur Abtrennung der Synchronisierimpulse notwendig sind.

Zum Schluss wird kurz auf die heutigen Farbfernseh-Verfahren eingegangen, vor allem auf die Schwierigkeiten bei der Übertragung von drei Farbauszügen und der simultanen, additiven Mischung der drei Teilbilder.

Résumé. *Partant de la constitution de l'œil humain et des phénomènes physiologiques dont il est le siège, l'auteur présente un aperçu du développement de la télévision, depuis les procédés «mécaniques» servant à analyser une image jusqu'aux méthodes électroniques modernes. La demande d'images toujours plus précises et plus claires a conduit à une énorme augmentation de la largeur de bande des amplificateurs et de la transmission électrique et, par voie de conséquence, à la construction des câbles à large bande et à l'établissement des émetteurs d'ondes ultra-courtes.*

L'emploi du principe de l'accumulation, ainsi que des essais systématiques du fonctionnement des tubes de prise de vues ont permis d'en augmenter la sensibilité au point qu'elle s'approche actuellement de celle de l'œil humain.

Le développement du tube récepteur est caractérisé par l'agrandissement constant de l'image, l'augmentation de la clarté de l'écran et l'amélioration de l'effet de contraste. La qualité actuelle de l'image a été atteinte grâce surtout à: l'amélioration des phosphores, l'application sur l'écran, par vaporisation, d'une mince couche d'aluminium, l'augmentation de la vitesse des électrons et l'amélioration constante de la reproduction électronique-optique de la cathode sur l'écran. Les dispositifs auxiliaires servant à dévier le rayon cathodique, à renforcer le signal-image à haute fréquence et à discriminer les impulsions de synchronisation constituent une partie importante de l'agencement technique d'un récepteur de télévision complet.

Pour finir, l'auteur traite encore brièvement des procédés connus de télévision en couleurs, particulièrement des difficultés que rencontre la transmission de trois couleurs choisies et du mélange des trois images partielles.

A. Physiologische und physikalische Grundlagen des Fernsehens

Wie der Fernsprecher am Beginn seiner Entwicklung vom Sprach- und Hörorgan des Menschen ausging, so hat das menschliche Auge dem elektrischen Fernseher in seinen Anfängen als Vorbild gedient. In unserem Auge entwirft eine Linse das Bild der Aussenwelt auf Millionen von lichtempfindlichen Organen, den Stäbchen und Zäpfchen. In jedem dieser Organe entsteht durch die Einwirkung des Lichtes eine elektrische Spannung. Von jeder lichtempfindlichen Netzhautzelle führt eine Faser des Sehnervenstranges zu einer bestimmten Zelle im Sehzentrum des Grosshirns. Die lichtempfindliche «Sehfläche» unseres Auges ist zwar ausserordentlich fein unterteilt, aber doch in eine endliche Zahl von getrennten Elementen. Die endliche Ausdehnung der Stäbchen und Zäpfchen bedingt die Grenze der Seh-

[1] **Bemerkung der Redaktion.** Wir haben Herrn Prof. Dr. A. Karolus, einen Pionier des Fernsehens, gebeten, für unsere Leser mit wenig fachlichen Vorkenntnissen eine Einführung in die Technik des Fernsehens zu schreiben. Herr Professor Karolus hat unserer Bitte in freundlicher Weise entsprochen, wofür wir ihm auch an dieser Stelle unseren besten Dank aussprechen.

schärfe. Wir können zwei leuchtende Punkte oder zwei Linien nur dann getrennt erkennen, wenn sie für unser Auge einen Winkel einschliessen, der grösser ist als 1...2 Bogenminuten. Bei einer mittleren Sehschärfe von 1,5 Bogenminuten kann das Auge auf jeden Winkelgrad 40 Streifen verschiedener Helligkeit unterscheiden. Bei der heutigen Zeilenzahl (625) beträgt danach der optimale Betrachtungswinkel für ein Fernsehbild etwa 15^0. Tritt man näher an das Bild heran, so wirkt es unscharf, da dann die Zeilenstruktur noch zu erkennen ist. Vergrössert man den Betrachtungsabstand, so verliert man entsprechend an Einzelheiten. Ein gutes Kinobild entspricht wegen der Korngrösse der Emulsion einer Rasterung von etwa 800 Zeilen.

Fernseher, die, wie das Auge, als «Zellenraster» aufgebaut sind, wurden zu Anfang dieses Jahrhunderts sehr oft beschrieben, aber, von primitiven Modellen abgesehen, nie verwirklicht. So soll nach einem Vorschlag von *Rignoux* und *Fournier* (1909) das elektrisch zu übertragende Bild durch ein Objektiv auf einer mit vielen kleinen Selenzellen dicht besetzten Fläche entworfen werden. Jede dieser Selenzellen steuert über eine eigene Leitung die Helligkeit einer kleinen Glühlampe oder Glimmlampe, die die gleiche Lage in einem Empfangsschirm einnimmt. Dieser Empfangsschirm hat dieselbe Aufteilung, also ebensoviel Bildelemente wie die Geberseite. Die Wiedergabe der Helligkeitswerte der einzelnen Bildelemente erfolgt durch Änderung der Stromstärke, die proportional der momentanen Belichtung der zugeordneten Selenzelle ist. An die Trägheit der lichtempfindlichen Aufnahmeorgane, ebenso an die Modulationsfähigkeit der Lichtquellen, werden sehr kleine Anforderungen gestellt. Mit Rücksicht auf die Trägheit unseres Auges, das nicht imstande ist, Änderungen des Bildes innerhalb etwa $^1/_{10}$ Sekunde zu folgen, genügt es, wenn die Wandlerorgane fähig sind, sich in dieser Zeit einzustellen. Die Schwierigkeiten derartiger Raster-Fernseher liegen in der Zahl der notwendigen Leitungen. Da auch bei bescheidenen Anforderungen an die Bildschärfe eine Aufteilung in wenigstens 10 000 Elemente notwendig ist (100 Zeilen zu je 100 Elementen), wäre ein Kabel von 10 000 isolierten Einzelleitungen für die Verbindung zwischen Fernsehaufnahme und -wiedergabe zu bauen, was wirtschaftlich untragbar ist. Vorschläge, anstelle der einzelnen Leitungen Wechselströme verschiedener Frequenz zur eindeutigen Verbindung lagengleicher Punkte zu verwenden, scheitern an dem Aufwand für die Erzeugung und Trennung der einzelnen Frequenzen.

Die Fernsehübertragung in der im menschlichen Auge vorgebildeten Form hat sich bis heute als undurchführbar erwiesen. Die weit einfachere technische Lösung liegt in der Weiterentwicklung der elektrischen Bildübertragung. Bei dieser werden die Flächenelemente eines Bildes *zeitlich nacheinander* auf *einer* Leitung übertragen. Das Bild wird durch mechanische oder elektrische Hilfsmittel in eine Folge seiner einzelnen Bildelemente zerlegt.

Bei der elektrischen Bildübertragung zerlegt man das in Form einer Photographie oder einer Zeichnung vorliegende Original gewöhnlich dadurch, dass man es auf einer Trommel rotieren lässt und dabei unter einer feststehenden Optik vorbeibewegt. Durch gleichzeitiges Verschieben der Trommel in axialer Richtung gelangen nacheinander alle Bildelemente unter den Lichtstrahl, der an der Bildfläche jeweils nur 1 Bildelement von Bruchteilen eines Quadratmillimeters Fläche beleuchtet. Das reflektierte Licht fällt in eine Photozelle, in der die Helligkeitswerte der einzelnen Flächenelemente in Stromwerte umgewandelt werden. Auf der Empfangsseite wird ein photographischer Film, der auf einer gleichen Trommel synchron mit der Abtastung rotiert, nacheinander Punkt um Punkt geschwärzt, nachdem die ankommenden Stromwerte zuvor in variable Lichtströme zurückverwandelt wurden.

Die heutige Fernsehtechnik zerlegt, wenn auch mit andern Methoden, wie die Bildübertragung, das optische Bild und überträgt Punkt um Punkt die einzelnen Helligkeitswerte. Während aber in der elektrischen Bildtelegraphie die Übertragung einer Vorlage gewöhnlich mehrere Minuten in Anspruch nimmt, muss beim Fernsehen die gesamte Bildfeldzerlegung, die Umwandlung der Helligkeitswerte in Stromwerte und die Bilderzeugung am Empfänger in Bruchteilen einer Sekunde abgewickelt werden. Das Auge verschmilzt nur dann die nacheinander aufleuchtenden Punkte zu einer Zeile und die Folge der Zeilen zu einer Fläche, wenn dieser Aufbau sich in weniger als $^1/_{10}$ Sekunde vollzieht.

Das geschilderte Verfahren wäre undurchführbar ohne die schon erwähnte Trägheit unseres Auges. Jeder Lichtreiz, er mag noch so kurz sein, klingt erst etwa in $^1/_{10}$ Sekunde ab. Dank dieser «Persistenz» verschmilzt das Auge zum Beispiel die ihm bei einer Kinoprojektion nacheinander vorgeführten Bilder zu einem zusammenhängenden Eindruck. Damit diese Verschmelzung ohne Flimmern vor sich geht, müssen wenigstens 20, bei grösserer Bildhelligkeit bis 60 Einzelbilder in der Sekunde in das Auge fallen.

B. Bildzerlegung und Bandbreite

Bei der Auflösung eines Bildes in eine zeitliche Folge von Stromwerten ändern sich diese um so rascher, je feiner die Auflösung und je häufiger die Wiederholung ist. Das Produkt aus der Zahl der Bildelemente je Bild mit der Zahl der Bilder in der Sekunde gibt die Anzahl der Stromstösse verschiedener Stärke, die in jeder Sekunde zu übertragen sind. Die schon als Beispiel genannte Auflösung eines Bildes in 10 000 Elemente führt bei 25facher Wiederholung in jeder Sekunde zu der Forderung, 250 000 Bildelemente je Sekunde zu übertragen. Alle Wandlerorgane müssen imstande sein, diese Zahl von Stromwerten unverzerrt wiederzugeben. Selenzellen, wie sie

für den eingangs skizzierten Rasterfernseher möglich waren, versagen bereits bei wenigen tausend Helligkeitsänderungen. Der an sich lange bekannte Photoeffekt an Kalium- oder Cäsiumschichten konnte erst nach der Entwicklung der Verstärkerröhre für die vorliegende Aufgabe herangezogen werden. Die Elektronenröhre in ihrer jetzigen Form entstand in den Jahren 1914 bis 1920, und unmittelbar anschliessend setzte die Entwicklung des Fernsehens ein.

Die Ströme, die in einer Hochvakuum-Photozelle bei einer bestimmten Lichtmenge, etwa 1 Lm, entstehen, sind rund 1000mal kleiner als in einer Selenzelle. In den besten Photozellen beträgt die Stromausbeute 30 bis 100 μA/Lm. Die Elektronenemission an einer Kalium- oder Cäsiumschicht erfolgt aber ohne jede messbare Trägheit. Unter den Lichtverhältnissen einer Fernsehübertragung sind die ausgelösten Photoströme so klein, dass sie erst nach 10^4- bis 10^6facher Verstärkung zur Modulation eines hochfrequenten Senders geeignet sind. Photozelle und Verstärker lösen zusammen die Probleme der Fernseh-Aufnahmeseite.

Am Empfänger müssen die ankommenden Stromwerte trägheitslos in eine entsprechende Folge von Lichtwerten rückverwandelt werden. Diese Aufgabe wurde zum erstenmal durch Verwendung des elektrooptischen Kerreffektes im Jahr 1924 gelöst.

Der technische Fortschritt, den das Fernsehen im Laufe der letzten 25 Jahre gemacht hat, wird am sinnfälligsten durch das Wachsen der Zeilenzahlen charakterisiert. Die folgende Tabelle zeigt, wie in dieser Zeit die Zeilenzahl und die Zahl der Bildelemente je Bild zugenommen haben.

Damit unser Auge die ihm in einem Fernsehempfänger zeitlich nacheinander zugeführten Punkte zu einem Bild verschmilzt, muss, wie bereits gesagt wurde, der gesamte Aufbau eines Bildes in einem Bruchteil einer Sekunde vor sich gehen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Übertragung eines Bildes wenigstens 25mal in der Sekunde wiederholt werden muss. Wir nennen die Zahl der Wiederholungen die Bildfrequenz. In den ersten Jahren begnügte man sich mit einer Bildfrequenz von 10 bis 12 und nahm ein entsprechend starkes Flimmern des Bildes in Kauf.

Die höchste Frequenz, die bei der Abtastung eines Bildes auftreten kann, entspricht dem Fall, dass innerhalb des Bildes auf jedes weisse Bildelement sofort ein schwarzes Bildelement folgt, dass also das ganze Bild in eine Art Schachbrett aufgeteilt ist, dessen Felder die Fläche eines Bildelementes haben. Da ein weisses Bildelement durch einen positiven Strom, ein schwarzes Bildelement durch einen negativen Stromwert übertragen werden kann, hat der bei der elektrischen Umwandlung der Helligkeitswerte entstehende Wechselstrom eine obere Grenzfrequenz gleich der halben Bildpunktzahl je Sekunde. Die Helligkeitsverteilung eines Bildes kann aber alle Zwischenwerte zwischen dem «Schachbrett» und dem andern Extrem, bei dem die ganze Fläche weiss oder schwarz ist, annehmen. Der Verstärker und die Wandlerorgane müssen deshalb imstande sein, alle Frequenzen von Null bis zu der genannten oberen Grenzfrequenz zu übertragen.

Spalte 5 der Tabelle enthält die bei einer bestimmten Normung auftretende maximale Bildfrequenz.

