

Fernsehen als Anwendungsgebiet schneller elektrischer Schwingungen.

Das Fernsehen ist eines der neuesten und wichtigsten Anwendungsgebiete äusserst schneller elektrischer Schwingungen, deren Amplitudenmodulation eine grosse Zahl von Helligkeitsänderungen in der Zeiteinheit zu übertragen hat. Wenn die Fernsehtechnik sich heute anschiekt, die Grenzen des Raumes für den menschlichen Gesichtssinn durch das Mittel der Hochfrequenzübertragung bedeutend zu erweitern, so fusst sie, wie die gesamte Radiotechnik, auf unvergänglichen Verdiensten von *Nikola Tesla*. Es ist hier nicht meine Aufgabe, die Auswirkungen der Versuche *Teslas* auf das drahtlose Nachrichtenwesen im einzelnen aufzuzählen. Dies ist bereits von kompetenterer Seite geschehen. Aus der Fülle der Beobachtungen und Folgerungen, die *Teslas* umfangreiche Experimentalarbeit erschlossen hat, möchte ich im Zusammenhang mit dem Thema meines Vortrages nur zwei wesentliche Punkte herausstellen, nämlich: 1) die sinnfällige Demonstration des Entstehens hoher Blindspannungen an widerstandslosen Leitern in hochfrequenten Schwingungskreisen, 2) das Studium des Verhaltens verdünnter Gase in hochfrequenten und hochgespannten Wechselfeldern.

Wenn zu der Zeit, in welcher *Tesla* seine grösste erfinderische Produktivität entfaltete, die Glühkathoden-Verstärkerröhren bekannt gewesen wären, die uns heute das Arbeiten mit schnellen Schwingungen so ausserordentlich erleichtern, so hätte zweifellos auch die Fernsehtechnik, die so viele phantasiebegabte Ingenieure magisch in



Prof. Dr. F. Schröter

ihren Bann gezogen hat durch *Tesla* direkte und systematische Förderungen erfahren. Aber leider besass er dieses wertvolle Werkzeug nicht, und so konnte er nur zu den Grundlagen beisteuern, auf denen auch das heutige Fernsehen fusst.

Der berühmt gewordene *Tesla* Versuch, den jeder Physikschrüler kennt, das Brennen einer dünnröhrtigen Glühlampe, deren Pole durch einen dicken Kupferbügel überbrückt sind, infolge der höheren Impedanz des letzteren gegenüber dem schnell wechselnden Strom, offenbarte wohl zum erstenmal die Verhältnisse und die Möglichkeiten, die wir heute bei der Erzeugung, bei der gebündelten Aussendung und beim Empfang extrem kurzer Hertz'scher Wellen in den darauf abgestimmten Schwingungskreisen bewusst ausnutzen. Die Fernseh-technik ist auf diese Wellenlängen angewiesen, weil, wie später noch näher ausgeführt werden soll, die hohe Frequenz der zu steuernden Lichtveränderungen extrem rasche Trägerschwingungen erfordert, wenn dabei die grundlegende Voraussetzung des trennscharfen Empfanges, die Resonanz, trotz der notwendigen Dämpfung noch anwendbar sein soll. Unter diesen Verhältnissen allein ist es möglich, die raschen Einschwingvorgänge, aus denen die Reproduktion des Fernbildes besteht, unverzerrt und scharf zu übertragen.

Die Leuchtröhren-Versuche *Nikola Teslas* erwiesen in besonders eindrucksvoller Weise die Möglichkeit, in weitgehend entlüfteten Gefässen ohne alle metallischen Stromdurchführungen helle Lichterscheinungen mit Hilfe schnell oszillierender Elektronen auszulösen. In der Patentliteratur des Fernsehens ist von der genannten Möglichkeit verschiedentlich Gebrauch gemacht worden. Wenn heute in der Praxis andere Mittel Verwendung finden, so braucht dies angesichts der noch ganz im Flusse befindlichen Entwicklung keineswegs endgültig zu sein. Insbesondere gilt das mit Bezug auf die neue Aufgabe, die in dem Fernsehbetriebe meines Landes immer deutlicher offenbar wird: den Gemeinschaftsempfang auf einer grossen, vielen Menschen zugleich sichtbaren Schaufläche, zugleich die Vorstufe der Lösung des nicht mehr auf den Film angewiesenen, unmittelbar elektrisch übertragenen Lichtspiels. Unter den technischen Mitteln, die uns hierfür zu Gebote stehen, nehmen die Entladungen in verdünnten Gasen eine Sonderstellung ein. Das Bell-Laboratorium in New-York hat schon vor Jahren eine Bildwand aus Leuchtröhren aufgebaut und auf diesen 2500 einzelne Flächenelemente durch aufgelegte Metallblättchen dargestellt, denen im Sinne der Bildzerlegung Hochfrequenzimpulse über einen synchronen Stromverteiler zugeführt wurden. Unter dem Einfluss des kapazitiven Hochfrequenzstromes leuchtete die ihren Ort schnell wechselnde Eintrittsstelle in das Gas durch Ionenstoss auf, und die Wiederholung dieses Vorganges lieferte so die Gesamtheit des Fernbildmosaiks für das träge

