



10 JAHRE
FERNSEH A.G.

HAUSMITTEILUNGEN AUS FORSCHUNG UND BETRIEB DER FERNSEH AKTIENGESELLSCHAFT, BERLIN

1. BAND • HEFT 4 • JULI 1939

Inhalt:

		Seite
Goerz	1929 — 1939	109
Rolf Möller und Georg Schubert	Zehn Jahre Fernsehtechnik	111
Erich Schwartz	Entwicklung der Braunschen Fernsehröhre bei der Fernseh A. G.	123
Werner Hartmann	Die Bildsondenröhre	130
Rudolf Behne	Die Entwicklung der Speicherröhre	134
Johannes Schunack u. Rolf Maly	Die Fernseh-Sprechtechnik	138
Fritz Below	Zur Theorie des Breitbandniederfrequenzverstärkers	144

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge. Herausgeber: Fernseh Aktiengesellschaft, Berlin-Zehlendorf, Goerzallee. Nachdruck mit genauer Quellenangabe ist unter Einsendung von zwei Belegexemplaren gestattet. Schutzgebühr Inland: RM 1,50, Ausland RM 2,50.



FERNSEH A.G.

Hausmitteilungen aus Forschung und Betrieb der Fernseh Aktiengesellschaft, Berlin

Verantwortlich für den Inhalt: Dr. Rolf Möller und Dr. Ing. Georg Schubert

1. Band

Heft 4

Juli 1939

1929 — 1939

Die Fernseh A. G. wurde am 11. Juni 1929 von den Firmen Robert Bosch A. G. Stuttgart, Radio A. G. D. S. Löwe Berlin, Zeiss Ikon A. G. Dresden und Baird Television Limited London gegründet und am 3. Juli 1929 im Handelsregister eingetragen. Gegenstand des Unternehmens ist „der Erwerb und die Verwertung von Schutzrechten auf dem Gebiete des Fernsehens sowie die Herstellung und der Vertrieb von Fernsehgeräten aller Art“. Das Stammkapital betrug bei Gründung RM 100 000,—.

Die Leitung der Gesellschaft wurde Herrn Dr. Ing. Paul Goerz übertragen, in den Vorstand wurden später als stellvertretende Vorstandsmitglieder die Herren Dr. Ing. Georg S c h u b e r t und Dr. Rolf M ö l l e r berufen.

Die Anteile der Gesellschaft befinden sich heute ausschließlich in den Händen der Firmen Robert Bosch G. m. b. H. Stuttgart und Zeiss Ikon A. G. Dresden. Die erstere ist im Aufsichtsrat durch die Herren Direktor Dr. E. C. R a s s b a c h als Vorsitzter und Direktor Karl Martell Wild, die letztere durch die Herren Direktor Alexander E r n e m a n n und Direktor Alfred S i m a d e r vertreten.

Die Arbeiten begannen zunächst in drei kleinen Räumen im obersten Stockwerk des Goerzwerkes der Zeiss Ikon A. G. in Berlin-Zehlendorf. Die Fernsehtechnik selber steckte zu diesem Zeitpunkt völlig in den Kinderschuhen und beschränkte sich darauf, ein mit Hilfe einer Spirallochscheibe zerlegtes 30-Zeilen-Bild in einem ebenfalls mit einer Spirallochscheibe arbeitenden Empfänger mit 12 $\frac{1}{2}$ Bildwechsellern zur Wiedergabe zu bringen.

Trotz aller Schwierigkeiten gelang es der noch jungen Gesellschaft, die zu diesem Zeitpunkt nur drei Mitarbeiter zählte, bereits im August 1929 auf der Großen Berliner Funkausstellung mit Fernsehvorführungen hervortreten. Der weitere Weg der Firma ist gekennzeichnet durch harte Arbeit. Trotz der schweren Jahre der Depression wurden auf Grund der erzielten Erfolge immer wieder Mittel zur Durchführung der

notwendigen Forschungsarbeiten bereitgestellt. Schon im Jahr 1931 wurde der erste Lichtstrahlabtaster für die Versuchssendungen in Königswusterhausen an die Deutsche Reichspost geliefert.

Die Entwicklung der Gesellschaft, die besonders seit dem Jahre 1933 sprunghaft einsetzte, wird am besten durch die Steigerung der Arbeiter von 1 auf 180 und der Angestellten von 3 auf 140 gekennzeichnet.

Die Vertiefung der Forschungsarbeit trug ihre Früchte in einer mehr und mehr steigenden Lieferung von Sende- und Empfangsgeräten, da sich auch der Herr Reichspostminister ganz besonders für die Entwicklung des deutschen Fernsehens einsetzte. So wurde die Gesellschaft an den Lieferungen für die gesamten Fernsehsende- und -Empfangseinrichtungen sowie für den Fernseh-Sprechdienst der Deutschen Reichspost maßgeblich beteiligt.

Im Jahre 1931 konnte die erste größere Auslandslieferung durchgeführt werden — ein gutes Zeichen für das wachsende Ansehen, dessen sich das junge Unternehmen erfreute.

Schritt für Schritt in zäher Arbeit immer neuen Boden gewinnend, ist so im Verlaufe von 10 Jahren aus zunächst reinen Laboratoriumsversuchen eine vielseitige Technik entstanden, die auf dem besten Wege ist, sich ähnlich dem Rundfunk das öffentliche Leben zu erobern und vielen Menschen eine Quelle der Bildung, Belehrung und Unterhaltung zu werden. Dem Rundfunk ist die lang ersehnte und notwendige Ergänzung, das lebende Bild, nunmehr geschaffen worden.