Jahr	Zahl der Zeilen	Zahl der Bildelemente je Bild	Zahl der Bilder in der Sekunde	Maximale Bandbreite	Notwendige Trägerfrequenz	λ
1924	48	2 500	10	12,5 kHz	0,6 MHz	500 m
1928	100	10 000	12,5	62 kHz		
1932	120	14 500	24	170 kHz	10 MHz	30 m
1935	180	33 000	25	400 kHz		
1939	441	200 000	25	3,3 MHz	50...300 MHz	6...1 m
1951	625	400 000	25	6,2 MHz		

Da man bei der Übertragung eines Fernsehbildes gezwungen ist, dieses in Punkte (Bildelemente) aufzulösen und die Helligkeitswerte aller Punkte dem Empfänger in zeitlicher Reihenfolge zu signalisieren, ist nicht die Zeilenzahl das Mass für die Auflösung eines Bildes, sondern die Zahl der Bildelemente. Wählt man die Abmessungen eines Bildelementes so, dass die Auflösung des Bildes in horizontaler und vertikaler Richtung gleich ist, dann wird die Zahl der Bildelemente eines Bildes gleich dem Quadrat der Zeilenzahl. Die dritte Spalte der voranstehenden Tabelle enthält die Zahl der Bildelemente, also die in verschiedenen Stadien der Fernsehentwicklung erreichte Bildauflösung.

Soll Sende- und Empfangsseite eines Fernsehers über Kabel verbunden sein, so muss dieses alle Frequenzen bis zu dieser oberen Grenzfrequenz durchlassen. Die Bandbreite solcher Kabel und aller im Zuge des Kabels liegenden Verstärker ist demnach ebenfalls durch die in Spalte 5 angegebene Frequenz bestimmt.

Die von der heutigen Fernsehtechnik gewählte Lösung, die Bildelemente eines Bildes rasch nacheinander zu übertragen, im Gegensatz zu der im Auge vorgebildeten Form, verlangt nur eine Verbindung zwischen Aufnahme- und Wiedergabeseite, das heisst eine Leitung, ein Kabel oder einen drahtlosen Sender. Diese Vereinfachung ist aber erkauft durch folgende Komplikationen:

1) Bildfeldzerlegung an der Aufnahme- und Wiedergabeseite in $^1/_{25}$ Sekunde;
2) ständige Wiederholung des Bildes;
3) Synchronismus zwischen Bildfeldzerlegung auf der Aufnahme- und der Wiedergabeseite;
4) Kabel, Verstärker, Sender und Empfänger von sehr grosser Bandbreite;
5) hochfrequente Sender mit begrenzter Reichweite im Gebiet der Meter- und Dezimeterwellen.

C. Die mechanischen Fernsehverfahren

Wir sprechen von «mechanischen Fernsehverfahren», wenn das Bildfeld durch mechanische Hilfsmittel, wie Nipkowscheiben, Spiegelräder u. dgl., in Bildelemente zerlegt wird. Eine Nipkowscheibe (*P. Nipkow*, 1884) hat an ihrem Umfang eine Anzahl Löcher, die, spiralförmig angeordnet, jeweilen nur 1 Bildelement des in ihrer Ebene entworfenen Bildes zur Photozelle gelangen lassen (Fig. 1). Die Grösse des Bildelementes wird durch die Grösse der Blendenöffnung bestimmt, die Zahl der Zeilen durch die Zahl der Öffnungen. In einer Umdrehung der Scheibe wird das ganze Bildfeld einmal abgetastet. Ein Synchronmotor dreht die Nipkowscheibe mit einer der Bildfrequenz entsprechenden Drehzahl.

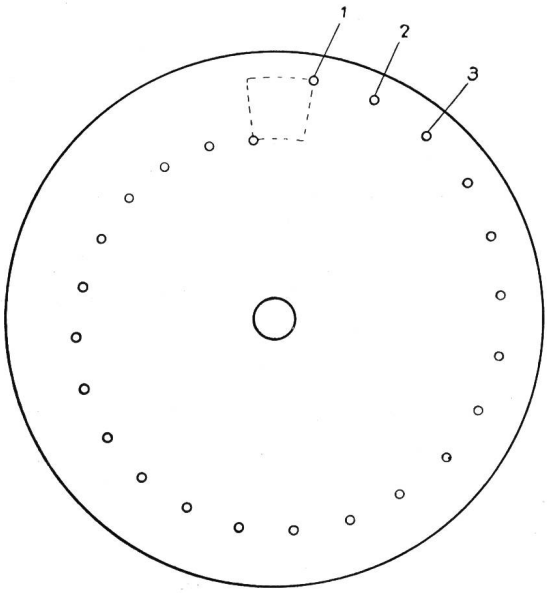

Fig. 1. *Nipkow*scheibe

Figur 2 zeigt einen Fernseher, der auf der Aufnahme- und Wiedergabeseite eine derartige Nipkowscheibe verwendet. Ein Objektiv entwirft von der zu übertragenden Person ein Bild auf der Abtastscheibe. Dreht sich diese, so fällt Punkt um Punkt des Bildes in die trägheitslose Photozelle. Der ausgelöste Photostrom variiert von Bildelement zu Bildelement, je nach dessen Helligkeit. Ein Verstärker bringt die am Photowiderstand auftretenden Spannungen von wenigen Millivolt auf einen Betrag, mit dem eine Lichtquelle auf der Wiedergabeseite gesteuert werden kann. In Figur 2 ist eine Flächenglimmlampe zur Rückverwandlung der Stromwerte in Lichtwerte angegeben. Es sei aber bemerkt, dass bereits bei einer Bildauflösung in 10 000 Bildpunkte die übliche Glimmlampe versagt.

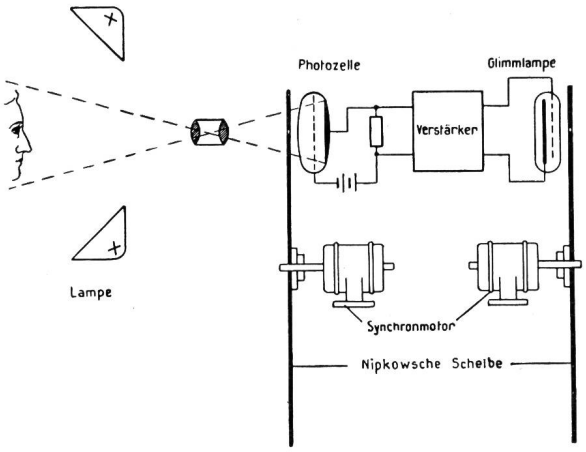

Fig. 2. Fernsehübertragung, schematisch. Bildfeldzerlegung im Sender und im Empfänger durch eine *Nipkow*scheibe

Die Lichtverschwendung auf der Abtast- und Wiedergabeseite einer Fernsehanordnung gemäss Figur 2 ist augenscheinlich. Von dem gesamten durch das Objektiv entworfenen Bild fällt in jedem Augenblick nur ein sehr kleiner Bruchteil auf die Photozelle, alles übrige Licht geht verloren. Ebenso gelangt von der leuchtenden Fläche der Glimmlampe nur ein durch die Grösse des Bildelementes gegebener Bruchteil in das Auge des Betrachters.

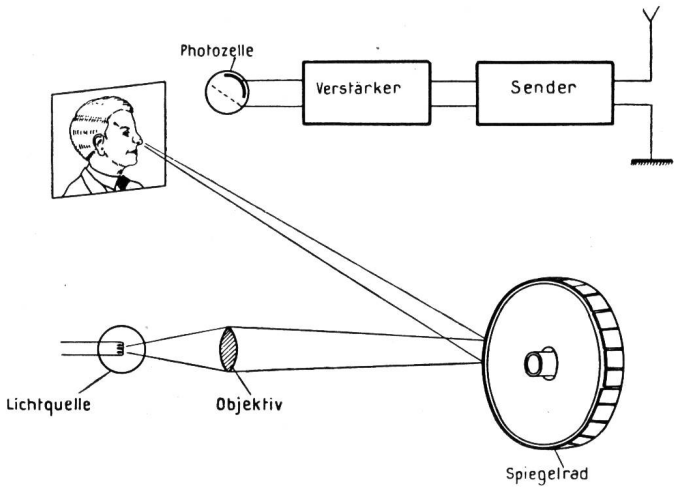

Fig. 3. Fernsehsender, Abtastung des Bildfeldes durch Spiegelrad

Einen ungleich besseren optischen Wirkungsgrad besitzen Anordnungen, bei denen das Bildfeld durch Spiegelräder zerlegt wird (Fig. 3). Ein Rad hat an seiner Peripherie ebensoviel Spiegel wie das Bild Zeilen. Jeder Spiegel tastet eine Zeile dadurch ab, dass beim Drehen des Rades das Bild einer punktförmigen Lichtquelle über das fernzusehende Objekt bewegt wird. Die einzelnen Spiegel sind so verkantet, dass die abgetasteten Zeilen untereinanderliegen

(*Weiller*, 1889). Das von der beleuchteten Person reflektierte Licht fällt auf eine Photozelle. Die Photoströme werden verstärkt und über eine Leitung oder über einen drahtlosen Sender zum Empfänger übertragen. Dieser Empfänger (Fig. 4) enthält für den Bildaufbau ein gleiches Spiegelrad wie der Sender. Die Umwandlung der ankommenden elektrischen Ströme in Lichtwerte erfolgt durch ein trägheitsloses Lichtrelais. Durch Verwendung des Kerreffektes (*Karolus*, 1924) oder der von *Debye* und *Sears* entdeckten Lichtbeugung an Ultraschallwellen (*Karolus*, 1932) kann der Lichtstrom einer konstanten Lichtquelle im Rhythmus der ankommenden Photoströme geändert werden.

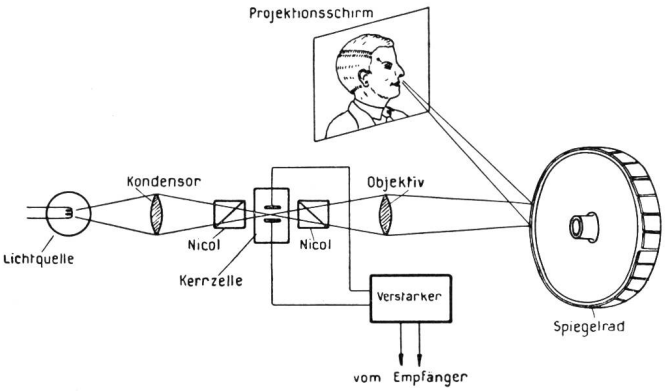

Fig. 4. Fernsehempfänger mit Spiegelrad und *Kerr*zelle

Die beiden Spiegelräder müssen synchron rotieren. Der Synchronismus kann durch verschiedene Verfahren erreicht werden, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Nipkowscheiben, Spiegelräder usw. sind aus der heutigen Fernsehtechnik verschwunden. Ihre Funktionen hat die Elektronenröhre übernommen. Als Kathodenstrahlröhre mit Leuchtschirm tastet sie Filme ab, die wir übertragen wollen, und baut auf der Empfangsseite in $^1/_{25}$ Sekunde ein Bild aus den Hunderttausenden von Punkten auf, in die wir die Sendung gerastert haben. Mit einer photoempfindlichen Schicht versehen, nehmen Elektronenröhren in Form des Ikonoskopes Bilder wie eine Filmkamera auf und verwandeln die Helligkeitswerte durch eine periodische Abtastung in eine Folge von Stromimpulsen.

D. Die Kathodenstrahlröhre

Die Fernsehröhre (Fig. 5) ist entstanden aus dem Kathodenstrahl-Oszillographen von *M. Braun* (1897). Ihre wesentlichen Bestandteile sind folgende: eine punktförmige Glühkathode von 0,3 bis 1 mm² Grösse, ein Steuerzylinder (*Wehnelt*-Zylinder), der die Kathode umgibt und von dessen Vorspannung die Stromstärke abhängt, eine oder mehrere Elektroden, um die Elektronen auf etwa 10 kV zu beschleunigen, und ein Leuchtschirm, in dem die kinetische Energie der Elektronen beim Aufprall auf den Phosphor in Licht verwandelt wird. Durch elektrische oder magnetische rotationssymmetrische Felder (Elektronenlinsen) wird die punktförmige Glühkathode auf dem Leuchtschirm abgebildet, so dass der Kathodenstrahl in jedem Augenblick nur eine Fläche von der Grösse eines Bildelementes anregt (Fig. 6).

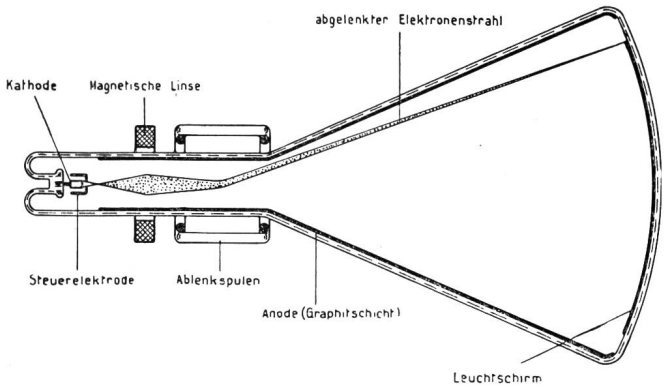

Fig. 5. Kathodenstrahlröhre

Durch periodische Ablenkung wird der Strahl innerhalb $^1/_{25}$ Sekunde über die gesamte Fläche des Leuchtschirmes bewegt. Die Ablenkung des Strahles erfolgt in Fernsehempfangsröhren in beiden Koordinaten durch magnetische Felder. Figur 7 zeigt eine Anordnung aus vier Spulen für die Ablenkung in Zeilen- und Bildrichtung. Die Ablenkspulen enthalten heute zumeist Ferritkerne, und das äussere Feld ist über Ringe aus dem gleichen Material geschlossen. Dadurch wird der Ablenkstrom erheblich verringert.