Auge des Beschauers. Hier war also bereits versucht, die technisch unbequeme und teure Herstellung zahlreicher eingeschmolzener Stromzuführungen durch die Glaswand zu umgehen. Es war nur eine einzige gemeinsame Innenelektrode vonnöten. Bei den in Zukunft erforderlichen Bildpunktzahlen würde eine solche Anlage zur wirtschaftlichen Utopie werden, wenn *Tesla* nicht durch seine Versuche mit vollkommen elektrodenlosen Leuchtröhren gelehrt hätte, dass wir bei genügend hoher Wechselzahl jedwede metallische Belegung und Hindurchführung überhaupt vermeiden und dennoch erreichen können, dass das Leuchtphänomen im Gase durch äussere Kapazitäten räumlich lokalisiert bleibt. In dieser Lehre scheint mir eine beachtliche Hoffnung für die Zukunft des Fernseh-Grossbildes zu wuzeln, und ich könnte mir vorstellen, dass die Technik es eines Tages fertig bringt, gesteuerte *Tesla-Ströme* in grossen flächenförmigen Vakuumgefässen so zu handhaben und zu verwenden, dass ein ideal einfacher Bildaufbau erzielt wird.

Mit diesen Feststellungen bezw. Erwartungen, die ohne Anspruch auf Vollständigkeit jetzige und vielleicht zukünftige Verknüpfungen der Fernsehentwicklung mit den Arbeiten *Teslas* andeuten, will ich zu dem eigentlichen Gegenstand meiner Ausführungen übergehen. Ich glaube dabei Ihrem Interesse am besten dadurch zu entsprechen, dass ich Ihnen einen Überblick über den Stand der jungen Technik gebe, die mit an erster Stelle in Deutschland und durch die deutschen Behörden gefördert worden ist. Dies jedoch, ohne an den Ergebnissen anderer Länder vorbeizugehen. Zunächst möchte ich aber eine kurze Wiederholung der Grundlagen vorausschicken.

Grundlagen.

Bildabtastender Send- und bildschreibender Empfangslichtpunkt durchheilen das Gesichtsfeld in parallelen, sich aneinanderschliessenden Bildzeilen und zwar so, dass ihre Lage mit Bezug auf den Bildrahmen jeweils genau die gleiche ist (Synchronlauf). Das von dem wandernden Lichtbündel in gleichbleibender Einfallstärke getroffene Urbild, das sich wie ein Raster von helleren und dunkleren Bildpunkten verhält, ändert durch seine entsprechend schwankende Rückstrahlfähigkeit oder Durchlässigkeit (beim Film) den Lichtstrom, der nach der Abtastung die photoelektrische Sendezelle erreicht. Wir erhalten dadurch elektrische Zeichen, deren Auf und Ab die zeitliche Abwicklung des Nebeneinanders der einzelnen Urbildpunkte darstellt. Die hinreichend verstärkten Stromschwankungen übertragen wir auf hochfrequenter Trägerwelle vom Sender zum Empfänger und verwenden sie dort zum Aufbau des Fernbildes; durch die schwankende Stärke der Empfangszeichen stellen wir die Leuchtdichte des gleichlaufenden Lichtpunktes augenblicklich auf

denjenigen Wert ein, der dem des lagengleichen Rasterpunktes des Urbildes entspricht. Wird so die Gesamtheit aller Punkte koordinatengetreu und in rascher Wiederholung — heute $n=25$ mal in der Sekunde — als ein flächenhaftes Mosaik von Lichtreizen wechselnder Helligkeit zusammengesetzt, so kommt im Auge des Betrachters die Verschmelzung zum ununterbrochenen Fernbild zustande.

Ultrakurzwellentchnik.

Die sehr schnellen Schwankungen des Sendestromes bedeuten das Auftreten eines breiten Schwingungsspektrums, dessen Ausdehnung mit der Häufigkeit der abgetasteten Lichtänderungen wächst. In je mehr Punkte wir ein Bild zerlegen und je grösser wir die Zahl seiner Wiederholungen wählen, desto schnellere Hell-Dunkel-Wechsel und desto breitere Frequenzbänder kommen vor. Diese muss der Sender ausstrahlen können und der Empfänger durchlassen. Bei Bildern von $k=180$ Zeilen und $q=40.000$ Punkten, wie sie heute üblich sind, haben wir ein Schwingungsspektrum (Bandbreite) von $\Delta\nu=nq/2=500.000$ Hz; um dieses mit den Mitteln der drahtlosen Telegraphie, d. h. mit Resonanz-Systemen genügender Trennschärfe, aufnehmen zu können, benötigen wir ultrakurze Wellen. Es ist dabei notwendig, dass auf den Einschwingvorgang, der im Grenzfalle die Grössenordnung $>10^{-6}$ s hat, eine grosse Zahl von Perioden der Trägerschwingung (>50) entfällt. Das Bild ist, elektrisch analysiert, eine ununterbrochene bunte Folge von Einschwingvorgängen verschiedener Frequenzen, die durch die Helligkeitsänderungen ausgelöst werden. Stationäre eingeschwingene Zustände gibt es beim Fernsehen nicht. Aus Vorstehendem folgt die Unentbehrlichkeit der ultrakurzen Wellen.