Zehn Jahre Entwicklungsarbeit stellen in der Technik im allgemeinen nichts außergewöhnliches dar, in der Entwicklung der Fernsehtechnik hingegen bedeuten sie sehr viel. Sie berechtigen daher dazu, einen Augenblick Atem zu schöpfen und zurückzuschauen. Viel ist erreicht worden, noch mehr aber bleibt zur völligen Beherrschung des publikumsreifen Fernsehens zu leisten. Die vorliegende Sondernummer unserer Hausmitteilungen soll in erster Linie eine Übersicht über die in diesem Zeitraum auf den interessantesten Gebieten der Fernsehtechnik geleistete Arbeit verschaffen, die im gleichen Zeitraum erzielten Erfolge mögen ein Ansporn sein, den weiteren Weg mit noch verstärkter Zähigkeit weiterzugehen. Allen Mitarbeitern aber sei für ihre stete Einsatzbereitschaft und zielbewußte Arbeit gedankt; ihr schönster Lohn mag sein, daß die Früchte ihrer Arbeit schon in allernächster Zukunft der Allgemeinheit zugute kommen werden.



Zehn Jahre Fernsehtechnik.

Von R. Möller und G. Schubert

Tiefe Befriedigung, ja ein nicht unberechtigtes Gefühl des Stolzes muß jeden an der Fernsehentwicklung Beteiligten erfüllen, der die Arbeiten der letzten zehn Jahre an seinem geistigen Auge vorüberziehen läßt. Führten auch die eingeschlagenen Wege nicht immer gradlinig zum heutigen Stande der Technik, so waren die Umwege doch fruchtbar und notwendig für den bis heute erzielten ungeheuren Fortschritt.

Die Spirallochscheibe nach Nipkow oder das Weillersche Spiegelrad, die Glimmlampe oder Kerrzelle, ein mit Hilfe eines phonischen Rades synchronisierter Motor und die gasgefüllte Photozelle, vereint mit aus der Rundfunktechnik bekannten Verstärkern, waren das Rüstzeug der Fernsehtechnik des Jahres 1929. Das Bestreben, die vorhandenen Rundfunksender in den Dienst der Fernsehtechnik zu stellen, führte zur Festlegung einer Uebertragungsnorm, die bei 30 Zeilen, also einer Bildauflösung von 1200 Bildpunkten mit $12\frac{1}{2}$ Bildwechseln pro Sekunde arbeitete und zur Uebertragung nur ein Frequenzband von 7500 Hz benötigte. Obwohl die ersten tastenden Versuche, ein Rundfunkfernsehen einzuführen, in den Vereinigten Staaten gescheitert waren, begann in Deutschland die Reichspost einen — wenn auch bescheidenen — Versuchsbetrieb im Interesse der jungen Technik durchzuführen.

So wurden die Sender Berlin und Königs-Wusterhausen zeitweilig in den Dienst des Fernsehens gestellt, und die ausgestrahlten Fernsehbilder konnten über 1000 km weit empfangen werden. Die Betrachtung der lichtschwachen Bilder erfolgte mit Hilfe von mehr oder weniger komplizierten Lupeoptiken und war gleichzeitig nur einer einzigen Person möglich. Die gewählte Bildauflösung gestattete lediglich die Uebertragung von größeren Köpfen; detailreichere Bilder waren für die

9×12 cm. Zur Synchronisierung wurde am Ende jeder Zeile ein besonderes Schwarzsinal gegeben. Unangenehm war, daß häufig eine zufällig im Bildinhalt vorhandene schwarze Fläche eine Fehlsynchronisierung verursachte. Dann konnte allein die Trägheit des phonischen Rades helfen.

Abgesehen von diesen Schwierigkeiten erkannte man bald, daß die Bildaufresterung selbst bescheidensten Ansprüchen nicht genügte und so ging schon im Jahre 1930 die Fernseh Aktiengesellschaft mit der Lichtstrahlabtastung auf 67 Zeilen über; bei der Filmsendung wurde die Bildwechselzahl erstmalig auf 25 Bilder/sek. erhöht, um das selbst bei den lichtschwachen Glimmlampenbildern unerträgliche Flimmern zu vermeiden. Dadurch ergab sich auch die Möglichkeit, nicht nur den Mechauprojektor, sondern auch normale Filmprojektoren für Fernseh Zwecke zu benutzen. Seit jener Zeit tastet man in der Fernsehtechnik auch die normalen Tonfilme statt mit 24 mit 25 Bildern pro Sekunde ab, wobei man die geringe Verfälschung des Tones in Kauf nimmt. Im Jahre 1930 wurde der erste Lichtstrahlabtaster an die Deutsche Reichspost zur Ablieferung gebracht und im Betrieb der Sender Berlin und Königs-Wusterhausen eingesetzt.

Die geschilderten Synchronisierungsschwierigkeiten führten dazu, die Netzfrequenz selbst zur Synchronisierung heranzuziehen. Besonders im Jahre 1931 wurden von der Fernseh Aktiengesellschaft auf



Abb. 1.

Es berührt heute seltsam, wenn man den von der Fernseh Aktiengesellschaft anlässlich der Funkausstellung 1929 herausgegebenen Prospekt über das Gerät „Fernseh 30“ (Abb. 1) durchliest. Glücklicherweise beging man trotz allem Optimismus nicht den Fehler, dem Publikum Fernsehempfänger anzubieten; allenfalls wurden in geringem Umfang Bastlereinzelteile abgegeben.