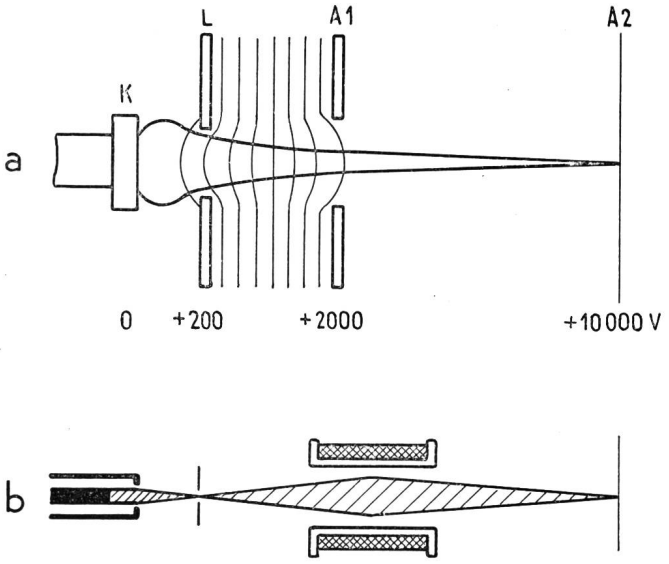

Fig. 6. Elektronenlinsen einer Fernsehröhre; a = elektrische –, b = magnetische Linse

Um den Strahl mit konstanter Geschwindigkeit längs der Zeilen zu bewegen, muss der Strom in der Zeilenspule linear mit der Zeit anwachsen und am Ende der Zeile sehr schnell auf Null abfallen oder in die entgegengesetzte Richtung umgeschaltet werden. In der zweiten Koordinate, der Bildrichtung, muss der Strom in der gleichen Form innerhalb $^1/_{25}$ Sekunde (bei

Zeilensprung in $^1/_{50}$ Sekunde) ansteigen. Die Schaltungen zur Erzeugung derartiger Stromkurven sollen im Abschnitt Fernsehempfang besprochen werden.

In Fernsehbildröhren wird als Elektronenlinse fast ausschliesslich eine kurze Magnetspule verwendet (Fig. 6b), die als Konzentrierspule bezeichnet wird. Der Strom der magnetischen Linse muss für eine gegebene Windungszahl und eine gegebene Lage sehr

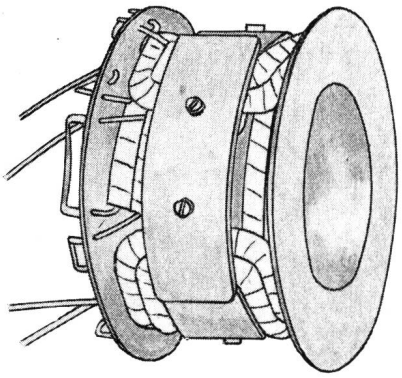

Fig. 7. Spulen für magnetische Ablenkung

genau eingestellt und konstantgehalten werden. Man ist neuerdings dazu übergegangen, den Kathodenstrahl durch permanente Magnete mit gleichem Feldverlauf zu konzentrieren.

Die Fernsehbildröhren haben einen Durchmesser von durchschnittlich 40 cm. Da die Gestehungskosten einer Bildröhre mit den Dimensionen stark anwachsen, wird ein Kolbendurchmesser von etwa 50 cm die obere Grenze bilden. Für Bilder der Grösse 40 × 50 cm und mehr liegt die wirtschaftlichere Lösung in der optischen Vergrösserung eines kleinen, aber sehr lichtstarken Bildes. Solche Heimprojektionsempfänger

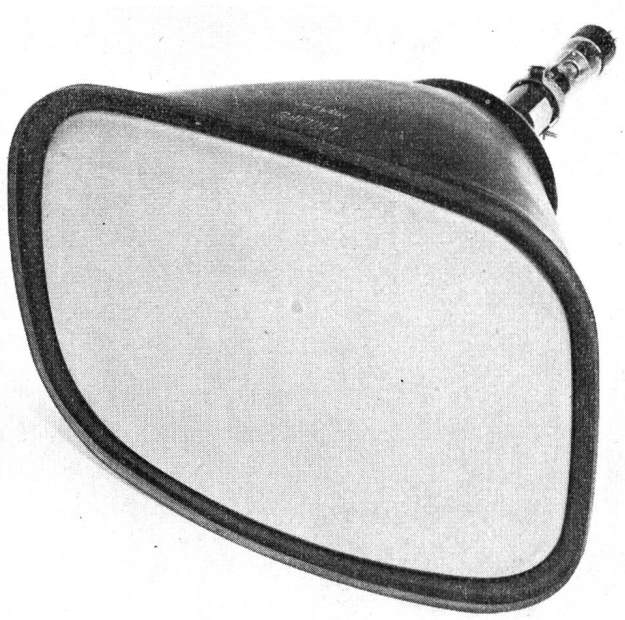

Fig. 8. Rechteckröhre mit Metallkolben

stehen bei Verwendung der sogenannten Schmidt-Optik in bezug auf Helligkeit und Schärfe den Empfängern mit direkter Betrachtung des Schirmbildes wenig nach.

Der Kolben einer Bildröhre kann, mit Ausnahme des Abschlussfensters, aus Metall hergestellt werden. Eine Metallröhre wiegt bei gleicher Bildgrösse weniger als die Hälfte einer aus Glas hergestellten Bildröhre. Neuerdings wird die Form des Kolbens häufig der Rechteckform des Bildes angepasst. Figur 8 zeigt eine solche Rechteckröhre mit Metallkolben.

Als «Phosphor» wird für Fernsehempfangsröhren hauptsächlich ZnS oder CdS oder ein Gemisch der beiden verwendet. Die Lichtausbeute beträgt je nach Spannung und Schirmbelastung 2...4 HK/W. Die Lichtemission klingt bei allen bekannten Phosphoren nur langsam ab. In einer Empfangsröhre ist ein Nachleuchten bis zu $^1/_{25}$ Sekunde erwünscht, weil dadurch das Flimmern verringert wird. In Röhren, die zur Abtastung von Diapositiven oder Filmen dienen (Leuchtschirmabtaster), sollte die Lichtemission in 10^{-7} Sekunden abgeklungen sein, da sonst mehr als 1 Bildelement der Vorlage gleichzeitig beleuchtet wird.

Eine wesentliche Vergrösserung der Schirmhelligkeit brachte eine dünne Aluminiumschicht unmittelbar hinter dem Phosphor (*A. de Quervain*, 1939). Je nach der Betriebsspannung der Röhre wird heute ein Aluminiumbelag in einer Dicke von 0,05 bis 0,5 μ auf den Phosphor aufgedampft, wobei die Leuchtmasse zuvor durch eine Zwischenschicht aus Nitrozellulose bedeckt wird. Diese Zwischenschicht wird nach dem Aufdampfen des Metalles durch Ausheizen zerstört. Der zurückbleibende Aluminiumbelag liegt als blanker Metallspiegel auf der Phosphorschicht auf. Die Elektronen durchdringen den Aluminiumspiegel ohne merklichen Geschwindigkeitsverlust. Alles Licht, das bisher vom Phosphor nach der Rückseite emittiert wurde, wird nun nach vorn reflektiert. Fast wichtiger als die Vergrösserung des Nutzlichtes ist die Beseitigung des Störlichtes, das bisher am Glaskolben diffus reflektiert wurde und in den dunklen Partien des Bildes eine störende Grundhelligkeit bildete.

Die Aluminiumschicht verhindert zudem die Aufladung des Phosphors. Alle Leuchtstoffe sind Isolatoren, sie laden sich beim Bombardement mit Elektronen negativ auf, wenn ihre Sekundäremission nicht genügt, um die einfallenden Ladungen durch Sekundärelektronen wieder abzugeben. Diese Aufladung bewirkt, dass die Elektronen einen Teil ihrer kinetischen Energie durch Abbremsen wieder verlieren. Bei den meisten Phosphoren steigt die Lichtausbeute nicht mehr an, wenn man die Anodenspannung über 6 kV vergrössert. An metallisierten Schirmen wächst der Lichtstrom mit der Spannung praktisch linear. In einer modernen Fernsehempfangsröhre werden die Elektronen auf 8...12 kV, in Farbröhren auf 20 kV beschleunigt.

Weiterhin beseitigt die Aluminiumschicht die Beschädigung des Phosphors durch negative Ionen und

damit den sogenannten Ionenfleck. Ionen, also geladene Gasmoleküle, sind trotz der Evakuierung in jeder Kathodenstrahlröhre enthalten und werden von der Oxydkathode gleichzeitig mit den Elektronen emittiert. Negative Ionen, die, auf gleiche Spannung wie die Elektronen beschleunigt, auf den Leuchtschirm aufprallen, zerstören den Phosphor in wenigen Stunden. Vor Einführung der Metallisierung musste jede Fernsehbildröhre eine «Ionenfalle» enthalten, eine Vorrichtung zur Trennung des Ionenstrahls vom Elektronenstrahl, um zu erreichen, dass nur der Elektronenstrahl auf den Phosphor auftrifft.

ein Spiegelrad. Das durch die Ablenkung des Kathodenstrahls erzeugte Zeilenraster konstanter Helligkeit wird durch ein Objektiv auf der zu übertragenden Vorlage abgebildet. Der Lichtstrom, der in eine hinter dem Bild angeordnete Photozelle fällt, variiert für jedes Bildelement des transparenten Diapositives oder Filmes entsprechend seiner Schwärzung. Die Kathode dieser Photozelle besteht aus einer zusammenhängenden Schicht von CsO auf Ag oder einer CsSb-Legierung, je nach der spektralen Farbe des Leuchtschirmes. Die Photoströme werden verstärkt, sei es in einem üblichen mehrstufigen Breitbandverstärker

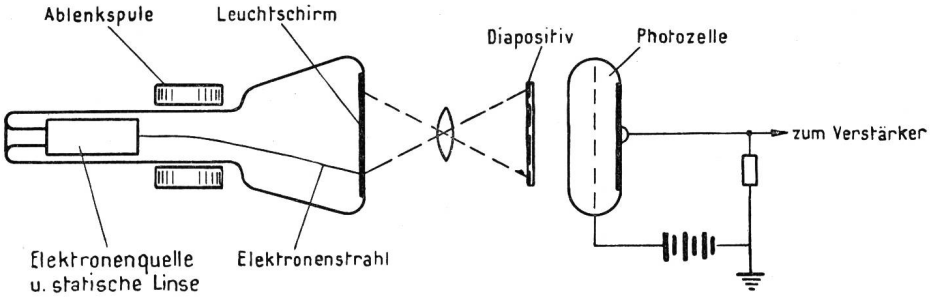

Fig. 9. Leuchtschirm-Abtaster

Dank der Helligkeit einer modernen Bildröhre (bis 1000 Lx) kann das Bild bei normaler Zimmerbeleuchtung betrachtet werden. Durch ein aussen vor dem Leuchtschirm angebrachtes Grauglas oder durch Anfärben des Abschlussfensters der Röhre kann der Einfluss der Raumbeleuchtung wesentlich verringert und der Bildkontrast dadurch erheblich verbessert werden. Die Raumbeleuchtung wird zweimal in dem Grauglas geschwächt, das Bild dagegen nur einmal. Der Kontrast erreicht etwa ein Verhältnis 1:70.

E. Bildfeldzerlegung durch Elektronenröhren ohne Speicherung

a) *Leuchtschirmabtaster*

Unter Verwendung einer Kathodenstrahlröhre kann ein Bild folgendermassen übertragen werden (Fig. 9): eine lichtstarke Kathodenstrahlröhre mit einem Phosphor von sehr kleiner Nachleuchtdauer dient als Lichtquelle für die punktweise Beleuchtung eines Diapositives oder Filmes. Die Abtastung durch den wandernden Lichtpunkt ist optisch identisch mit der früher besprochenen Abtastung eines Bildes durch

oder in einem Sekundäremissions-Vervielfacher, und für die Bildwiedergabe dem Steuerzylinder einer Bildröhre zugeführt. Dort steuert der verstärkte Photostrom die momentane Strahlstromstärke und damit die Helligkeit der gerade getroffenen Stelle des Leuchtschirmes. Wird der Kathodenstrahl der Empfangsröhre synchron und konphas mit dem Strahl der Abtaströhre bewegt, so entsteht ein Bild mit der gleichen Helligkeitsverteilung wie die Vorlage sie hatte.

Photozelle und Leuchtschirm sollten eine Trägheit besitzen, die kleiner ist als die Dauer eines Bildelementes. Bis heute ist kein Phosphor gefunden worden, dessen Nachleuchten so rasch abklingt. Zinkoxyd, das meist für den Leuchtschirmabtaster verwendet wird, klingt in etwa $1 \cdot 10^{-5}$ Sekunden ab. Trotz dieser Trägheit können mit Hilfe entzerrender Schaltungen Diapositive und Filmbilder in ausgezeichneter Qualität mit dem Leuchtschirmabtaster gesendet werden.