Die Erfahrungen über die Reichweite dieser Wellen sind im Laufe der beiden vergangenen Jahre günstig gewesen. Grosse Senderleistungen, die man bei 7 m Wellenlänge (43.10^6 Hz) und beim Höchstwert des Antennenstromes bis zu 20 kW hinauf mit wassergekühlten Senderöhren beherrscht, ermöglichen in Verbindung mit hochgelungenen Strahlen die Fernseh-Rundfunkversorgung von Grossstädten und deren Umgebung innerhalb von Zonen mit 70 bis 100 km Durchmesser. Schädliche Reflexionen, die mit im Bilde störenden Laufzeitdifferenzen des Signals verbunden sind, konnten innerhalb der angegebenen Reichweiten bisher nicht beobachtet werden. Wichtig ist, dass wegen der räumlichen Begrenzung der Ultrakurzwellausstrahlung die gleiche Trägerwelle an vielen Orten verwendet werden kann. Die Selektion, die sonst in der drahtlosen Telegraphie durch Verschiedenheit der Wellenlänge erstrebt wird, die aber im Fernsehen auf diesem Wege infolge der grossen Frequenzbandbreite

nicht erreichbar wäre, wird durch die räumliche Beschränkung des Wirkungsgebietes der einzelnen Sender erzielt.

Für den Empfang hat sich, wie beim Rundfunk, die Überlagerungsschaltung (Superheterodyn-Prinzip) in Verbindung mit Röhren besonderer Ausführung bewährt. Es sind dies Pentoden (Fünfelektrodenröhren) mit grosser Steilheit (5 bis 8 mA/V), die bei den durch die Durchlassbreite der Kopplungskreise bedingten geringen Auslenkungen noch brauchbare Stufenverstärkungen liefern. In Zukunft erscheint es wohl möglich, die Bandbreite der Fernsehübertragung auf 10^6 Hz und darüber hinaus zu steigern, die Bilderzeugung also noch entsprechend zu verfeinern.

LICHTSTROMFRAGE

Mit der Feinheit der Zerlegung (wachsender Bildpunktzahl ϱ) sinkt das Verhältnis der endlichen Bildpunktfläche zur gesamten Bildfläche und damit bei allen bisherigen optischen Zerlegern, Lochscheiben oder Spiegelrädern, der auf den einzelnen Bildpunkt bei der Abtastung entfallende Lichtstrom. Die Grenze ist schliesslich durch das Versinken der lichtelektrischen Nutzspannung, die dem Bildverstärker zugeführt wird, unter die Höhe der den Glühkathodenröhren eigentümlichen Störspannung (Geräuschpegel) gegeben. Es bedeutet für das Fernsehen eine grundlegende Schwierigkeit, dass die Störspannung mit der Quadratwurzel der durchzulassenden Schwingungsbreite, d. h. mit wachsendem ϱ , ansteigt, während durch das Wachsen der Zeilenzahl zugleich der Nutzlichtstrom und mit ihm die photoelektrisch erzeugte Steuerspannung abfällt. Die heutigen Vakuum-Photozellen haben eine Empfindlichkeit von rd. 30 bis $50 \mu\text{ A/Lumen}$, bezogen auf Licht von der Zusammensetzung des Lichtes der Halbwatt-Glühlampen. Bei Filmabtastung mit etwa 300 Bildzeilen bleibt dann die Steuerspannung noch genügend oberhalb des Störpegels, während man bei der Personenabtastung, die mit viel geringerem optischen Wirkungsgrad arbeitet, schon bei etwa 180 Bildzeilen die praktische Grenze erreicht hat. Hier bieten sich nun aber zwei neue Möglichkeiten:

Zwischenfilmverfahren.

Bei dem Zwischenfilmsender der Fernseh-A.-G., der bereits auf den Funkausstellungen Berlin 1932 und 1933 vorgeführt und 1935 in verbesserter Ausführung gezeigt wurde, benutzt man die Durchleuchtungsabtastung des Filmes, um Personen oder Freilichtszenen mittelbar übertragen zu können, da dies Verfahren viel empfindlicher als die unmittelbare Rückstrahlabtastung ist. Man nimmt die betreffende Szene auf einen Film auf, entwickelt den Film unver-

züglichen in einer an die Kamera anschliessenden Vorrichtung, die dank besonders dünner und vorbereiteter lichtempfindlicher Schichten äusserst schnelles Arbeiten gestattet, und lässt das Bildband unmittelbar danach durch den Fernschalttaster laufen. Man konnte die Verzögerung zwischen Geschehen und Bildübertragung bisher auf die Grössenordnung $\frac{1}{2}$ min. hinabdrücken. Mit Hilfe des Zwischenfilmes kann in vielen Fällen (bei gleichzeitiger Speicherung und entsprechender Verzögerung der akustischen Begleitung) ein Ereignis in Bild und Ton gesendet werden, ohne dass dem Empfänger der Zeitunterschied zwischen Aufnahme und Wiedergabe zum Bewusstsein kommt. Das Zwischenfilmverfahren ist von der Fernseh A. G. auch für den Empfang angewendet worden. Der ankommende Übertragungsstrom zeichnet mittels Kathodenstrahlröhre das Fernbild in Kleinformat als Schwärzungs mosaik auf einem empfindlichen Film auf. Der Film wird unmittelbar nach der Aufnahme im Schnellentwickler verwendungsgreif gemacht und durchläuft einen Bildwerfer, der das Bild lichtstark und vergrössert auf den Empfangsschirm wirft. Für begleitende akustische Übertragung muss ebenfalls eine Speicherungs- und Verzögerungsmöglichkeit vorgesehen werden, z. B. ein Stahlband-Magnetophon nach dem Poulsen-Prinzip. Die gesamte Einrichtung dürfte allerdings ihres hohen Preises wegen nur für Sonderzwecke verwendbar sein.

Speicherverfahren.