Bis Ende des Jahres 1930 wurden Empfänger nach dem geschilderten Verfahren durchgearbeitet. Einen solchen, im Mitnahmebereich automatisch synchronisierten Nipkowscheiben- bzw. Spiegelradempfänger zeigen die Abb. 2 und 3. Die Bildgröße des ersten betrug bei Lupebetrachtung etwa 6×8 cm (Originalbild 3×4 cm), die des Mattscheibenbildes des Spiegelradempfängers etwa

diesem Gebiet sehr umfangreiche Untersuchungen angestellt. Das Verfahren war bei 25 Bildwechslern nur bis zu etwa 5000 Bildpunkten (60 Zeilen) anwendbar und für eine weitere Verfeinerung der Uebertragungsnorm ungeeignet. — Das Jahr 1931 war für die Fernsehentwicklung im gewissen Sinne kritisch; denn obwohl man es auf der Bildzerlegerseite durchaus schon in der Hand hatte, höherzeitige Bilder zu erzeugen, versagten auf der Empfängerseite alle bis zu



Abb. 2.

diesem Zeitpunkt angewendeten steuerbaren Lichtquellen hinsichtlich ihrer Leuchtdichte (die Braunsche Röhre war noch nicht genügend durchentwickelt), also die Glimmlampe und die mit positiver Säule arbeitende Punktlichtglimmlampe. Da gelang es der Fernseh Aktiengesellschaft in Zusammenarbeit mit der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung (Osram) erstmalig, die Natriumdampflampe als helligkeitsgesteuertes Organ der Fernsehtechnik dienstbar

zu machen und ein 90-zeiliges Fernsehbild bei 25 Bildwechslern/sek. (Natriumdampflampe, Doppelspialochscheibe, rotierende Blende) vorzuführen. Diese hellen, wie gestochen wirkenden Bilder mit 10 800 Bildpunkten gaben der gesamten Fernsehtechnik einen neuen Auftrieb. Eine schier unüberwindliche Schranke im Kampf um die höhere Bildpunktzahl war niedrigerissen worden. Allerdings erforderte der Betrieb der Natriumdampflampe eine gewisse liebevolle Behandlung, da das Arbeiten in starkem Maße von der Temperatur der Lampe

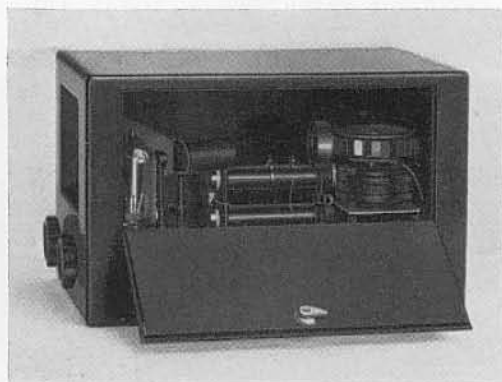


Abb. 3.

abhang. Abb. 4 zeigt die Vorderansicht eines solchen Empfängers, die Bildgröße betrug bei Lupenbetrachtung 9×12 cm.

Zu gleicher Zeit wurde ein verbesserter Lichtstrahlabtaster für 80 Zeilen und 16 Bildwechslern/sek. gebaut; die dazugehörigen mit Natriumdampflampen arbeitenden Empfänger zeigt Abb. 5 (Bildgröße ebenfalls 9×12 cm). Sogar der Versuch, einen

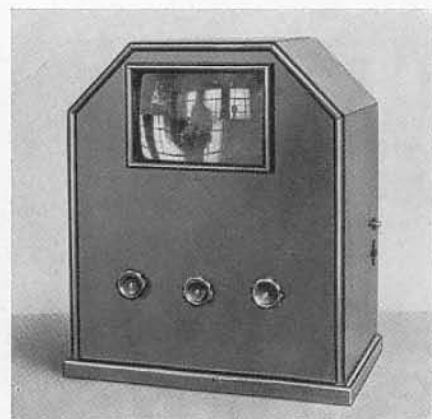


Abb. 4.

Projektionsempfänger mit Hilfe der Natriumdampflampe zu konstruieren, wurde unternommen.

Im gleichen Jahre wurde die erste Lichtstrahlabtastanlage für 60 Zeilen (4800 Bildpunkte) und 20 Bildwechsel/sek. an die E. I. A. R. in Rom geliefert und dort zur Aufstellung gebracht.

Es bedarf keiner besonderen Betonung, daß die fortschreitende Verfeinerung in der Bildauflösung umfangreiche Nebenarbeiten, z. B. was die Genauigkeit der Zerlegerscheiben usw. anbelangt, bedingte. Ebenso mußten die Verstärker entsprechend den vergrößerten Bandbreiten weiter entwickelt werden.

Auch die größten und besten bis dahin gezeigten

Empfangsbilder konnten allerdings höchstens nur von 2 bis 3 Personen betrachtet werden, da bei den verhältnismäßig kleinen Originalbildern (Briefmarkenformat)

eine stark vergrößernde Lupenbetrachtung notwendig war. Die aus dieser Zeit stammenden Empfänger zeichnen sich daher durch



Abb. 5.

riesige Linsen und komplizierte Vergrößerungsoptiken aus, siehe Abb. 4 und 5.