Figur 10 zeigt einen Filmzerleger, der nach dem selben Prinzip arbeitet und in dem durch einen Projektor mit optischem Ausgleich das Filmbild trotz

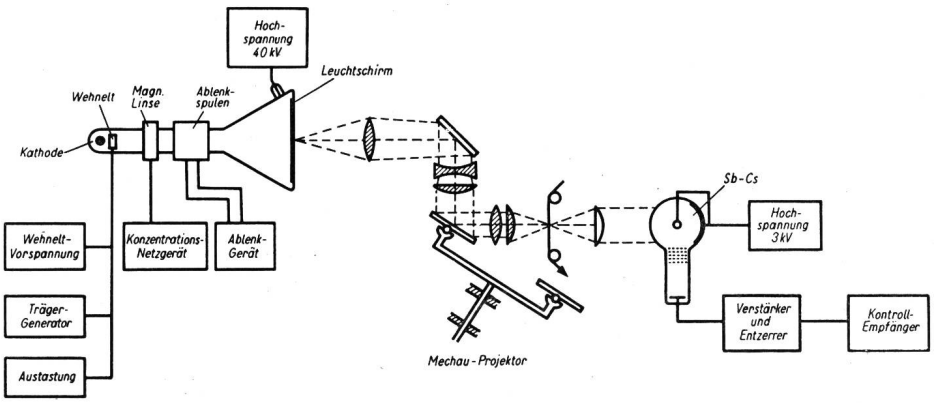

Fig. 10.
Leuchtschirm-Filmabtaster, Filmtransport durch Projektor mit optischem Ausgleich

seiner kontinuierlichen Bewegung seine Lage relativ zum Abtastraster nicht ändert. Derartige Filmabtaster werden in allen Fernsehstudios zur Filmübertragung eingesetzt.

b) *Bildzerlegerröhre nach Farnsworth*

Das fernzusehende Objekt wird durch eine lichtstarke Optik auf einer zusammenhängenden, gewöhnlich transparenten Photokathode abgebildet (Fig. 11). Die Helligkeitsverteilung des optischen Bildes bestimmt die Emissionsverteilung der Elektronen. Man kann die Elektronenverteilung in ein sichtbares Bild zurückverwandeln, indem man die Photokathode auf einem Leuchtschirm abbildet. Eine solche Anordnung bezeichnet man als Bildwandler. In einer Bildzerlegerröhre nach *Farnsworth* wird das Elektronenbild durch magnetische oder elektrische Felder in beiden Koordinaten über eine feststehende Blende von der Grösse eines Bildelementes bewegt. Unmittelbar hinter der Blende werden die Elektronen in einem mehrstufigen Sekundärelektronen-Vervielfacher, zum Beispiel in einem Netzvervielfacher, verstärkt.

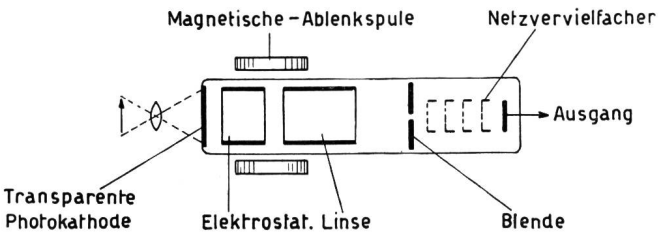

Fig. 11. Bildzerlegerröhre nach *Farnsworth*

Die *Farnsworth*-Zerlegerröhre erfordert für Bilder mit 200 Zeilen eine Objektbeleuchtung von rund 100 000 Lx (etwa die Beleuchtung in praller Sonne im Hochsommer), für 625 Zeilen müsste die Beleuchtung nochmals eine Grössenordnung höher sein, was mit Rücksicht auf die Wärmeentwicklung aller Lichtquellen im Studio nicht erträglich ist. Der grosse Lichtbedarf entsteht dadurch, dass, ebenso wie bei der Zerlegung durch die Nipkowscheibe, der grösste Teil des Lichtstromes verlorengeht. Die Photozelle erhält in jedem Augenblick nur jeweils das Licht eines Bildelementes. Von der gesamten auf die Photokathode einfallenden Lichtmenge wird nur der Bruchteil ausgenutzt, der durch das Verhältnis der Grösse eines Bildelementes zur ganzen Bildgrösse gegeben ist, also weniger als 1/400 000.

F. Fernseh-Aufnahmeröhre mit Ladungsspeicher

a) *Ikonoskop*

Das Kennzeichen aller heute in den Fernsehstudios verwendeten Aufnahmeröhren ist das Speicherprinzip. Die Lichtwirkung wird für jedes Bildelement in Form elektrischer Ladungen über die Dauer eines Bildes gespeichert. Dieses Prinzip wurde zum ersten Male von *Zworykin* in brauchbarer Form im sogenannten Ikonoskop verwirklicht (Radio Corporation of America, 1933). Eine Glimmerplatte (Fig. 12) trägt auf der einen Seite einen leitenden Belag, die Signalplatte, auf der andern Seite Millionen von isolierten Silbertröpfchen, welche durch Aufdampfen von Cs und Oxydation desselben lichtempfindlich gemacht werden. Auf dieser, wie ein Mosaik aufgeteilten Photokathode von etwa 9 × 12 cm Grösse wird durch ein Objektiv das zu übertragende Bild entworfen. Jedes Silbertröpfchen emittiert eine seiner Beleuchtung entsprechende Anzahl Elektronen und lädt sich dadurch mehr oder weniger positiv auf, wobei die Spannungsänderung durch seine Kapazität gegenüber der Signalplatte und durch die abgegebene Ladung bestimmt ist. Die gesamten ausgelösten Photoelektronen sollen vom Mosaikschirm zu der an der Röhrenwand angeordneten Anode abfliessen.

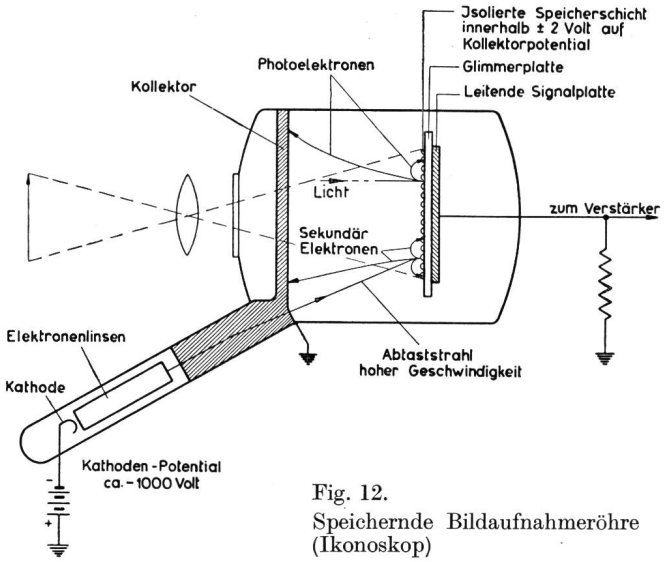

Fig. 12.
Speichernde Bildaufnahmeröhre (Ikonoskop)

Die Entladung der Elementarkapazitäten erfolgt durch einen Elektronenstrahl, der das Mosaik innerhalb $^1/_{25}$ Sekunde abtastet, wobei sein Querschnitt an der Speicherfläche gleich der Grösse eines Bildelementes ist. Der Abtaststrahl bringt alle Bildpunkte des Schirmes auf dasselbe Potential. Bei dieser Umladung wird, je nach der vorhergegangenen Belichtung, an jedem Bildelement eine bestimmte Ladung frei, die über eine für sämtliche Elementar-Photozellen gemeinsame Gegenelektrode, die Signalplatte, auf den Verstärkereingang kapazitiv übertragen wird.

Im Gegensatz zu der nichtspeichernden Zerlegerröhre nach *Farnsworth* wird das Licht während der ganzen Dauer eines Bildes zur Aufladung des Rasterschirmes ausgenutzt. Eine solche speichernde Bildaufnahmeröhre sollte einer nichtspeichernden um mehr als das 100 000fache an Empfindlichkeit überlegen sein. Im Endergebnis wurde mit dem Ikonoskop eine Vergrösserung der Empfindlichkeit um das 1000-fache erreicht.

Beim Abtasten der unbelichteten Speicherfläche sollte kein Bildsignal entstehen. Es tritt aber eine sehr störende Spannung auf, Störsignal genannt, die

von gleicher Grössenordnung ist wie das beim Belichten des Ikonoskopes erzeugte Nutzsignal. Die Ursachen des Störsignales liegen in der Verwendung schneller Elektronen zur Entladung der Speicherelemente. Diese schnellen Elektronen mit einer Geschwindigkeit von etwa 1000 V lösen beim Auftreffen auf die Speicherplatte mehr Sekundärelektronen aus, als primär ankommen; dadurch laden sich die Silberpartikel positiv bis auf nahezu Anodenpotential auf. Im Gleichgewichtszustand verlassen innerhalb eines Abtastzyklus ebenso viele Elektronen ein Speicherelement, als darauf einfallen. Die Sekundärelektronen streuen in ihrer Geschwindigkeit von Null bis 10 V. Ein Teil derselben kann die Speicherfläche noch verlassen, auch wenn diese etwa 3 V positiver ist als die Anode. Der grösste Teil der Sekundärelektronen regnet zurück auf das Mosaik. Durch die Aufnahme dieser langsamen Elektronen fällt das Potential jedes Speicherelementes zwischen zwei Abtastungen von 3 V *über* Kollektorpotential auf 2 V *darunter*. An belichteten Stellen wird dieser Abfall durch die Emission von Photoelektronen teilweise kompensiert, und das Potential der hellen Bildelemente ist am Ende einer Bildperiode etwa 1 V positiver als das dunklere Bildelement. Der Kathodenstrahl bringt beim Abtasten des Mosaiks alle Elemente auf dasselbe Gleichgewichtspotential. Der Stromstoss, der beim Umladen auftritt und der somit von der Belichtung abhängt, fliesst kapazitiv über die Signalplatte zum Verstärker.

Infolge der soeben geschilderten Potentialverhältnisse ist im Ikonoskop kein Absaugfeld für die Photoelektronen vorhanden, und die Ausbeute der Photoschicht, die sonst 20–50μA/Lm beträgt, fällt auf wenige μA ab. Der grösste Teil der ausgelösten Photoelektronen fällt wie die Sekundärelektronen zurück auf die Photokathode.

Der Rückfluss der Sekundärelektronen verteilt sich nicht gleichmässig über die ganze Speicherfläche. Dadurch treten örtliche Unterschiede im Gleichgewichtspotential auf. Diese Unterschiede bilden das Störsignal. Seine Beseitigung ist möglich, sie erfordert aber einen erheblichen elektrischen Aufwand und eine ständige Überwachung und Nachregelung des Bildes.

b) *Bildwandler-Ikonoskop (Super-Ikonoskop)*

Einen wesentlichen Fortschritt in der Entwicklung der speichernden Bildaufnahmeröhren brachte die Verbindung eines Bildwandlers mit einem Ikonoskop. Bei diesem Bildwandler-Ikonoskop (*Lubszynski, Schröter*, 1934) (Fig. 13) fällt das aufzunehmende Bild auf eine transparente, zusammenhängende Photoschicht. Die Elektronenverteilung wird durch eine magnetische Linse auf der Speicherplatte abgebildet. Die Photoelektronen werden auf etwa 1000 V beschleunigt und lösen beim Aufprall auf das Speichermosaik ein Vielfaches an Sekundärelektronen aus. Dieser Gewinn durch Sekundäremission und die zusammenhängende Photokathode lassen das Super-Ikonoskop – gegenüber dem einfachen Ikonoskop – eine 10fache Empfindlichkeit erreichen. Das Störsignal des Super-Ikonoskopes ist im Verhältnis zum Nutzsignal kleiner geworden, aber nicht beseitigt.

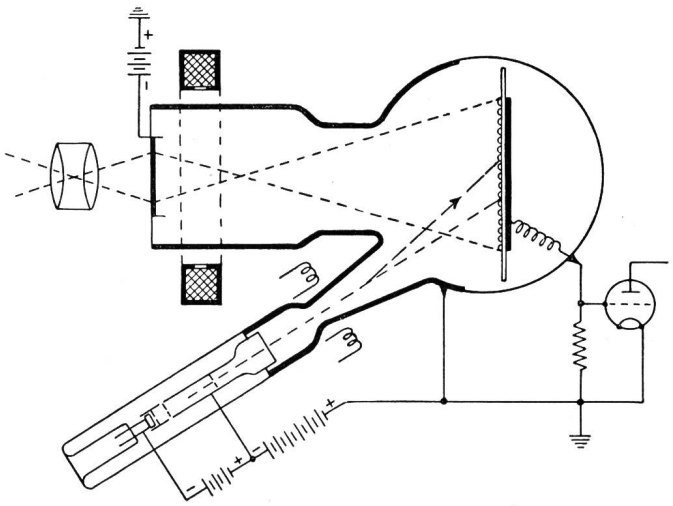

Fig. 13. Bildwandler-Ikonoskop, schematisch

Figur 14 zeigt ein Super-Ikonoskop, wie es in ähnlicher Form in England, Frankreich und Deutschland in den Kameras der Fernsehstudios verwendet wird. Zur Erzeugung völlig rauschfreier Bilder muss die Szene mit 1000 bis 3000 Lx beleuchtet sein.

Fig. 14. Bildwandler-Ikonoskop, Ansicht einer Röhre

c) *Image-Orthicon*

Den Abschluss der bisherigen Entwicklung der speichernden Fernsehaufnahmeröhren bildet das Image-Orthicon (*Rose*, *Weimer* und *Law*, 1946) (Fig. 15). Die Elektronenverteilung der transparenten Photokathode wird auf einer Glasplatte von wenigen μ Dicke und einem Durchmesser von 40 mm abgebildet. Diese Glasplatte dient als Ladungsspeicher. Die Leitfähigkeit des Glases ist absichtlich so gross, dass Ladungen, die einander auf der Glasplatte gegenüberliegen, sich in etwa $^1/_{25}$ Sekunde ausgleichen. Da die Dicke der Glasplatte klein ist, verglichen mit der Abmessung eines Bildelementes, beeinflussen sich die gespeicherten Ladungen benachbarter Bildelemente innerhalb $^1/_{25}$ Sekunde nicht. Die Ladung der einzelnen Bildelemente bleibt daher trotz der endlichen Leitfähigkeit des Glases innerhalb einer Bilddauer erhalten.

In einem Abstand von 50 μ befindet sich vor der Glasplatte auf der Speicherseite ein äusserst feines Drahtnetz, das zur Definition der Kapazität der Bildelemente und zur Absaugung der Sekundärelektronen dient. Dieses Netz besteht aus 20...40 Maschen je Millimeter und ist daher so fein, dass es im Bild nicht aufgelöst wird.