Die Lichtstärkenfrage des Fernsehgebers ist neuerdings von W. K. Zworykin (Radio Corporation of America/Victor-Co.) für unmittelbare unverzögerte Übertragungen mit Hilfe lichtelektrischer Speicherung grundsätzlich gelöst worden. Das Ikonoskop der R. C. A. ist eine Hochvakuumröhre, in der ein scharf gebündelter Kathodenstrahl über ein lichtelektrisches Zellenraster in parallelen Zeilen und im Gleichlauf mit dem bildschreibenden Strahl des Empfängers hinwegbewegt wird. Dazu dienen bei Sender und Empfänger die gleichen Mittel. Der Kathodenstrahl hat am Geber folgende Aufgabe: Er wertet die Helligkeitsverteilung auf der mit mikroskopisch kleinen Einzelphotozellen besetzten Rasterfläche aus, auf die der zu übertragende Gegenstand als Ganzes verkleinert abgebildet wird. Die isolierten punktförmigen Zellen wirken zusammen mit einer gemeinsamen Gegenplatte als kleine Kondensatoren. Die in den Photozellen lichtelektrisch ausgelöste Elektronenzahl ist je nach der örtlichen Helligkeitsverteilung verschieden gross. Die Kondensatoren speichern die durch die austretenden Elektronen freiwerdende positive Ladung während der Zeit zwischen zwei Kathodenstrahlabtastungen, d. h. über $\frac{1}{25}$ s; bei der Abtastung werden sie nacheinander über einen

Widerstand entladen; die an diesem auftretenden Spannungen steuern nach ausreichender Verstärkung den Fernsehsender.

Für die Sendersteuerung wird also der Integralwert der lichtelektrischen Wirkung über $\frac{1}{25}$ s nutzbar gemacht. Dadurch ist es gelungen, den Mindestbedarf an Lichtstärke des Bildfeldes für den Zerlegungsvorgang mit 180 oder mehr Bildzeilen soweit zu erniedrigen, dass alle diejenigen Szenen direkt ferngesehen werden können, deren Helligkeit für gewöhnliche photographische Aufnahmen mit einer Belichtungsdauer von höchstens $\frac{1}{25}$ s genügen würde. Man kann also Personen oder Personengruppen, Bühnen- und Freilichtszenen usw. mit dem Ikonoskop unmittelbar übertragen, ohne dass man dazu wie bisher der sehr starken Zusatzbeleuchtung bedarf.

Bildwandler-Abtaster

Ph. T. Farnsworth hat, abweichend vom Ikonoskop, eine Bildzerlegerröhre nach dem elektronenoptischen Bildwandlerprinzip entwickelt. Das auf eine homogene Photokathode entworfene optische Bild löst eine der Hell-Dunkel-Verteilung entsprechende Elektronenemission aus (Elektronenbild). Das durch hohe Spannung abgesaugte, durch eine Magnetlinse in die Zerlegungsebene fokussierte Elektronenbündel wird durch Ablenkfelder über eine punktförmige Lochblende bewegt, so dass ein Elementarquerschnitt nach dem anderen im Sinne der Bildabtastung ausgeblendet wird. Danach wird der jeweils wirksame Elektronenstrom durch Sekundäremission (oszillierender Farnsworth-Multiplier) beträchtlich verstärkt und erst der verstärkte Strom auf den Sender zur Einwirkung gebracht. Die Aussichten dieses Prinzips sind minder günstig als die des Speicher-Abtasters.

FILMABTASTER

Lochscheibenzerleger

Für unmittelbare Filmabtastung mit 180 Bildzeilen beherrscht heute noch der Lochscheibenzerleger das Feld (Telefunken, Fernseh A.-G., Radio A.-G. Loewe, Tekade, Bell Laboratorium, Baird Television Ltd. u. a.). Der Bildstreifen wird nicht ruckweise, sondern mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch das Bildfenster geführt, wodurch der Zeilenwechsel selbsttätig erfolgt. Senkrecht dazu kann dann die Zeilenabtastung durch das bewegte Loch stets in der gleichen Bahn vor sich gehen. Die Bohrungen liegen daher nicht wie bei der Nipkow-Scheibe auf einer Spirale, sondern auf einem geschlossenen Kreise. Man benutzt verhältnismässig kleine Scheiben, die für das ganze Bild mehrere Umdrehungen machen und neuerdings (bei 6000 U/min.) im luftverdünnten Raum laufen; dabei ist der Kurz-

schlussläufer des elektrischen Antriebsmotors in das Lochscheibengehäuse eingebaut: das erregende Feld sitzt aussen. Die ziemlich engen Löcher, die im Grenzfall nur 0,1 mm Dmr. besitzen, sind in dünne Metallplättchen gestanzt, die auf einen Träger aus 0,2 mm dickem Membranblech aufgelötet werden. Eine solche Scheibe wird bei rascher Drehung durch die Streckwirkung der Fliehkraft völlig eben. In jüngster Zeit hat Telefunken (Mechau) die Lochscheibe durch eine Linsentrommel ersetzt. Sie hat unter gleichen Verhältnissen eine Steigerung der Lichtfleckhelligkeit auf das 20-fache erbracht.

Braunsche Röhre.