Da brachte im Jahre 1932 die Spiegelschraube (vorgeschlagen von Okolicsanyi) in Verbindung mit bandförmiger Glimmlampe oder stabförmiger Natriumleuchte eine bedeutende Verbesserung. Wiederum gelang es 1932 zuerst der Fernseh Aktiengesellschaft, neben 90zeiligen auch 120 zeilige Fernsehbilder — letztere speziell mit der Natriumleuchte — vorzuführen. Diese ohne

Lupenbetrachtung arbeitenden Empfänger hatten einen großen Betrachtungswinkel und konnten gleichzeitig von vielen Personen betrachtet werden. Die Bildgröße betrug 15×18 cm, Abb. 6 zeigt den Aufbau eines solchen Gerätes. Die 120 zeiligen Bilder (25 Bilder/sek., 19 200 Bildpunkte) bedeuteten rein qualitativ einen großen Fortschritt und waren um jene Zeit allen anderen Verfahren weit

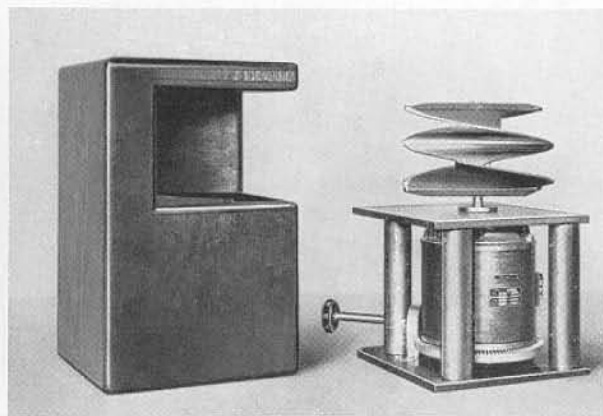


Abb. 6.

1931 zum ersten Male als Fernsehempfangsgerät gezeigt) für Empfangszwecke herangezogen worden. Der Nipkowscheibenempfänger hatte seine Rolle endgültig ausgespielt.

Für die direkte Uebertragung von Szenen stand der Fernsehtechnik bis 1932 nur die Lichtstrahlabtastmethode, die sich auf die Uebertragung von Köpfen beschränkte, zur Verfügung. Mit der Lichtstrahlabtastung war man im Jahre 1932 bis zu 90 Zeilen bei 16 $\frac{2}{3}$ Bildwechsln/sek. gelangt. Um eine Fern-

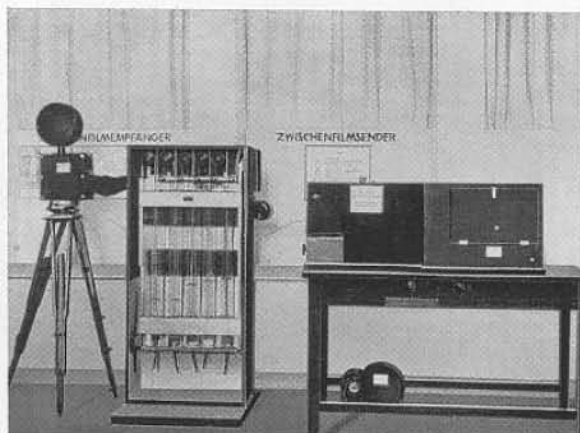


Abb. 7.

bildberichterstattung durchführen zu können, wurde von der Fernseh Aktiengesellschaft Ende 1931

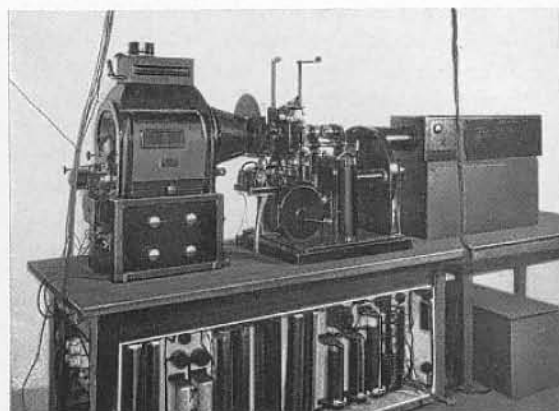


Abb. 8.

das sogenannte Zwischenfilmverfahren entwickelt und erstmalig auf der Funkausstellung 1932 in Form von Laboratoriumsgeräten vorgeführt. Die Vorführung erfolgte mit 10 800 Bildpunkten und 25 Bildwechsln/sek. Jeder Vorgang, der sich überhaupt filmen ließ, konnte auch fernsehmäßig übertragen werden, indem von der zu übertragenden Szene ein Film aufgenommen wurde, der unmittelbar im Anschluß an die Aufnahme in einem kontinuierlichen Verfahren entwickelt, fixiert, gewaschen (später auch getrocknet) und dann der Abtastapparatur zu geführt wurde. Der gesamte Prozeß zwischen Aufnahme und Abtastung dauerte nur 15 Sekunden. Die zur Abtastung gelangenden Negative waren hauchdünn; durch Anwendung der elektrischen Verstärkung konnte jedoch

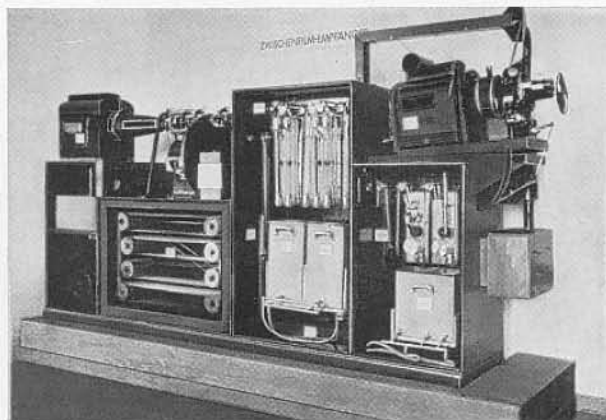


Abb. 9.

überlegen. Durch den Uebergang auf 25 Bildwechsln/sek. war das

Flimmern zwar ursprünglich beseitigt worden, doch machte sich bei Anwendung der Natriumleuchte, welche die Bildhelligkeit stark erhöhte, bereits wieder ein schwaches Flimmern der Bilder bemerkbar. — Im gleichen Jahre war von der Fernseh Aktiengesellschaft auch die Braunsche Röhre (von Manfred von Ardenne

übertragen) für Fernsehempfangszwecke herangezogen worden. Der Nipkowscheibenempfänger hatte seine Rolle endgültig ausgespielt.