$^1/_{25}$ Sekunde um einige Volt in positiver Richtung. Bei der Abtastung durch langsame Elektronen entnimmt jedes Bildelement dem Abtaststrahl so viel Elektronen, als nötig sind, um die positive Ladung zu kompensieren. Dieser Ladungsausgleich vollzieht sich an jedem Bildelement innerhalb von 10^{-7} Sekunden. Die beim Ausgleich nicht abgegebenen Strahlelektronen werden reflektiert; sie durchlaufen rückwärts denselben Weg und gelangen in einen mehrstufigen Sekundärelektronen-Vervielfacher, der die Glühkathode umgibt. Der rücklaufende Strahl ist in seiner Intensität durch die Ladungsverteilung des Speichers moduliert und mit ihm der Ausgangsstrom des Vervielfachers.

Das Image-Orthicon erreicht die 100fache Empfindlichkeit des *Zworykin*schen Ikonoskopes. Vergleicht man die Empfindlichkeit des Image-Orthicon mit der eines nichtspeichernden Fernsehzerlegers, so beträgt die Überlegenheit etwa das 10^5-fache. Die Empfindlichkeit übertrifft die des besten Filmes um eine Grössenordnung, sie kommt nahe an die Empfindlichkeit des menschlichen Auges heran. Die Empfindlichkeit und die Auflösung reichen völlig aus, um bei der heutigen Fernsehnorm eine unmittelbare

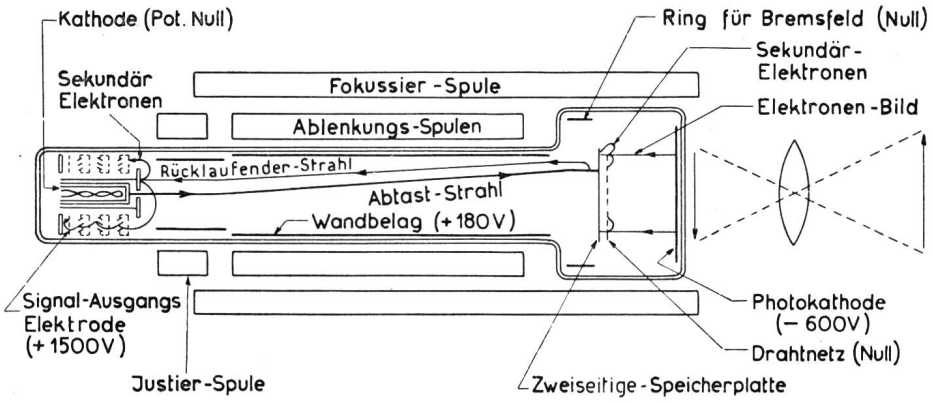

Fig. 15. Image-Orthicon

Die Abtastung der gespeicherten Ladungen erfolgt durch einen langsamen Elektronenstrahl auf der Rückseite der Glasplatte. Da für Elektronen mit Geschwindigkeiten von weniger als 100 V der Sekundäremissionsfaktor für Glas kleiner als 1 ist, das heisst, dass weniger Sekundärelektronen die getroffene Schicht verlassen, als primär auftreffen, lädt sich der Speicherschirm im Dunkelzustand negativ bis auf Kathodenpotential auf. Nach beendigter Aufladung können die nachfolgenden Elektronen nicht mehr gegen das entstandene Gegenfeld anlaufen, sie kehren um zur Kathode.

Das Elektronenbild der Photokathode bewirkt eine positive Aufladung der den hellen Stellen des Bildes entsprechenden Speicherelemente. Diese Aufladung der Speicherseite wird dank der Leitfähigkeit des Glases auf die gegenüberliegenden Stellen der Abtastseite übertragen. Auch auf dieser Seite verschiebt sich das Potential eines hellen Bildelementes innerhalb

Übertragung der Bühne eines Theaters oder einer Oper bei der üblichen Beleuchtung durchzuführen.

Das Image-Orthicon besitzt kein Störsignal. Sein Ausgangssignal steigt streng linear mit der Helligkeit an.

d) *Vidicon*

In den letzten Jahren wurde in den Laboratorien der Radio Corporation of America eine neue Bildaufnahmeröhre entwickelt, deren Leistung der des Image-Orthicons bei wesentlich einfacherem Aufbau sehr nahe kommt. Diese Röhre führt die Bezeichnung Vidicon (Fig. 16). Im Vidicon wird als lichtempfindliche Schicht ein Halbleiter, gewöhnlich Selen, verwendet, das in einer Dicke von wenigen μ auf einer leitenden, transparenten Metallunterlage aufgetragen ist. Die transparente Metallschicht erhält eine Vorspannung von +10 bis +30 Volt. Die Abtastseite des Halbleiters stellt sich unbelichtet beim Abtasten

durch Elektronen kleiner Geschwindigkeit auf Kathodenpotential ein. Der Dunkelwiderstand der Selenschicht muss so hoch sein, dass trotz der hohen Feldstärke kein Potentialausgleich innerhalb $^1/_{25}$ Sekunde stattfindet.

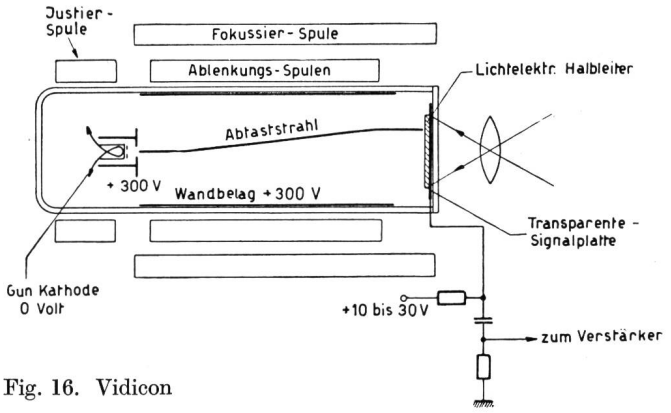

Fig. 16. Vidicon

Wird ein Bild auf der Halbleiterschicht entworfen, so wächst infolge des inneren lichtelektrischen Effektes die Leitfähigkeit der Schicht an den hellen Stellen des Bildes. Dadurch werden die hellen Bildelemente zwischen zwei Abtastungen etwa 2 V positiv gegenüber der Kathode. Der Abtaststrahl gibt an diese positiv aufgeladenen Bildelemente genügend Elektronen ab, um ihre gespeicherte Ladung zu neutralisieren. Bei diesem Ladungsausgleich entsteht in der Signalplatte und damit am Eingangswiderstand des Verstärkers ein Stromstoss wie beim Ikonoskop. Da aber die lichtelektrische Empfindlichkeit eines Halbleiters um einige Grössenordnungen höher ist als die der besten Photoschichten, erreicht eine Aufnahmeröhre mit Halbleiter die 100fache Empfindlichkeit des Ikonoskopes.

Bis heute ist es aber nicht gelungen, halbleitende Schichten herzustellen, in denen die beim Belichten entstandene Leitfähigkeit innerhalb einer Bilddauer abklingt. Das Vidicon lässt sich daher nur bei solchen Fernsehübertragungen verwenden, bei denen keine raschen Bildänderungen vorkommen, zum Beispiel für industrielle Zwecke.

e) *Allgemeines über speichernde Aufnahmeröhren*

Bei einem Vergleich der verschiedenen Aufnahmeröhren sind folgende Punkte zu berücksichtigen: Bildauflösung, spektrale Empfindlichkeit, abgegebenes Signal bei einer bestimmten Studiobeleuchtung und einer Optik von bestimmter Brennweite und Öffnung, Störspannung unter den gleichen optischen Bedingungen, Verlauf der Kennlinie bei den praktisch vorkommenden Lichtverhältnissen, Stabilität gegenüber plötzlichen starken Lichtänderungen, Grösse des Störsignals, Verstärkeraufwand, Lebensdauer usw. Eine «Gütezahl», welche alle diese Eigenschaften zusammenfasst, existiert nicht.

Für die Aufgaben des Fernsehrundfunks dürften das Super-Ikonoskop und das Image-Orthicon gleich gut geeignet sein. Während in Amerika das Image-Orthicon bevorzugt wird, verwendet der grösste Teil der europäischen Fernsehsender für Studioübertragungen das Super-Ikonoskop, für Aussenaufnahmen zum Teil das Image-Orthicon, zum Teil aber auch das Super-Ikonoskop. In seiner neuesten Form, als sogenanntes Riesel-Ikonoskop, ist dieses völlig frei von Störsignalen. Zur Beseitigung der Unterschiede des Gleichgewichtspotentials werden dabei dem Speicherschirm ständig photoelektrisch ausgelöste Elektronen zugeführt.

Für die Filmabtastung hat sich durchweg der Leuchtschirmabtaster durchgesetzt.

G. Verstärkung, Übertragung und Synchronisierung

Die Ausgangsspannung der bisher betrachteten Fernsehaufnahmeröhren übersteigt in seltenen Fällen einige Millivolt, die abgegebene Leistung liegt in der Grössenordnung von 10^{-9} Watt. Ein Fernsehsender von 1 kW Leistung benötigt zu seiner Modulation eine Leistung von einigen hundert Watt. Zwischen dem Ausgang eines Ikonoskopes und dem Sender muss also die Leistung um das 10^{11}fache verstärkt werden. Dazu sind wenigstens zwanzig Verstärkerstufen notwendig, da wegen der Bandbreite des Fernsehsignales die Leistungsverstärkung je Stufe im Durchschnitt 5 beträgt. Liegen zwischen Fernsehstudio und hochfrequentem Sender längere Verbindungskabel, in denen das Signal erheblich geschwächt wird, so ist die Zahl der Verstärkerstufen wesentlich grösser.

Die Verstärkung muss für ein Band von 6 MHz Breite dem Betrag nach möglichst gleich sein, und die zeitliche Verzögerung eines Fernsehsignales zwischen Aufnahmeröhre und Sender muss für alle Impulse unabhängig von ihrem Verlauf konstant sein. Es hat sich als zweckmässig erwiesen, die Kabelübertragung unter Zuhilfenahme einer Trägerschwingung durchzuführen. Die Trägerfrequenz muss etwa das Doppelte der maximalen Bildfrequenz sein. Das Bildsignal moduliert die Amplitude dieses Trägers. Von den bei der Modulation entstehenden Seitenbändern wird gewöhnlich nur eines, im allgemeinen das untere, einschliesslich der Trägerschwingung, übertragen. Die modulierte Trägerschwingung wird vor der Modulation des Senders gleichgerichtet.

Das von der Aufnahmeseite gelieferte Bildsignal genügt allein nicht, um am Empfänger ein Bild zu rekonstruieren. Den Spannungen, welche die Helligkeitswerte der Bildelemente charakterisieren, müssen Signale zugefügt werden, die den Synchronismus zwischen der Bildzerlegung auf der Abtastseite und auf der Wiedergabeseite sicherstellen. Diese Signale sind Impulse bestimmter Form und regelmässiger Folge, die zeitlich vor dem Ende jeder Zeile und vor Beginn der nächsten Zeile liegen. Diese Synchronisierimpulse werden dem Bildsignal im Lauf der Verstärkerkette zugesetzt. Die in der europäischen Fernsehnorm festgelegte Rasterung sieht 625 Zeilen je Bild vor, die im

Zeilensprungverfahren 25mal pro Sekunde wiederholt werden (Internationaler 625-Zeilen-Standard des CCIR). Bei dem Zeilensprungverfahren wird das Bildfeld je Gesamtbild zweimal abgetastet, so dass in der ersten Hälfte der Bilddauer, also in $^1/_{50}$ Sekunde, die Zeilen 1, 3, 5 ... und erst in der nächsten Fünfzigstelsekunde die Zeilen 2, 4, 6 ... geschrieben werden. Die «Rasterfrequenz» beträgt also 50 je Sekunde, in Amerika, mit Rücksicht auf die dort übliche Frequenz des Starkstromnetzes, 60 je Sekunde.

Beim Zeilensprungverfahren in der in Europa vorgesehenen Form darf zwischen Rasterfrequenz und Zeilenfrequenz kein ganzzahliges Verhältnis bestehen. Alle Schaltungen zur Erzeugung der Synchronisierimpulse müssen daher von der doppelten Zeilenfrequenz ausgehen, also von 31 250 Hz. Durch Frequenzteiler in vier Stufen im Verhältnis 5 : 1 wird die Rasterfrequenz 50 abgeleitet ($50 \cdot 625 = 31\,250$; $625 = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5$). Die Zeilenfrequenz von 16 625 Hz wird durch Teilung der Ausgangsfrequenz im Verhältnis 2 : 1 gewonnen. Die Rasterfrequenz wird häufig mit dem Netz synchronisiert, dadurch werden für die Fernsehempfänger, die an dasselbe Netz wie das Studio angeschlossen sind, gewisse durch die unvollkommene Glättung der Netzanschlussgeräte erzeugte Fehler weniger störend bemerkbar. Mit Rücksicht auf die Möglichkeit eines internationalen Austausches von Programmen hat man sich aber entschlossen, von einer solchen Verbindung der Rasterfrequenz mit der Netzfrequenz des Fernsehstudios abzusehen. Zweckmässigerweise wird man die Ausgangsfrequenz aller Taktgeber (31 250 Hz) durch Quarzoszillatoren so konstant als möglich herstellen. Die vom Taktgeber gelieferten Impulse synchronisieren Zeilen- und Bildablenkung aller in einem Studio eingesetzten Aufnahme- und Bildröhren, sie liefern gleichzeitig die Synchronisierzeichen, die dem Bildinhalt zugesetzt werden müssen.

Für die Übertragung der Synchronisierzeichen über den hochfrequenten Sender hat sich ein von *O. Schriever* (1933) vorgeschlagenes Verfahren durchgesetzt. Figur 17a zeigt das Oszillogramm eines mit Bild- und Gleichlaufsignalen modulierten Senders. Dem «Schwarzwert» des Bildes entspricht ein Ruhepegel des Sendestromes, der 25 % des maximalen Wertes beträgt. Von diesem Schwarzwert aus wird der Sender durch die Bildzeichen so gesteuert, dass mit wachsender Helligkeit der Modulationsgrad bis zu 100 % zunimmt. «Weiss» des Bildes entspricht also voller Sendeenergie. Die Gleichlaufzeichen werden durch Austasten des Senders (Stromstärke Null) erzeugt. Diese Austastung (Lücke im Oszillogramm) ist für Zeilen- und Bildablenkung verschieden lang.