Einzelne Forscher haben auch bereits die Braunsche Röhre als Filmzerleger verwendet. Das im Gleichlauf mit der Empfängerseite über den Leuchtschirm geführte Elektronenbündel liefert bei hoher Anodenspannung einen so hellen Brennfleck, dass der davon ausgehende Lichtstrom für die Durchleuchtungsabtastung genügt. Es wird also das lichtdurchlässige Loch der umlaufenden mechanischen Scheibe durch den trägheitslos beweglichen Kathodenlichtpunkt ersetzt. Zu seiner Ablenkung benutzt man sägezahnförmige Spannungen oder Ströme, deren Erzeugung und Verwertung wir besser im Zusammenhang mit der Empfängerröhre (s. unter „Gleichlaufende Ablenkung des Elektronenstrahls“) behandeln. Die Zeilenspur des Lichtpunktes wird durch ein Objektiv scharf auf dem Film abgebildet, hinter dem die photolektrische Zelle angeordnet ist. Das Filmbild wird daher quer zur Verschiebung des gleichförmig weiterbewegten Bildstreifens in Punkte zerlegt. Durch die neuen Photozellen mit Sekundäremissions-Verstärkung sind die Möglichkeiten dieses Abtasters stark erweitert worden.

Obwohl dieser Vorschlag schon längere Zeit bekannt war, ist es doch erst M. v. Ardenne vor wenigen Jahren gelungen, ihn mit gutem Erfolg durchzuführen. Die gefundene Lösung hat zugleich grundlegende Bedeutung für die Verwirklichung der Thunsehen Liniensteuerung, die ausser durch M. v. Ardenne kürzlich von L. H. Bedford und O. S. Puckle in England aufgegriffen und durch die Verbindung mit zusätzlicher Helligkeitssteuerung des bildschreibenden Lichtpunktes gefördert ist.

Die Liniensteuerung ersetzt die Amplitudenmodulation des Lichtflecks bei konstanter Geschwindigkeit durch die Umkehrung: konstante Lichtfleckhelligkeit bei variabler Geschwindigkeit, und liefert dabei aufgrund des Talbotschen Gesetzes die richtige Intensitätsverteilung. Sie hat jedoch vorläufig nur theoretisches Interesse.

TRÄGERFREQUENZVERSTÄRKUNG

Zur Frage der Verstärkung, die sich an den Vorgang der Erzeugung des Bildzeichens im Fernsehgeber anschliesst und bis zur Empfangsseite hinübergreift, wird auf das unter „Ultrakurzwellentechnik“ Gesagte verwiesen. Wie die durch Überlagerung im Empfänger gebildete Zwischenfrequenz ($2 \cdot 10^6$ bis $5 \cdot 10^6$ Hz) einen idealen Träger der Bildhelligkeitsschwankungen von der tiefsten bis zur höchsten übertragenen Wechselzahl darstellt, so erweist sich auch auf der Sendeseite die Einführung einer solchen Trägerschwingung als äusserst zweckmässig. Dieses Verfahren hat sich daher bereits weitgehend durchgesetzt.

Früher wurde die Trägerschwingung durch Unterbrechung des Abtastlichtstrahls mit einer Lochscheibe erzeugt; da bei der Breite der heutigen Frequenzbänder dieses Verfahren nicht mehr ausreicht, wird die Schwingung beim Verfahren nach Telefunken-Karolus an den Klemmen der lichtelektrischen Zelle durch elektrische Überlagerung einer konstanten, von einem Hilfssender erzeugten Wechselspannung der Grössenordnung $2 \cdot 10^5$ bis $5 \cdot 10^6$ Hz eingeführt.

Das Trägerverfahren beseitigt die bei unmittelbaren Verstärkern mit Kondensator-Widerstands-Kopplung gefürchteten Laufzeitfehler zwischen der Übertragung langsamer und schneller Helligkeitsschwankungen; diese Störung führt bisweilen zu grosser Verschiebung der im Urbilde in bestimmter Lage zueinander gegebenen kürzeren und längeren Aufhellungsstellen und beeinträchtigt das Fernbild sehr.

BILDEMPFÄNGER

Braunsche Röhre

Während beim optischen Fernsehgeber die Mannigfaltigkeit der technischen Lösungen heute noch gross ist, hat die allgemeine Erkenntnis der Überlegenheit der Braunschen Röhre als Bildschreiber die Vereinheitlichung der Systeme auf der Empfangsseite stark gefördert. Dafür waren nicht nur die seit langem offenbaren Vorteile des masselosen Bildpunktverteilers entscheidend, wie z. B. das Fehlen mechanisch bewegter lärmender Teile, der grosse Betrachtungswinkel des Schirmbildes, die Entbehrlichkeit aller verlustbringenden Zwischenoptiken und die geringe Steuerleistung; vielmehr bedurfte es noch stärkerer Gründe, um die Entwicklung endgültig in diese Richtung zu lenken. Der zwingendste war die Preisfrage des Fernseh-Heimgerätes. In Anbetracht seiner vielen dem Bild- und dem Töneempfang dienenden Einzelteile, des Netzanschlussteils, der hohen Zahl von Verstärkerröhren usw. hätte die Technik trotz allen Fort-

schrritten eine tragbare Grössenordnung der Herstellungskosten ohne die Braunsche Röhre nicht erreichen können. Sie ist sehr einfach aufgebaut und lässt zugleich durch ihren geringen Verstärkungsbedarf im Vergleich mit anderen Bildempfängern, sowohl für die Helligkeits- als auch für die Gleichlaufregelung, so weitgehende Ersparnisse erwarten, dass die Gerätebauer hier einen gangbaren Weg sahen, um zu verkäuflichen Apparaten zu gelangen.