Für die direkte Uebertragung von Szenen stand der Fernsehtechnik bis 1932 nur die Lichtstrahlabtastmethode, die sich auf die Uebertragung von Köpfen beschränkte, zur Verfügung. Mit der Lichtstrahlabtastung war man im Jahre 1932 bis zu 90 Zeilen bei 16 $\frac{2}{3}$ Bildwechsln/sek. gelangt. Um eine Fern-

bildberichterstattung durchführen zu können, wurde von der Fernseh Aktiengesellschaft Ende 1931 das sogenannte Zwischenfilmverfahren entwickelt und erstmalig auf der Funkausstellung 1932 in Form von Laboratoriumsgeräten vorgeführt. Die Vorführung erfolgte mit 10 800 Bildpunkten und 25 Bildwechsln/sek. Jeder Vorgang, der sich überhaupt filmen ließ, konnte auch fernsehmäßig übertragen werden, indem von der zu übertragenden Szene ein Film aufgenommen wurde, der unmittelbar im Anschluß an die Aufnahme in einem kontinuierlichen Verfahren entwickelt, fixiert, gewaschen (später auch getrocknet) und dann der Abtastapparatur zu geführt wurde. Der gesamte Prozeß zwischen Aufnahme und Abtastung dauerte nur 15 Sekunden. Die zur Abtastung gelangenden Negative waren hauchdünn; durch Anwendung der elektrischen Verstärkung konnte jedoch

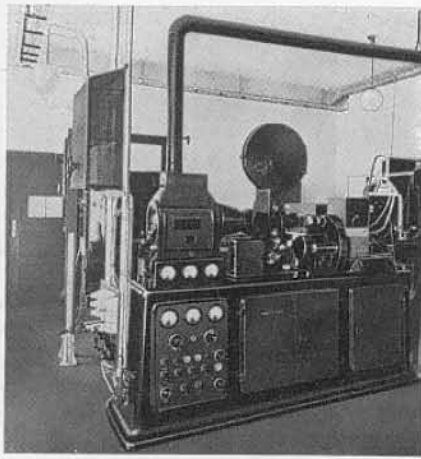


Abb. 10.

lung der mechanischen Bildzerleger-Apparaturen. Die Fernseh Aktiengesellschaft zeigte einen Filmzerleger für 180 Zeilen und 25 Bildwechsel/sek. (40 000 Bildpunkte), dessen Mehrfachspiralochscheibe mit 6000 Umdrehungen/min. in einem Vakuumgehäuse umlief. Das erste Modell zeigt Abb. 8. Auf der Empfängerseite arbeitete die Fernseh Aktiengesellschaft um diese Zeit bis zu 120 Zeilen mit der Spiegelschraube, bei 180 Zeilen mit der Kathodenstrahlröhre. Die Spiegelschraubenempfänger waren durch Einführung der Hohl-

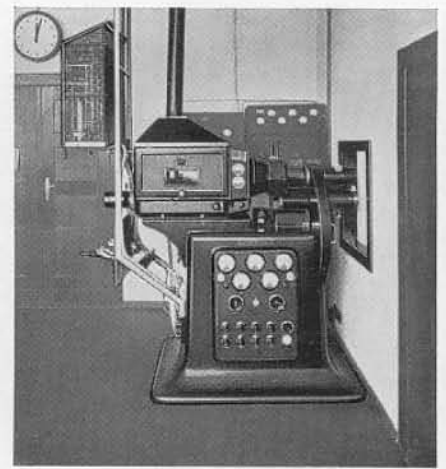


Abb. 11.

spiegelschraube weitgehend verbessert worden, denn die angewandten Natriumleuchten konnten dadurch stark verkürzt und betriebsmäßig vereinfacht werden.

Auf dem Gebiet der Kathodenstrahlröhre verließ die Fernseh Aktiengesellschaft als erste Firma die bis zu diesem Zeitpunkt allgemein benutzte gasgefüllte Braunsche Röhre und sicherte sich das große Verdienst, zum ersten Mal auf der Empfangsseite eine Hochvakuum-Kathodenstrahlröhre eingeführt zu haben. Damit wurde das bis dahin große Sorgen verursachende Helligkeitssteuerungsproblem und ebenso auch die Lebensdauerfrage der Kathode zufriedenstellend gelöst. Die Schirmbildgröße betrug 15×18 cm (31 cm Schirmdurchmesser), die Bildqualität war sehr gut.

War bis zu diesem Zeitpunkt das Problem der Uebertragung von Szenen und Freilichtaufnahmen durch die Anwendung des Zwischenfilmverfahrens wenigstens vorläufig gelöst, so bereitete die Erzeugung von Fernseh-Großbildern noch die größten Schwierigkeiten. Es lag nahe, das Zwischenfilmverfahren auch für die Großprojektion anzuwenden. So wurde auf der Funkausstellung 1933 von der Fernseh Aktiengesellschaft ein sogenannter kontinuierlich arbeitender Zwischenfilm - Großprojektionsempfänger im Betriebe vorgeführt, der in technischer Hinsicht nicht mehr und nicht weniger als die Vereinigung einer Filmfabrik, einer Kopieranstalt und eines komplizierten Fernsehempfängers darstellt. Dabei spielten sich alle Vorgänge auf einer endlosen, ca. 70 m langen Blankfilmschleife ab. Guß der Emulsion, Trocknung derselben, Aufzeichnung des Bildes mit Lochscheibe und Kerrzelle, alle photographischen Prozesse, Trocknung, Projektion, Abwaschen, Trocknung und wieder Guß wiederholen sich in unaufhörlichem Rhythmus etwa 6 bis 7 Stunden lang mit der gleichen Blankfilmschleife. — Daß diese Apparatur überhaupt in einem dauernden Betrieb auf einer Ausstellung öffentlich vorgeführt werden konnte, mutet heute wie ein Wunder an. Sie befindet sich nach Erfüllung ihrer Aufgabe heute im Deutschen Museum in München (Abb. 9). — Am 1. April des Jahres 1934 beginnt die Deutsche Reichspost mit drahtlosen Fernsehvorführungen nach einer neueren Norm, und zwar mit 180 Zeilen bei 25 Bildwechsel/sek. auf Ultrakurzwellen. Das zur Uebertragung erforderliche Frequenzband beträgt rund 500 000 Hz. Rundfunksender kommen für Fernsehzwecke schon lange nicht mehr in Betracht. Fernsehtechnik und UKW-Technik sind unlösbar miteinander verknüpft, besonders die UKW-