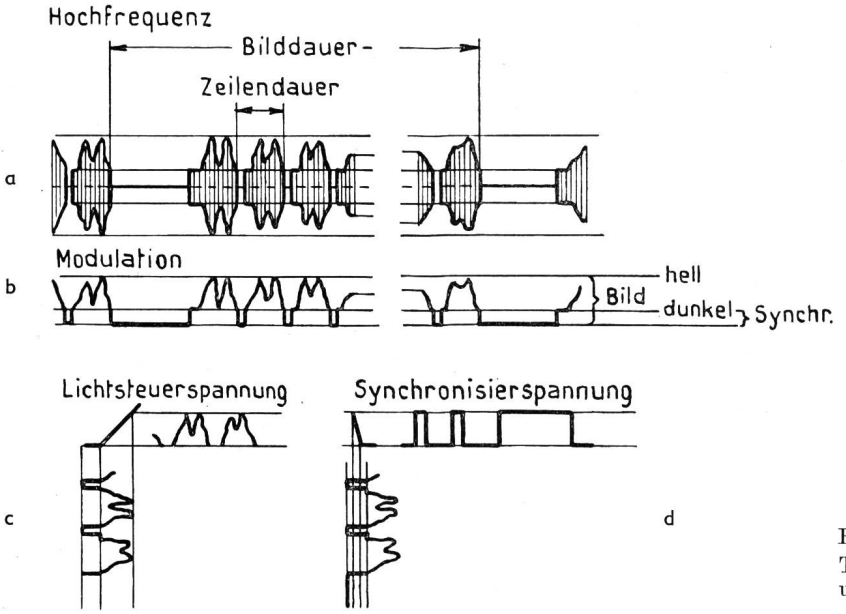

Fig. 17.
Trägerschwingung mit Bildmodulation und Gleichlaufsignalen

Für die Zeile beträgt die Länge der Lücke etwa 10 % der Zeilendauer, für das Bild etwa 5 % der Bilddauer.

Nach Verstärkung und Gleichrichtung hat das Bildsignal am Fernsehempfänger den in Figur 17b gezeigten Verlauf. Dem Steuerzylinder der Empfangsröhre zugeführt, steuern die Momentanwerte der Spannung, die grösser sind als der Schwarzpegel, den Strahlstrom nach wachsenden Werten, also den Schirm nach Weiss. In den Synchronisierlücken wird der Strahlstrom Null und dadurch der Rücklauf des Kathodenstrahls, der sich in diesem Intervall abspielt, unsichtbar gemacht. Figur 17c zeigt den Verlauf der Lichtsteuerung und Figur 17d die durch ein Amplitudensieb getrennten Gleichlaufzeichen.

Wenn die Stromamplitude des Senders (der Modulationsgrad) mit wachsender Helligkeit des Bildes zunimmt, sprechen wir von positiver Modulation. Die Fernsehsender der europäischen Norm arbeiten mit negativer Modulation. Dem Schwarzpegel des Bildes entspricht in diesem Fall ein Modulationsgrad des Senders von etwa 70 %, Weiss von 0 %, Synchronisierung 100 %. Bei negativer Sendermodulation sind atmosphärische und elektrische Störungen im Emp-

fangsbild weniger auffällig, zudem sollen sich die Gleichlaufzeichen besser aus dem Störpegel trennen lassen. Die Störungen des Fernsehempfanges in Grossstädten, vor allem durch Zündfunken der Automobile und durch Flugzeuge, sind so gross, dass bei negativer Sendermodulation besondere Synchronisierverfahren entwickelt wurden.

Der Fernsehsender ist im Prinzip wie jeder Rundfunksender aufgebaut. Die Leistung der meisten Sender beträgt wenige kW, mit Ausnahme der englischen Fernsehsender, deren Energie rund 20 kW beträgt. Die Trägerfrequenzen der europäischen Fernsehsender liegen zwischen 50 und 300 MHz (Wellenlängen von 6 bis 1 m). Da ein Bild von 625 Zeilen zur richtigen Wiedergabe ein Frequenzband von 6 MHz benötigt, wird die relative Bandbreite des Senders bei 60 MHz Trägerfrequenz 10%. Die Verstärkung dieses Frequenzbandes, die Modulation des Senders und die Abstrahlung aller Frequenzen bereiten grosse technische Schwierigkeiten.

H. Der Fernsehempfänger

Ein Fernsehempfänger unterscheidet sich von einem üblichen Rundspruchgerät im wesentlichen durch die Bandbreite der Verstärker. Der Aufwand an Röhren und Schaltmitteln ist gegenüber einem Radioapparat mehr als verdoppelt, da im Fernsehempfänger Bild und Ton gleichzeitig wiedergegeben werden müssen.

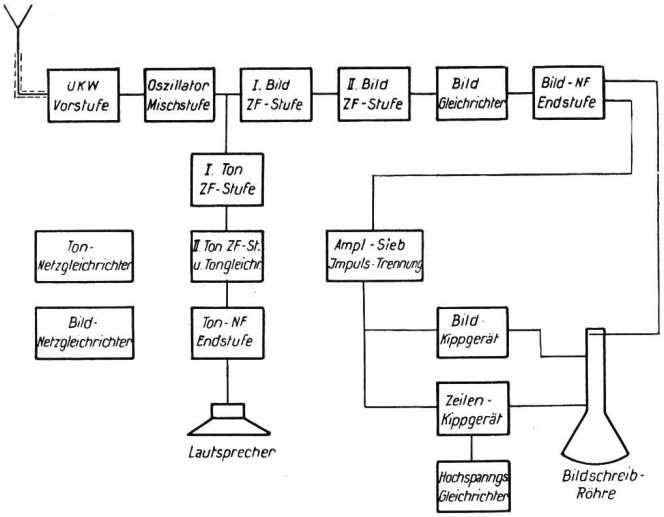

Fig. 18. Fernsehempfänger, Aufbauschema

Ein Fernsehgerät enthält die in Figur 18 aufgeführten Teile. Auf einen für Bild- und Tonsender gemeinsamen hochfrequenten Vorverstärker folgt in einer Mischstufe mit Oszillator die Erzeugung der beiden Zwischenfrequenzen. Durch entsprechende Filter werden die beiden Zwischenfrequenzen getrennt. Die Bildzwischenfrequenz liegt bei der heutigen Zeilennorm bei etwa 21 MHz und hat bei Einseitenbandverstärkung eine Bandbreite von 6...8 MHz. Im Bildgleichrichter wird aus der amplitudenmodulierten Zwischenfrequenz die Bildmodulation erzeugt und in einer Niederfrequenzendstufe auf den zur Steuerung des Kathodenstrahles notwendigen Betrag von 10...50 V verstärkt. Im Ausgang der Niederfrequenzendstufe liegt der *Wehnelt*zylinder der Bildröhre und gleichzeitig ein Amplitudensieb zur Trennung der Synchronisierimpulse vom Bildinhalt.

Um die Bildröhre richtig auszusteuern, muss der Verstärkungsgrad des Empfängers regelbar sein. Daneben muss, unabhängig von der Aussteuerung, die Grundhelligkeit des Bildes (Arbeitspunkt der Gitterkennlinie) einstellbar sein. Bei jeder Änderung der Verstärkung muss der Arbeitspunkt der Röhre nachgestellt werden. Die Verstärkung bestimmt den Modulationsgrad der Lichtaussteuerung und damit den Bildkontrast.

Zur Einsparung von Elektronenröhren werden im Fernsehgerät, wo immer es möglich ist, Germaniumdioden oder Selengleichrichter verwendet.

Der zur Sendung gehörende Ton wird zurzeit durchwegs auf einem getrennten Sender übertragen. Grundsätzlich kann die Amplitude oder die Frequenz dieses Senders nach bekannten Verfahren moduliert werden. Im Fernsehempfänger liegt die Zwischenfrequenz für den Tonteil bei etwa 15 MHz. Gleichrichter und niederfrequente Tonendstufe sind identisch mit denen in einem Rundspruchgerät.

In einem neuerdings in Amerika angewandten Verfahren wird der Ton über einen frequenzmodulierten Sender übertragen, dessen Abstand vom Bildsender 4,5 MHz beträgt. Die Bildzwischenfrequenzstufe verstärkt in diesem Fall gleichzeitig den frequenzmodulierten Tonträger. Bei der Gleichrichtung der Zwischenfrequenz entsteht zusätzlich eine Frequenz von 4,5 MHz, die als Trägerschwingung für die weitere Tonverstärkung dient. Damit diese Differenzfrequenz im Bild nicht sichtbar ist, muss sie höher liegen als die höchste Bildfrequenz. Die frequenzmodulierte Differenzfrequenz wird verstärkt und über einen Diskriminator und Gleichrichter demoduliert. Voraussetzung für das genannte Verfahren ist ein Bildsender, der keine eigene Frequenzmodulation besitzt. Doch ist selbst bei einem quarzgesteuerten Bildsender bei voller Amplitudenmodulation eine geringe zusätzliche Frequenzmodulation kaum vermeidbar. Ein weiterer Nachteil dieser «Intercarrier»-Methode besteht darin, dass die Amplitude des Bildsenders nie Null werden darf. Das Verfahren ist deshalb nur bei negativer Bildmodulation anwendbar.

Die Abstimmung des Fernsehempfängers auf einen bestimmten Sender erfolgt üblicherweise durch fest eingestellte, auswechselbare oder umschaltbare Spulensätze. Eine Abstimmung durch Drehkondensatoren vergrössert die Kapazität der Kreise zu stark und verringert dadurch die Resonanzwiderstände. Um die notwendige Bandbreite und Flankensteilheit zu erreichen, bildet man die Abstimmkreise als Filter aus.

Als Fernsehempfangsantenne verwendet man einen Dipol, der über ein Hochfrequenzkabel mit dem Eingangskreis der Vorstufe induktiv gekoppelt ist.

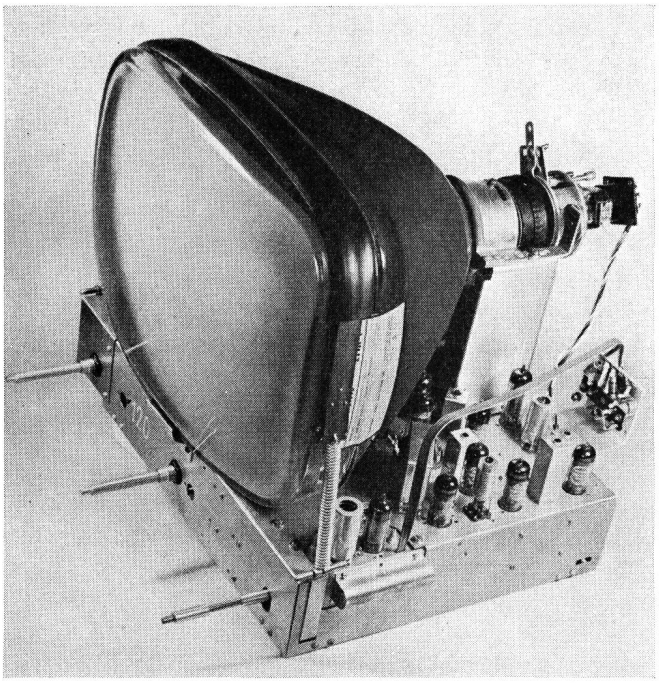

Fig. 19. Fernsehempfänger, Ansicht des Chassis

Zeilen- und Bildablenkung des Kathodenstrahles erfolgen bei den Fernsehröhren ausschliesslich durch magnetische Felder. Für jede Koordinate ist ein Gerät zur Erzeugung des sägezahnförmigen Stromes notwendig. Aus der an der Zeilenspule beim Rücklauf des Strahles entstehenden Überspannung wird häufig die Anoden-Hochspannung der Bildröhre gewonnen. Der Aufwand für die Glättung der Hochspannung ist in diesem Fall besonders klein, da die Zeilenablenkfrequenz etwa 16 kHz beträgt. Diese Methode der Hochspannungserzeugung hat zudem den Vorteil, dass die Spannung erst entsteht, nachdem die Zeilenablenkung arbeitet. Dadurch wird eine Beschädigung des Leuchtschirmes durch den stillstehenden Leuchtfleck (Einbrennen) unmöglich. Andere Verfahren zur Herstellung der Hochspannung sind die Erzeugung aus dem Netzwechselstrom von 50 Hz oder aus einem mittelfrequenten Röhrengenerator.

Figur 19 zeigt das Chassis eines Fernsehgerätes mit Viereckröhre, Figur 20 die Ansicht des eingebauten Empfängers.