Dieser Weg wurde daher in dem Augenblick beschritten, als die Fragen der Bündelungsschärfe des Kathodenstrahls, der Helligkeit und Koordinatentreue des Leuchtschirmbildes u.a.m. durch Versuche befriedigend geklärt waren. Sehr wesentlich wirkte dabei folgende Erkenntnis mit: Im Gegensatz zu allen mechanisch-optischen Fernsehempfängern bringt eine Erhöhung der Bildpunktzahl bei der Braunschen Röhre — stets die gleiche Schirmgrösse vorausgesetzt — keine Verminderung der Lichtstärke, solange es gelingt, die gleiche elektrische Leistung wie zuvor in dem entsprechend verkleinerten Kathodenbrennfleck zu verdichten und ohne Eintreten von Sättigung in Nutzstrahlung umzusetzen. Dies hat sich nun innerhalb so weiter Grenzen als möglich erwiesen, dass die heute verwendeten Zeilenzahlen von 180 auf 400 hinaufgesetzt werden können, was mit dem Herausholen der letzten Rasterfeinheiten gleichbedeutend ist. Auch darin liegt eine Gewähr für die Stetigkeit der auf die Braunsche Röhre gegründeten Weiterentwicklung, sofern nicht in Zukunft unvorhergesehene Wendungen eintreten.

Wir finden heute die Braunsche Röhre als Bildempfänger in den Geräten folgender Firmen: Telefunken, Fernseh A. G., Radio A. G., Loewe, v. Ardenne, Baird-Television - Co., EMI-Marconi-Television, Ltd., RCA-Victor-Co. u. a. m.

Übergang zur Hochvakuumröhre

Die Braunsche Röhre hat besonders in den letzten Jahren grosse Verbesserungen dadurch erfahren, dass der Ersatz der gashaltigen Ausführung durch die Hochvakuumausführung gelang. Dies schien unumgänglich notwendig, um genügende Lebensdauer der kathodischen Strahlelektronenquelle zu sichern. Die alte Röhre, die einen Gasrest von etwa 10^{-3} bis 10^{-1} mm QS Druck enthält, bietet durch Ausnutzung der Knoten- oder Fadenstrahlerscheinung grundsätzlich für die Erzielung heller und scharfer Fernsehbilder gute physikalische Möglichkeiten. Ihre Schwächen (Verzerrungen des Bildes infolge von Wand- und Raumladungen, Ionenkreuz) konnten durch gründliche Abschirmung sowie durch geistvoll erdachte Hilfsmittel und zweckmässige Potentialverteilung völlig beseitigt werden. Der Aufprall der schnellen positiven Gasionen auf die Kathode zerstörte

diese aber in kurzer Zeit; es konnte deshalb bisher keine ausreichende Brennzeit gewährleistet werden.

Demgegenüber waren die Fortschritte bei der Hochvakuumröhre so beträchtlich und überzeugend, dass es geboten schien, schnellstens zu dieser überzugehen. Bei der im Laboratorium der RCA-Victor-Co von V. K. Zworykin und seinen Mitarbeitern, im Telefunken Laboratorium von Knoll, Lnoblauch und Diels entwickelten Ausführung, sind Betriebsdauern von mehreren 1000 h erreicht worden, ohne dass die Zeichenschärfe nachgelassen hätte.

Anwendung der Elektronenoptik

Die Braunsche Hochvakuumröhre als Bildempfänger hat im wesentlichen zwei Hauptaufgaben zu erfüllen: die Bündelung und die Ablenkung des Elektronenstrahls. Bei der gashaltigen Röhre erzeugt der Strahl sich das ihn zusammenhaltende Raumladungsfeld durch Ionisation dauernd und in jeder Lage selbst. Dagegen muss bei der Hochvakuumröhre das kegelartig auseinanderstrebende Elektronenbündel der punktförmigen Glühkathode durch brechende elektrische oder magnetische Felder, die einen der Wirkung lichtoptischer Linsensätze physikalisch wesensverwandten Sammeleinfluss äussern, wieder zusammengebracht und auf dem Leuchtschirm zu einem genügend kleinen und scharfen elektronenoptischen Kathodenbild vereinigt werden. Hierbei besteht aber noch die zusätzliche Forderung, dass die von der Kathode abgesaugte Stromstärke steuerbar sein muss, damit man die Helligkeit des Bildpunktes verändern kann, und zwar ohne nachteilige Rückwirkung auf seine Schärfe.

Auf diese schwierige Problemstellung hat man mit Erfolg die Ergebnisse der Forschungen von Busch, Knoll und Ruska, Brüche und anderen Begründern der geometrischen Elektronenoptik anwenden können. So gelang es, auch bei grosser Schirmfläche sehr helle, scharf gezeichnete, geometrisch getreue Fernsbilder herzustellen. Die Bündelungswirkung wird durch entsprechend sphärisch gekrümmte elektrische Niveauflächen erreicht (Lochblendenlinsen, Immersionslinsen). Die Theorie würde hier zu weit führen; es wird auf die Literatur hingewiesen. In der Hauptsache handelt es sich um die Vereinigung von starker Sammel- und schwacher Zerstreungslinse, um kleines Vergrösserungsverhältnis und zugleich eine grosse Länge des abzulenkenden bildseitigen Elektronenstrahls zu erzielen.