Technik wird durch diese sehr weitgehend gefördert.

Für die neue Norm baute die Fernseh Aktiengesellschaft sowohl Lichtstrahlabtaster als auch Filmbildzerleger in einer für den Betrieb geeigneten Form. Diese Apparaturen wurden nach der Funkausstellung 1934 im Senderraum der Reichspost in Witzleben aufgestellt. Abb. 10 zeigt den Filmsender, Abb. 11 den Lichtstrahlabtaster am Aufstellungsort. Zum Empfang werden nur noch Hochvakuum - Kathodenstrahlröhren verwendet, wieweil die Empfänger nach heutigen Begriffen noch ziemliche Ungetüme waren. Als weiterer Fortschritt gelingt der Fernseh Aktiengesellschaft zum ersten Mal der Bau von Empfängern mit einer Braunschen Röhre von 40 cm Schirmdurchmesser. Die damit vorgeführten Bilder waren bei einer

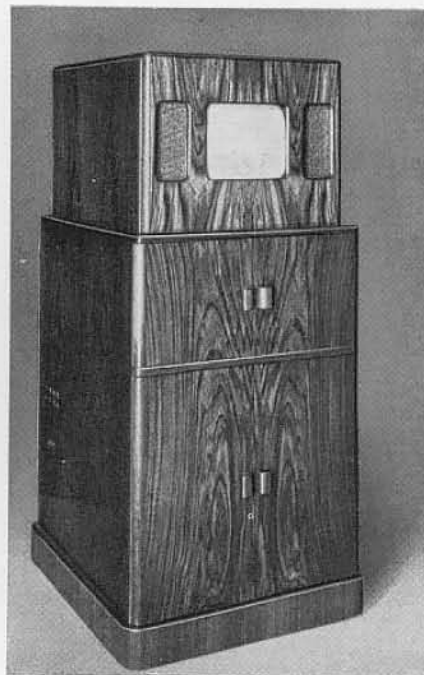


Abb. 12.



Abb. 13.

Bildgröße von 24×30 cm die größten bis dahin gezeigten Fernsehbilder. Die Empfänger ent-



Abb. 14.

hielten die zugehörigen Kippgeräte, das Anodenspannungsgerät sowie den UKW-Teil. Abb. 12 zeigt einen solchen Empfänger.

Die Weiterentwicklung des Zwischenfilmaufnahmeverfahrens hatte zum Bau eines Aufnahmewagens geführt, der an die RRG geliefert und von dieser auf der Funkausstellung 1934 öffentlich im Betriebe vorgeführt wurde (siehe Abb. 13). Auch der kontinuierlich arbeitende Zwischenfilm-Großprojektionsempfänger wurde auf die neue Norm umgestellt und zum letzten Mal öffentlich vorgeführt.

Trotz der neuen Norm aber geht der Kampf um die Verfeinerung der Bildaufresterung weiter, und im Jahre 1935 liegt die Fernseh Aktiengesellschaft mit einem Filmabtastgerät mechanischer Bauart für 320 bzw. 360 Zeilen bei 25 Bildwechsell/sek. wiederum in Führung. Die Bilder, welche mit dieser Apparatur (siehe Abb. 14) erzeugt wurden, waren von einer bis dahin noch nicht dagewesenen Auflösung und Klarheit. Es braucht nicht besonders erwähnt zu werden, welche umfangreichen Arbeiten speziell bei der Herstellung der Zerlegerorgane notwendig waren, um dieses Ergebnis zu erzielen. Große Fortschritte macht der Empfängerbau. Das Empfängermodell für den drahtlosen Empfang der 180-Zeilensendung, welches 1935 von der Fernseh Aktiengesellschaft herausgebracht wird, ist bereits ein Tichempfänger, wengleich das Gewicht nach heutigen Begriffen noch hoch ist. Die Bildgröße beträgt 19×23 cm (siehe Abb. 15), sehr störend aber wirkt das wieder auftretende Flimmern der hellen Bilder.

Bei Einführung der 180 Zeilenorm war gleichzeitig ein drahtloses Synchronisierverfahren eingeführt worden, bei welchem die Synchronisiersignale schwärzer als schwarz am Ende jeder Zeile und am Ende jedes Bildes gegeben wurden. Dadurch war man aller früheren Schwierigkeiten der Synchronisierung enthoben, da das Synchronisiersignal völlig unabhängig vom Bildinhalt war. Das Großbildproblem mußte zwar auch im Jahre 1935 noch mit Hilfe des Zwischenfilmverfahrens gelöst werden. Man war jedoch wegen des erforderlichen Filmverbrauchs zu Schmalfilm übergegangen. Eine letzte für betriebsmäßige Zwecke (Fernsehstube Turmstraße) gebaute Apparatur nach diesem Verfahren zeigt Abb. 16. Das kontinuierliche Verfahren hatte man wegen der großen betrieblichen Schwierigkeiten schon früher völlig fallen lassen.