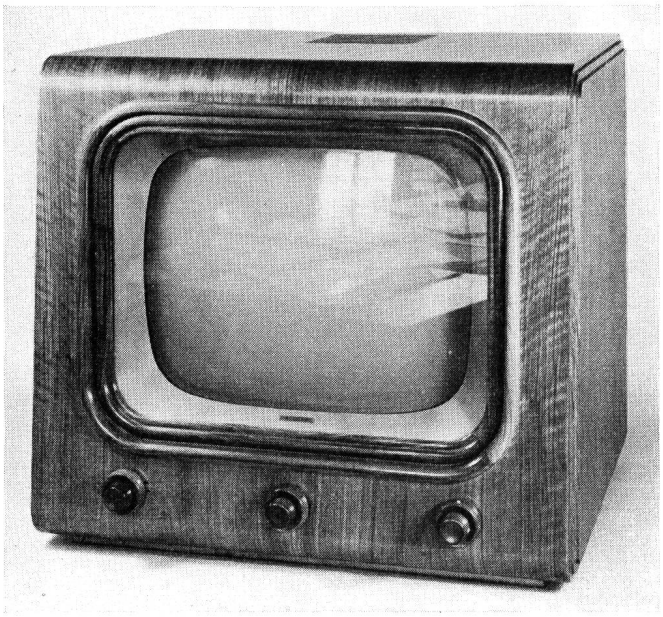

Fig. 20. Fernsehempfänger, Ansicht eines Apparates

I. Die Erzeugung der Ablenkströme

In der Oszillographentechnik wird der Kathodenstrahl durch Spannungen abgelenkt, die linear innerhalb einer Ablenkperiode ansteigen und am Ende derselben sehr schnell auf Null abfallen. Im folgenden sollen die Grundschaltungen zur Erzeugung solcher sägezahnförmiger Spannungen, bzw. entsprechender Ströme besprochen werden. Alle diese Schaltungen beruhen darauf, dass die Ladung oder Entladung eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand eine bestimmte Zeit beansprucht, ebenso der Stromanstieg in einer Induktivität mit Widerstand. Verbindet man (Fig. 21) eine Batterie über den Widerstand R mit der Kapazität C, so steigt die Spannung an dem Kondensator in einer Exponentialkurve an (siehe Fig. 22). Zuerst ist der Spannungsanstieg fast linear, später wird er in dem Masse flacher, als die Kondensatorspannung der Batteriespannung näherkommt. Die Geschwindigkeit der Aufladung ist von dem Wert der sogenannten Zeitkonstanten abhängig (Produkt von C·R). Man hat es in der Hand, die Geschwindigkeit der Aufladung oder Entladung in fast beliebigen Grenzen zu ändern.

Periodische sägezahnförmige Spannungen erhält man durch regelmässige Unterbrechung des Ladevorganges, zum Beispiel durch periodischen Kurzschluss des Kondensators durch den Schalter S (Fig. 21). Die Spannung bricht im Augenblick des Kurzschlusses

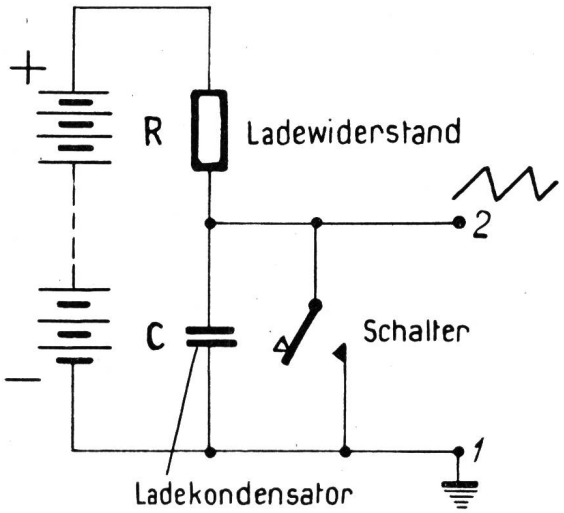

Fig. 21. Anordnung zur Erzeugung von Spannungs-Sägezähnen, schematisch

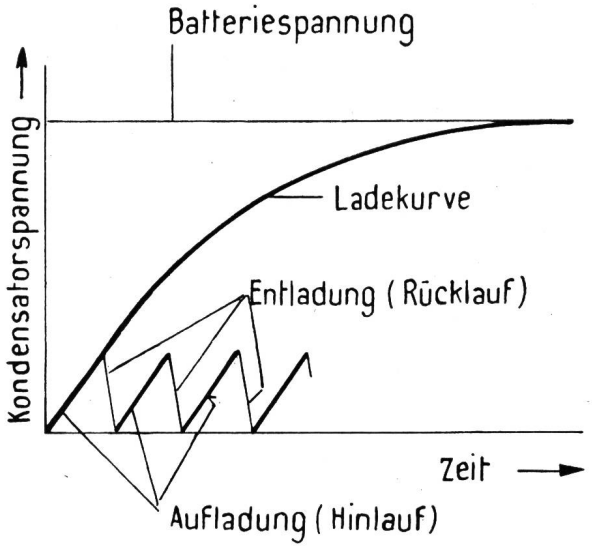

Fig. 22. Exponentieller Spannungsanstieg bei Aufladung eines Kondensators über einen Vorwiderstand

zusammen, und nach jedem Öffnen des Schalters beginnt der Ladevorgang von neuem. Bei Aufladung über einen ohmschen Widerstand lässt sich wegen der Änderung der Ladegeschwindigkeit nur ein kleiner Bruchteil der Batteriespannung ausnutzen. Die Geschwindigkeit der Aufladung bleibt bis zum Ende konstant, wenn man den Widerstand durch eine Elektronenröhre ersetzt, deren Strom gesättigt ist.

Die periodische Entladung des Kondensators kann im einfachsten Fall durch eine Glimmlampe geschehen, die anstelle des mechanischen Schalters tritt (Fig. 23). Nach Anlegen der Batteriespannung lädt sich der Kondensator über die gesättigte Laderöhre mit konstanter Geschwindigkeit auf, bis die Zündspannung der Glimmlampe erreicht ist. Dann entlädt sich der Kondensator über die Glimmstrecke bis zur Löschspannung, die je nach dem Gasdruck 10 bis 50 Volt tiefer liegt als die Zündspannung. Sobald die Glimmentladung erlischt, beginnt die Kondensatorladung von neuem bis zur nächsten Zündung

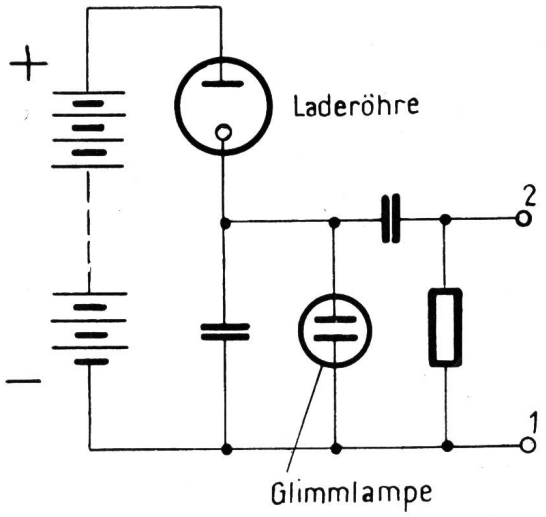

Fig. 23. Kippschaltung mit Glimmlampe

usw. Die Dauer der Entladung hängt von dem Innenwiderstand der Glimmlampe ab; sie kann wesentlich kürzer sein als die Dauer der Aufladung. Man bezeichnet Schwingungen der beschriebenen Art als Kippschwingungen und Anordnungen zu ihrer Erzeugung als Kippgeräte.

Ersetzt man die einfache Glimmlampe der Figur 23 durch eine gasgefüllte Verstärkerröhre mit Steuergitter (Thyratron), dann lässt sich an dem Steuergitter der Moment der Entladung durch einen zusätzlichen Spannungsstoss regeln; der Kippvorgang kann durch zugeführte Impulse synchronisiert werden. Das Thyratron hat dank der Glühkathode eine Löschspannung von einigen Volt. Kippschaltungen mit Thyratron sind im Aufbau und Betrieb sehr einfach; sie versagen aber bei höheren Frequenzen wegen der mit der Ionisierung der Gasfüllung verbundenen Trägheit.

Verwendet man als Schalter der Anordnung nach Figur 21 eine normale Hochvakuumröhre, so muss diese an ihrem Steuergitter durch Zuführung fremder Impulse ein- und ausgetastet werden. Diese Tastimpulse können in Schaltungen erzeugt werden, die als «Multivibratoren» oder als Sperrschwinger bekannt sind. Figur 24 zeigt die Schaltung eines Sperr-

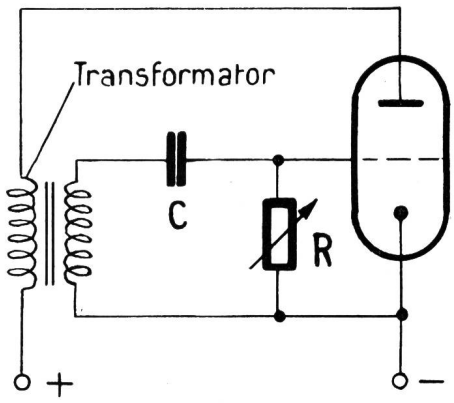

Fig. 24. Sperrschwinger

schwingers, die sich von einer normalen Rückkopplungsanordnung nur durch eine sehr feste Kopplung zwischen Gitter- und Anodenkreis und durch das Fehlen der Schwingkreiskapazität unterscheidet. Durch die starke Rückkopplung steigt der Strom in der Röhre nach dem Einschalten der Anodenspannung durch die am Gitter über die Rückkopplung erzeugte positive Spannung sehr schnell an. Der dabei auftretende Gitterstrom lädt den Kondensator C so weit negativ auf, dass nach kurzer Zeit der Elektronenstrom unterbrochen wird. Die Röhre bleibt so lange gesperrt, bis der Kondensator sich über den Widerstand R so weit entladen hat, dass der Anodenstrom erneut einsetzt. Dann wiederholt sich der Vorgang. Da der Strom in einem solchen Sperrschwinger nur während eines kleinen Teiles der Kipp-Periode fliesst, während der übrigen Zeit einer Periode aber gesperrt ist, bildet eine solche Anordnung einen ide-

alen Schalter zur Erzeugung von Kippschwingungen. Wie Figur 25 zeigt, legt man den Sperrschwinger parallel zum Ladekondensator. Während die Elektronenröhre gesperrt ist, lädt sich der Kondensator über den Widerstand R oder über eine Ladepenthode mit konstanter Geschwindigkeit auf und entlädt sich über die Röhre in der kurzen Öffnungszeit.

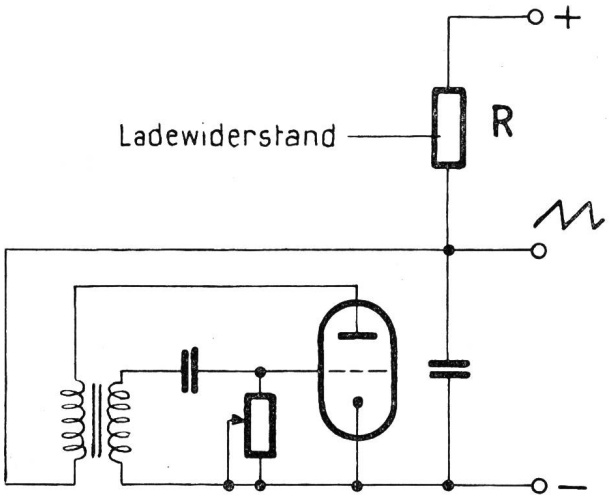

Fig. 25. Sperrschwinger zur periodischen Entladung eines Kondensators

Die in Figur 25 dargestellte Schaltung ist die ideale Anordnung zur Erzeugung sägezahnförmiger Spannungen einer bestimmten Frequenz, zum Beispiel der Bildfrequenz. Entsprechende sägezahnförmige Ströme werden durch Verstärkung dieser Spannungen erhalten (Fig. 26). Solange sich die Aussteuerung der Röhre im linearen Teil der Kennlinie bewegt, hat der Anodenstrom denselben sägezahnförmigen Verlauf wie die Gitterspannung. Liegt die Ablenkspule unmittelbar im Anodenkreis der Verstärkerröhre, dann lenkt der Ruhestrom der Röhre den Kathodenstrahl einseitig ab. Um diese Vorablenkung zu beseitigen, koppelt man die Ablenkspule über einen Transformator mit dem Anodenkreis oder legt, wie dies Figur 26 zeigt, in den Anodenkreis eine Drosselspule und kompensiert den Strom in der Ablenkspule über ein Potentiometer. Durch Verändern des Abgriffes kann die Lage des Kathodenstrahles eingestellt werden.

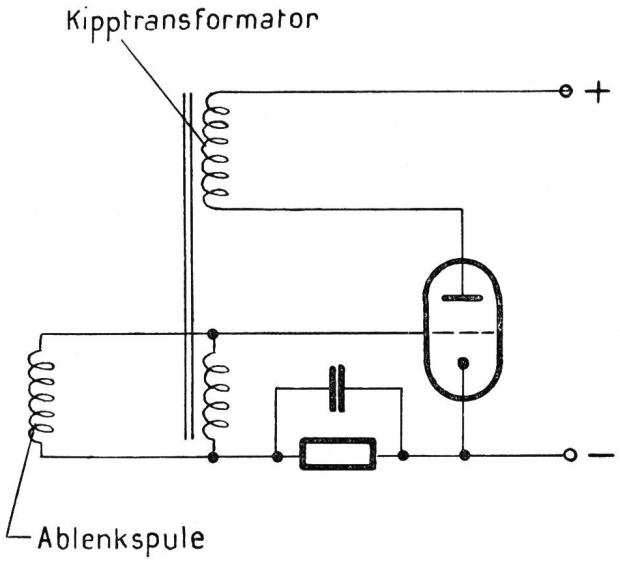

Fig. 27. Transformator-Kippschaltung

Die Schaltung der Figur 26 wird vorwiegend zur Ablenkung des Kathodenstrahles in vertikaler Richtung verwendet. Für die Zeilenablenkung stört die Induktivität und Kapazität der Ablenkspule. Eine Anordnung, in der die Ablenkspule mit ihrer Induktivität zum Kippvorgang herangezogen wird, zeigt Figur 27. Das RC-Glied im Gitterkreis hat, im Gegensatz zum Sperrschwinger der Figur 24, eine so grosse Zeitkonstante, dass es wie eine feste Gittervorspannung wirkt. Die Schaltung unterscheidet sich von einer normalen Rückkopplungsschaltung nur durch die Dimensionierung der Schaltglieder. Der Stromanstieg in der Induktivität ist dabei durch das Ver-