Die Telefunken-Hochvakuumröhre hat eine völlig gerade Kennlinie der Aufhellung und gibt infolgedessen alle Zwischenstufen der Beleuchtung (Halbtöne) zehr gut wieder. Der Steuerspannungsbedarf liegt in der Grössenordnung von 10 V. Die im Fernbild bei rd. 16×20 cm² ausgenutzter Schirmfläche erreichte Beleuchtungsstärke beträgt 20

bis 30 Lux. Es können auch grössere Bilder (etwa 22 cm \times 25 cm) mit entsprechend vermindelter Helligkeit hergestellt werden. Die Leuchtfarbe ist infolge eines besonderen Präparates weiss.

Gleichlaufende Ablenkung des Elektronenstrahls.

Ausser durch Schärfe, Helligkeit und Halbtonwiedergabe ist die Güte des Fernbildes noch wesentlich durch unverzerrte Übertragung des Punktrasters bedingt. Ebenso wie bei der sendersetigen Zerlegung ist daher die Forderung gleichförmiger Zeilengeschwindigkeit des Empfangslichtpunktes zu erfüllen. Da die seitliche Ablenkung des masselosen bildschreibenden Kathodenstrahls nur geringe elektrostatische oder magnetische Feldkräfte verlangt, liess sich diese Aufgabe mit tragbaren Mitteln lösen. Man verwendet längs und quer zur Bildzeile wirkende Röhren-Kippschwingungserzeuger, die streng sägezahnförmige Spannungen oder Ströme liefern und mit diesen die gewünschte Ablenkungsbewegung des Brennflecks hervorrufen. Wird z. B. ein Kondensator mit gleichbleibendem Strom aufgeladen, so steigt seine Spannung mit der Zeit geradlinig an. Das gleiche Gesetz gilt für den in einer Induktivität (Spule) unter dem Einfluss einer gegebenen Spannung anwachsenden Strom, wenn die massgebenden elektrischen Grössen richtig bemessen sind.

In beiden Fällen muss zur Herstellung eines Zeilenrasters die Zunahme der Spannung bzw. des Stromes beim Eintreffen des Lichtpunktes am Zeilen- oder Bildfeldrande unterbrochen und die Ablenkung auf null zurückgeführt werden. Hierzu dienen Kipp- röhren, d. h. steuerbare gashältige oder hochentlüftete Entladungsröhren mit geringerem Innenwiderstand, die ein schnelles Absinken der Kondensatorenspannung bzw. des Spulenstromes auslösen. Auf die Mannigfaltigkeit der möglichen Schaltungen soll hier nicht eingegangen werden, weil die Entwicklung im Hinblick auf die Vereinfachung der Mittel noch stark im Flusse ist.

Wie die elektrostatische, so ist auch die magnetische Ablenkung des bildschreibenden Kathodenstrahls von Telefunken, EMI-Marconi-Television-Ltd. und RCA-Victor-Co. völlig durchgearbeitet worden, wobei die magnetische Methode sich dank der erzielten Verbilligung der Brauschen Röhre überall durchzusetzen begonnen hat.

Um ferner stets die gleiche Lage beider Lichtpunkte im Bildrahmen zu sichern, hat O. Schriever (Telefunken) folgendes Verfahren vorgeschlagen und durchgeführt: Der Antennenstrom des Ultraschwellensenders wird durch die Bildlichter von einem Restwert der voller Dunkelheit entspricht, an aufwärts gesteuert, dagegen durch Gleichlaufzeichen am Ende jeder Zeile (kurze Pause) und jedes ganzen Bildes (lange Pause) bis auf null hinuntergesteuert. Die vom Reststrom im Empfänger hervorgebrachte Spannung sperrt

dessen Kippöhren, bis die Sperrung am Bildrande infolge der Aussteuerung des Senderstromes aufhört. Dadurch wird das Kippen bei der Ablenkschaltungen in zeitlicher Phase mit der Zerlegung am Geber, d. h. in richtiger räumlicher Lage, ausgelöst. Während der Nullstromzeiten springt der Kathodenstrahl auf den Anfangspunkt der nächsten Zeile bzw. des nächsten Bildes zurück. Er kann hierbei aber im Fernbilde keine Störlinien schreiben, da währenddessen die Sendeenergie und mit dieser die Kathodenstrahlaufhellung völlig unterdrückt ist. Das beschriebene Verfahren wurde von der Deutschen Reichspost übernommen und arbeitet bei 180 Bildzeilen und 25 Bildern je s einwandfrei.

Sonderentwicklungen

Bei der Braunschen Röhre ist es kaum möglich, die Fläche des Fernbildes beträchtlich über das heutige Mass hinaus zu steigern, weil die Bearbeitung noch grösserer Glaskolben schwierig, und teuer und ihre Handhabung im entlüfteten Zustande bedenklich wäre. Für Fernseh-Vorführungen vor einer grösseren Zahl von Menschen werden aber den Grössenverhältnissen der Lichtspieltheater entsprechende Bildfelder verlangt. Der Zwischenfilm-Empfänger kann hierfür infolge der Speicherdauer nicht immer verwendet werden. Man sucht daher nach einer unverzögert und unmittelbar wirkenden Einrichtung. Diese Aufgabenstellung deckt sich inbezug auf die Bildwiedergabe mit einer zweiten: Optische Ergänzung der Grosslautsprecheranlage, um das bewegte Bild eines Versammlungsredners in grossen Räumen überlebensgross darzustellen.