Schon während des Jahres 1935 hatte die Fernseh Aktiengesellschaft eingehende Untersuchungen mit dem von Weiß angegebenen Sekundärelektronenverstärker angestellt. Das Prinzip des Sekundärelektronenverstärkers wurde zunächst auf Photozellen, bald aber auch auf die im Prinzip von Farnsworth angegebene Sondenröhre (Dissektorröhre) angewendet. Die Verbesserung der Photozellen befruchtete vor allem die mechanischen Zerlegerapparaturen, deren Anwendungsbereich sich sprunghaft erweiterte. Die Sondenröhre in Verbindung mit dem Sekundärelektronen - Vervielfacher gestattete erstmalig, Außenszenen ohne Anwendung des Zwischenfilms zu übertragen. All diese Verbesse-

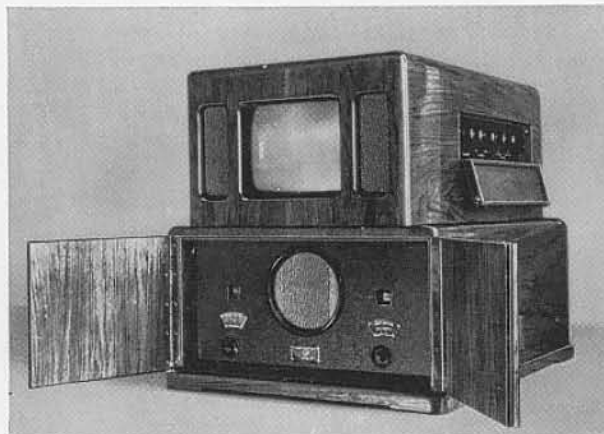


Abb. 15.

runger wirkten sich im Jahre 1936 zum ersten Male praktisch in größerem Maßstab aus. — Am 1. März 1936 wurde der erste öffentliche Fernsehsprechverkehr der Welt zwischen Berlin und Leipzig über ein 600 km langes Breitbandkabel feierlich eröffnet (180 Zeilen, 25 Bildwechsell/sek.). Sowohl in Berlin als auch in Leipzig wurden zwei Stationen dem Betrieb übergeben, die wahlweise unterein-

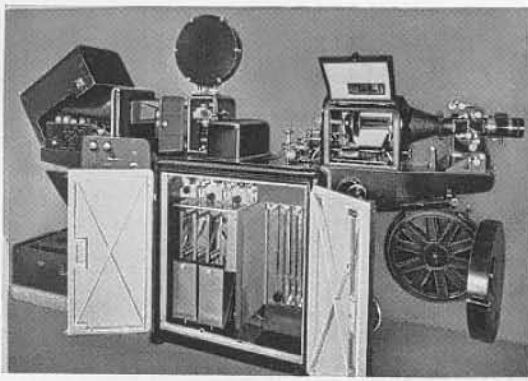


Abb. 16.

ander verkehren konnten. Am Ausbau des deutschen Fernsehsprechdienstes ist die Fernseh Aktiengesellschaft durch Lieferung von nach dem Lichtstrahlabtastprinzip in Verbindung mit Sekundärelektronenphotozellen arbeitenden Anlagen von Anfang

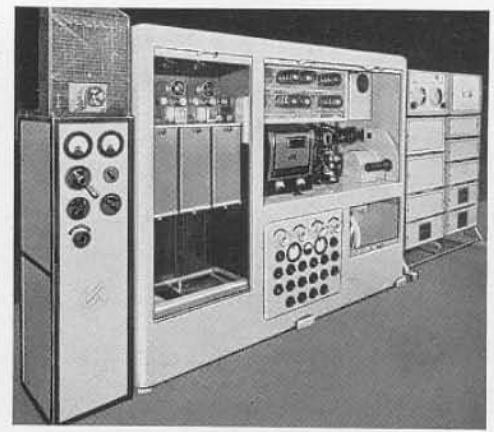


Abb. 17.

an führend beteiligt. — Anlässlich der im gleichen Jahre stattfindenden Olympiade hatte das Fernsehen in seiner ersten öffentlichen Anwendung die Feuertaupe zu bestehen. Zur Uebertragung der Spiele wurde neben anderen Geräten ein neu von der Fernseh Aktiengesellschaft gebauter Zwischenfilmwagen eingesetzt (die Wageneinbauten zeigt Abb. 17), der sich sehr gut bewährte und es gestattete, allen Besuchern der zu diesem Zweck innerhalb Groß-Berlins an zahlreichen Stellen eingerichteten Fernsehstuben einen unmittelbaren Eindruck von den Wettkämpfen sowohl tagsüber als auch in den Abendsendungen zu vermitteln. Gleichzeitig verwendete jedoch die Fernseh Aktiengesellschaft zum ersten Male im Wettstreit mit dem Zwischenfilmprinzip die neu entwickelte Aufnahmekamera mit Sondenröhre, die bei 180 Zeilen und 25 Bildwechsell/sek. ausgezeichnete Bilder lieferte. Abb. 18 zeigt die Kamera bei den Uebertragungen von der Dietrich-Eckart-Bühne. Bei dieser Gelegenheit wurden auch von der Fernseh Aktiengesellschaft erstmalig für Fernsehgeräte leicht transportable Verstärkereinheiten angewendet, die es ermöglichten, auch einen Platzwechsel der Apparatur auf Wunsch verhältnismäßig leicht vorzunehmen. Es erübrigt sich zu erwähnen, daß sowohl die Elektronen- als auch die Zwischenfilmaufnahmekamera mit den verschiedensten Objektiven bis zum Teleobjektiv ausgerüstet waren. Obwohl man die Uebertragungen mit der Farnsworth-Kamera als durchaus gelungen bezeichnen mußte, erkannte man doch gleichzeitig, daß dieses Gerät bei Anwendung höherer Zeilenzahlen den gestellten Anforderungen nicht mehr genügen konnte.