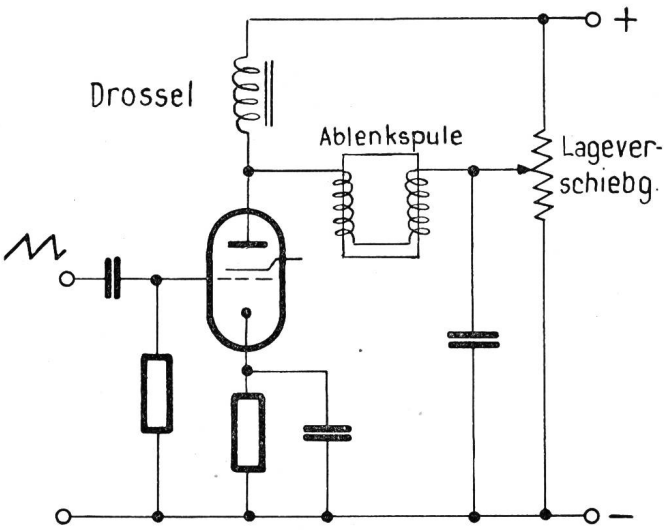

Fig. 26. Verstärker zur Erzeugung von Strom-Sägezähnen

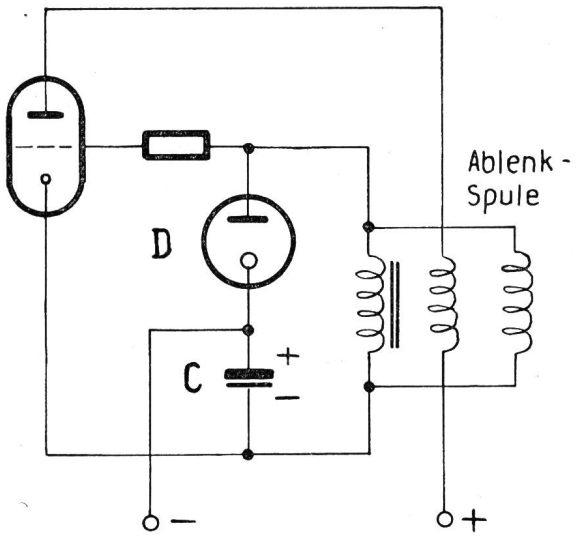

Fig. 28. Rückgewinnung der in der Zeilenspule gespeicherten Energie

hältnis L/R bestimmt. Die Zeilenablenkspule kann der Gitterspule des Kipptransformators parallel liegen, oder dieser dient mit seinem Eisenkern und seinen Windungen selbst zur Ablenkung.

Derartige Stromkippschaltungen lassen sich so ausbilden, dass die in der Ablenkspule gespeicherte magnetische Energie fast völlig zurückgewonnen wird, sei es als Strom, um den dem Netzgerät entnommenen Strom zu verringern, sei es als Spannung, die mit der Anodenspannung der Kippröhre in Serie geschaltet ist.

Figur 28 zeigt die Schaltung eines Kippgerätes, bei der die Feldenergie der Ablenkspule über eine Diode D eine Kapazität C auflädt; die so erzeugte Spannung liegt in Serie mit der Netzspannung. In modernen Ablenkschaltungen beträgt die Energierückgewinnung mehr als 80 %, so dass die magnetische Zeilenablenkung weniger Energie verbraucht als eine Ablenkung durch sägezahnförmige Spannungen.

K. Farbfernsehen

Alle bisher verwirklichten Farbfernsehverfahren arbeiten additiv mit drei passend gewählten Grundfarben, in der Regel: Rot, Grün und Blau. Die drei Farbauszüge können entweder gleichzeitig auf drei Kanälen übertragen werden oder zeitlich nacheinander auf einem Kanal der dreifachen Bandbreite. Je nachdem spricht man von Simultan- oder Wechselverfahren (simultanous- or sequential method).

same Optik und führt die Farbaufteilung und Strahlentrennung nach dem Objektiv durch. Die drei Aufnahmeröhren, etwa drei Image-Orthicons, unterscheiden sich nur in der Art ihrer photoempfindlichen Schicht, die jeweils der von der betreffenden Kamera wiederzugebenden Farbe angepasst ist. Besonders einfach wird die Übertragung eines Farbfilmes bei Zerlegung durch den früher beschriebenen Leuchtschirmabtaster (Fig. 10). Das Licht der Abtaströhre, das in diesem Fall alle drei Grundfarben enthalten muss, fällt nach Passieren des Filmes über drei selektive, also nur bestimmte Farben reflektierende Spiegel, auf drei Photozellen mit entsprechender spektraler Empfindlichkeit. Die Ausgangsströme jeder Photozelle modulieren nach genügender Verstärkung jeweils einen hochfrequenten Sender.

Die Nachteile dieser Simultanverfahren bestehen in der Verdreifachung des Aufwandes auf der Sende- und der Empfangsseite gegenüber einem Schwarzweissbild. Dazu kommt die Forderung, dass die drei Teilbilder geometrisch völlig gleich sein müssen und sich bei der Überlagerung an jeder Stelle des Bildes auf Bruchteile eines Bildelementes decken müssen, da sonst farbige Ränder entstehen.

Im Gegensatz zu den Simultanverfahren arbeitet das Farbfernsehsystem der *Columbia Broadcasting Corporation* (CBC), New York, mit einem periodischen Wechsel der drei Grundfarben. Das menschliche Auge verschmilzt drei passend gewählte Farbreize auch

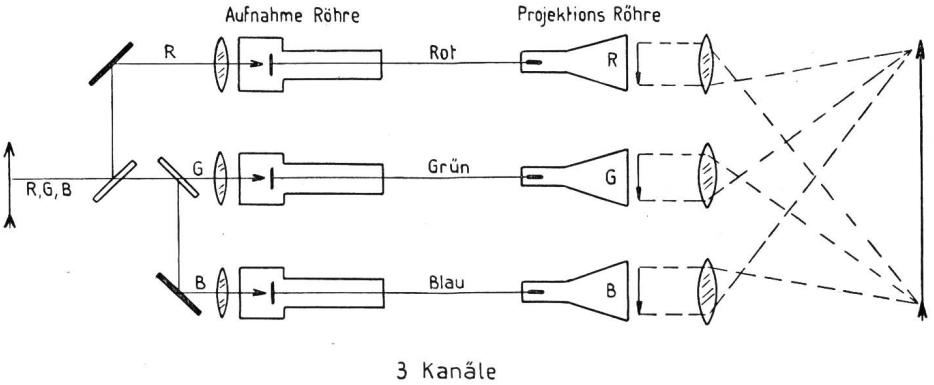

Fig. 29.
Farbfernsehen. Simultanverfahren mit drei Aufnahmeröhren und drei Bildröhren

Überträgt man (Fig. 29) die drei Farben, von drei verschiedenen Aufnahmeröhren ausgehend, auf drei verschiedene Empfangsröhren, von denen jede eine bestimmte Farbe wiedergibt, dann erhält man durch Addition der drei Teilbilder eine physikalisch richtige und physiologisch befriedigende Farbwiedergabe. Die Addition der drei Farbbilder, die in getrennten Röhren erzeugt werden, kann etwa so vor sich gehen, dass die geometrisch gleichen Bilder durch drei Linsen auf einem gemeinsamen Schirm zur Deckung gebracht werden. Sollen auf der Sendeseite Studioszenen in Farben übertragen werden, so müssen gleichzeitig drei Kameras für die verschiedenen Farben eingesetzt werden. Zur Vermeidung der räumlichen Parallaxe erzeugt man das Bild der Szene durch eine gemein-

dann zu Weiss, wenn ihm diese rasch genug nacheinander dargeboten werden. Zur Beseitigung des Farbflimmerns muss allerdings die Bildfrequenz wesentlich höher sein als beim heutigen Schwarzweiss-Fernsehen. Man muss, und das ist ein erheblicher technischer Nachteil der Farbwechselverfahren, den Farbwechsel mindestens 100mal pro Sekunde vornehmen, wenn man, wie dies bei dem CBC-System geschieht, am Ende jeder Bildabtastung die Farbe ändert. Damit die gesamte Bandbreite nicht den in den USA zugelassenen Höchstbetrag von 6 MHz überschreitet, musste die Zeilenzahl, die sonst 525 beträgt, auf 405 herabgesetzt werden.

Der Farbwechsel erfolgt bei den meisten Wechselverfahren auf der Sende- und auf der Empfangsseite

rein mechanisch durch rotierende Farbfilter, deren Antriebsmotoren mit der Bild- oder Rasterfrequenz synchron laufen. Abgesehen von dem Lichtverlust von etwa 80%, den die Farbfilter mit sich bringen, zeichnet sich diese Lösung durch einfachen elektrischen Aufbau und durch richtige Farbwiedergabe aus.

Nach dem gleichen Prinzip wurden auch in England und Deutschland Anlagen für Farbfernsehen entwickelt, die bis heute aber nur für besondere Aufgaben eingesetzt wurden, zum Beispiel für die Übertragung chirurgischer Operationen.

Jedem der bisher bekanntgewordenen Farbfernsehsysteme haften noch erhebliche Mängel an, sei es Farbflimmern, bunte Farbränder an schnell bewegten Objekten, Verlust an Details, ungenügende Helligkeit usw. Ausserdem ist der notwendige elektrische Aufwand mindestens doppelt so gross wie beim Schwarzweiss-Fernsehen. Von der Farbwiedergaberöhre abgesehen, sind in allen Farbfernseh-Empfängern etwa 40 Verstärkerröhren notwendig. Wenn auch heute der Übergang zum Farbfernsehen technisch möglich ist, so wäre doch seine Einführung verfrüht, da alle genannten Verfahren noch in voller Entwicklung sind.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *August Karolus*, Höhestrasse 52, Zollikon-Zürich

Ein Gerät zur linearen Entzerrung von Videosignalen

Von *Harry A. Laett*, Bern

621.397.262: 621.372.55

Zusammenfassung. *Das einem Verbraucher zugeführte Videosignal leidet oft – und dies trifft besonders für Eurovisionsübertragungen zu – an starken Verzerrungen, die ausserhalb der eigenen technischen Verantwortungszone entstanden sind. In vielen Fällen ist es dann meistens zu spät, den Fehler am Ursprungsort zu beheben bzw. beheben zu lassen. Glücklicherweise zeigte es sich, dass die Verzerrungen mehrheitlich linearer Natur sind und sich deshalb leicht entzerren lassen. Es wird eine Schaltung beschrieben, die aus Elementen besteht, die invers sind zu denen, die im allgemeinen für die Verzerrung verantwortlich sind. Diese Elemente lassen sich auf einfache RC-Netzwerke reduzieren.*

Bei der Übertragung von Fernsehsignalen über weite Distanzen, besonders im internationalen Programmaustausch, treten häufig Verzerrungen im Übertragungsweg auf, die nicht innerhalb des Kompetenzbereiches der Empfängerorganisation erzeugt werden. In den wenigsten Fällen lässt sich noch innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit Abhilfe schaffen, so dass sich für den Programmempfänger das Problem stellt, das ankommende, mit Fehlern behaftete Signal so zu entzerren, dass dennoch eine brauchbare, technisch annehmbare Empfangsqualität gewährleistet wird. In den meisten Fällen ist dies glücklicherweise noch ohne prohibitiven Aufwand möglich; dies dank der Tatsache, dass es sich häufig in erster Linie um lineare Verzerrungen handelt, die ihrerseits durch inverse, lineare Netzwerke entzerrt werden können.

Selbstverständlich treten bei solchen Übertragungen auch nicht-lineare Verzerrungen auf, die jedoch nur in den wenigsten Fällen überhaupt und auch dann nur mit sehr grossem Aufwand korrigiert werden können. Abgesehen von der Regenerierung der Synchroninformation und einer zeilenmässigen Schwarztastung des ankommenden Signales, wird in praktisch allen vorkommenden Fällen nichts weiter unternommen werden können.

Die linearen Verzerrungen entstehen in weitaus den meisten Fällen durch unrichtig dimensionierte RC-Netzwerke einerseits, bzw. durch nicht sorgfältig ab-

Un appareil correcteur des distorsions linéaires affectant les signaux vidéo

Par *Harry A. Laett*, Berne

Résumé. *Il arrive souvent et particulièrement en Eurovision qu'un pays reçoive un signal vidéo qui a été distordu à un endroit situé hors de la zone de responsabilité de ses organismes. Dans la plupart des cas, il n'est plus possible de corriger le défaut à la source. L'auteur décrit un appareil – utilisé avec succès pour des émissions Eurovision – qui emploie des circuits inverses à ceux qui en général produisent la distorsion. Ces circuits ne contiennent que des éléments simples (RC).*

Lors de la transmission de signaux de télévision sur de longues distances, en particulier au cours d'échanges internationaux de programmes, il se produit de fréquentes distorsions n'ayant pas leur origine dans le dispositif de réception. Dans très peu de cas seulement, le temps à disposition permet d'y remédier, de sorte que le problème de la restitution d'un signal assurant une réception de qualité et de caractéristiques techniques acceptables, se pose pour le récepteur de programmes. Dans la plupart des cas, la correction du signal est encore possible sans entraîner des dépenses prohibitives. Ceci du fait qu'il s'agit généralement de distorsions linéaires, qui peuvent être corrigées par des circuits linéaires ayant une réponse inverse. Il est évident que des distorsions non linéaires apparaissent aussi dans de telles transmissions; toutefois, ces distorsions ne peuvent être corrigées que dans une minorité de cas, et seulement moyennant de gros frais. Abstraction faite de la régénération de l'information de synchronisation et du rétablissement du niveau noir, on ne corrige pratiquement pas d'autre distorsion du signal arrivant. Les distorsions linéaires prennent naissance dans la majorité des cas, d'une part dans des circuits RC mal déterminés, d'autre part, dans des circuits de compensation pour la bande passante insuffisamment soignés.

Ces deux sortes de distorsions se remarquent sur l'écran d'un récepteur par un brouillage de l'image fonction de la fréquence, selon qu'il s'agit d'un