Auf Anregung des Verfassers hat nun A. Karolus das alte Zellenverfahren der Fernsehtechnik wieder aufgegriffen: Während beim gewohnten Übertragungsvorgang die Bildpunkte sämtlich nacheinander abgetastet werden, erfolgt hier die Übermittlung der Punkte einer ganzen Zeile gleichzeitig, und zwar durch eine entsprechende Zahl getrennter elektrischer Kanäle. Bei der Entwicklung dieses Systems haben sich überraschende Vereinfachungen ergeben, die eine wirtschaftliche Herstellung solcher Anlagen erlauben. In einer Versuchsausführung sind 10.000 kleine Glühlampen als Bildpunktzellen vorgesehen. Bei 50 Bildern/s sind keine störenden Trägheiten der Glühfäden bemerkbar. Die Lampen werden von 100 Einzelphotozellen des optischen Abtasters über Verstärker gesteuert, wobei jede Photozelle über Umschalter von grundsätzlich sehr einfacher Art 100 Glühlampen nacheinander in ständiger Wiederholung mit den ihnen jeweils zukommenden Aufhellungsspannungen erregt.

ZUKUNFTSAUFGABEN

Unabhängig von der Frage der Fernbildgrösse bleiben die Bestrebungen der nächsten Jahre auf weitere Erhöhung der Schärfe und der Flimmerfreiheit des Bildes gerichtet. Die Grenzen der Zeilenzahl liegen, wie wir sahen, beim optischen Geber: Die Abnahme des nutzbaren Lichtstromes einerseits, die wachsende Frequenzbandbreite andererseits machen bei zunehmender Zeilenzahl das Verhältnis des Bildsignals zum Störspiegel sehr ungünstig.

Der Frequenzbandbreite ziehen die Ausbreitungsverhältnisse ultrakurzer Wellen, besonders in Grosstädten mit ihren stark dämpfenden Einflüssen bei rd. $2 \cdot 10^6$ Hz eine kaum noch zu erweiternde Grenze. Man hat daher auf bekannte Vorschläge zurückgegriffen, um grössere Bildschärfe und zugleich völlige Flimmerfreiheit ohne Steigerung der Höchsthfrequenz zu erzielen.

Der beste Weg ist die Zeilenversetzung. Statt z. B. 180 Bildzeilen nacheinander 25 mal je s überträgt man die Hälfte der 180, d. h. je 90 Bildzeilen, und zwar abwechselnd die geradzahligigen und die ungeradzahligigen, 50 mal. Da das Gesichtsfeld doppelt so oft durchlaufen wird, entsteht der Eindruck völliger Ruhe des Schirmleuchtens, während die Schärfe derjenigen des 180 zeiligen Bildes nahekommt, ja sie bei der Braunschen Röhre mit richtig bemessenem Nachleuchten der Phosphorschicht voll erreicht. Die Höchsthfrequenz bleibt hierbei unverändert, nämlich (90.50) P statt (80.25) P, wenn P die halbe Bildpunktzahl längs der Zeile bedeutet. Die Trägheitslosigkeit des Kathodenstrahls gestattet das Versetzungs-Verfahren noch weitergehend durchzuführen.

Erreicht sind bei:

EMI — Marconi:	405	Zeilen,	50	Abtastungen/s.	Zeilenversetzung
RCA-Victor-Co:	343	"	60	"	"
Telefunken:	375	"	50	"	"

SEKUNDÄREMISSION

Die durch Licht aus einer Photokathode ausgelösten Elektronen lassen sich unter dem Einfluss von Magnetfeldern in geordneten Bahnen beschleunigen und liefern beim Aufprall auf geeignete Schichten und bei etwa 200 bis 300 Volt Beschleunigungsspannung pro Primärelektron 4 bis 8 Sekundärelektronen (vielstufiger Vielfacher nach Zworykin). Dieser Verstärkungseffekt ist unabhängig vom Fliessen eines bestimmten Stromes durch die Photozelle; daher spielt der Schroteffekt nicht die Rolle wie bei Verstärkerröhren mit Glühkathode. Man kann deshalb 60 bis 100 mal schwächere Licht-

ströme als bisher noch störspiegelfrei verwerten und hat so die Möglichkeit, die den mechanisch-optischen Bildzerlegern bisher gezogenen Grenzen erheblich zu erweitern, z. B. für Personenabtaster auf 300 bis 400 Bildzeilen. Derartige Anlagen sind in letzter Zeit mit Erfolg ausgeführt worden.

Schluss:

Wir dürfen aber nicht vergessen, dass selbst bei Befriedigung aller billigen Forderungen inbezug auf die Schönheit des Fernbildes die wirtschaftlichen Grundlagen dieses neuen Zweiges der Rundfunktechnik dürftig blieben, wenn es nicht gelänge, die durch die Reichweite der Ultrakurzwellensendung gegebenen Schranken zu überwinden. Will man für den Fernsehempfänger eine möglichst ausgedehnte Absatzgrundlage und damit den denkbar niedrigsten Verkaufspreis erreichen, so muss es der Technik gelingen, mit einem örtlichen optischen Vorgang durch Drahtübertragung des hochfrequenten Strombildes ein über das ganze Land verteiltes Netz von Ultrakurzwellensendern gleichzeitig zu steuern. Die Entwicklung der Hochfrequenzkabel, die heute schon durch dämpfungsarme und sparsame Bauweise die Fernleitung von Schwingungsenergie höchster Wechselzahlen über beachtliche Strecken ohne zu grosse Spannungsverluste und Anschaffungskosten erlauben, lässt die Lösung dieser Aufgabe in nicht allzulanger Zeit erhoffen.

Prof. Dr. *Fritz Schröter*
Direktor der Laboratorien
der Telefunken A. G. Berlin