Bei der grundsätzlichen Einstellung der Fernseh Aktiengesellschaft, die Fernsehentwicklung auf möglichst breiter Grundlage durchzuführen, darf es daher nicht wundernehmen, daß gleichzeitig auch in aller Stille die Entwicklung von Bildspeicherröhren (Ikonoskop) mit großem Eifer in Angriff genommen wurde. Die bald erzielten Erfolge machen es erklärlich, daß das Zwischenfilmverfahren, obzwar es vielleicht im Jahre 1936 bei den Direktübertragungen qualitativ noch an der Spitze lag, in seiner bisherigen Form weichen mußte und für Sonderzwecke wie Schnellbildberichterstattung usw. abgeändert wurde.



Abb. 18.

Durch Anwendung der Sekundärelektronenphotozelle in Verbindung mit der von der Fernseh Aktiengesellschaft stets gepflegten mechanischen Bildzerlegung gelang es im gleichen Jahre, auf der Funkausstellung ein 375 Zeilenbild, und zwar in Verbindung mit dem inzwischen neu aufgekommenen Zeilensprungverfahren vorzuführen. Hinsichtlich des äußeren Aufbaues ähnelt die Apparatur derjenigen für 320 bzw. für 360 Zeilen. Das Empfangsbild jedoch war nach dem neuen Verfahren auch bei großer Helligkeit vollkommen flimmerfrei und wirkte dadurch auf den Beschauer, abgesehen von seiner hohen Bildauflösung, besonders ruhig und klar. Schon diese ersten Vorführungen bewiesen, daß sich ganz abgesehen von der geringen Bildauflösung die bisherige Norm auch hinsichtlich der Bildwechselzahl nicht aufrechterhalten lassen würde.

Der normale Fernsehempfänger des Jahres 1936 war



Abb. 19.



Abb. 20.

ein gut durchentwickeltes Modell mit einer Braunschen Röhre, deren Schirmdurchmesser bei 20×23 cm Bildausschnitt 30 cm betrug (siehe Abb. 19). Der Fortschritt gegenüber den früheren Empfängern (siehe Abb. 12) ist unverkennbar. Hatte früher die Fernseh Aktiengesellschaft schon als erste Firma eine Braunsche Röhre mit 40 cm Schirmdurchmesser entwickelt, so gelang es ihr in diesem Jahre erstmalig, einen Empfänger mit einer Braunschen Röhre, deren Schirmdurchmesser 50 cm betrug, zu zeigen (siehe Abb. 20). Die Bildgröße betrug bei dieser Riesenröhre 31×36 cm. Der Empfänger wurde zur Wiedergabe der neuen flimmerfreien 375 Zeilenbilder eingesetzt. Auch auf dem Gebiet der Herstellung von Braunschen Röhren wirkte so die Fernseh Aktiengesellschaft bahnbrechend.

Erwähnt soll noch werden, daß die Fernseh Aktiengesellschaft schon 1936 — wenn auch mit verhältnismäßig bescheidener Qualität — ein Großprojektionsbild von $1 \times 1,20$ m bei 180 Zeilen und 25 Bildwechseln/sek. zeigte, welches mit Hilfe einer Kathodenstrahl-Projektionsröhre erzeugt wurde. Auch auf dem Gebiet der Großprojektionstechnik zieht damit ein neues Zeitalter herauf und das Zwischenfilmverfahren stirbt auf der Empfangsseite völlig aus. Ein stark verbessertes Großprojektionsgerät mit Kathodenstrahl-Projektionsröhre (Bildgröße $1 \times 1,2$ m) betrieben, wurde dann bereits Anfang des Jahres 1937 von der Fernseh Aktiengesellschaft in der Fernsehstube des RPM aufgestellt.

Trotz aller Fortschritte in der Verfeinerung der Bildauflösung war noch nicht abzusehen, wie eine neue Norm beschaffen sein sollte.

Das Jahr 1937 bringt hinsichtlich der neu festzulegenden Fernsehübertragungsnorm die endgültige Klärung. Der Herr Reichspostminister verkündet wenige Wochen vor der Funkausstellung des Jahres 1937, am 15. Juni, die Einführung des 441 Zeilenbildes nach dem Zeilensprungverfahren. Die Bildauflösung beträgt etwa 230 000 Bildpunkte, das zur Uebertragung erforderliche Frequenzband mindestens 2 MHz. Damit hat der Kampf um die bessere Bildauflösung und das flimmerfreie Bild vorläufig seinen Abschluß gefunden. Die Hauptschwierigkeiten, die einer weiteren Verfeinerung der Bilder entgegenstehen, liegen heute beim Sender und beim Kabel. Trotzdem kann man sagen, daß die Verbesserungsmöglichkeiten innerhalb der heute gegebenen Norm in jeder Hinsicht noch so groß sind, daß dieselbe für lange Jahre vollständig ausreichend sein dürfte. Entspricht doch eine Bildauflösung in 230 000 Bildpunkten bereits bei sonst fehlerfreier Uebertragung der Qualität einer Heimkinoprojektion.

Die Funkausstellung 1937 steht bereits ganz im Zeichen der neuen Norm. Für die Uebertragung von Freilichtszenen ist die Kamera mit Sondenröhre aus dem

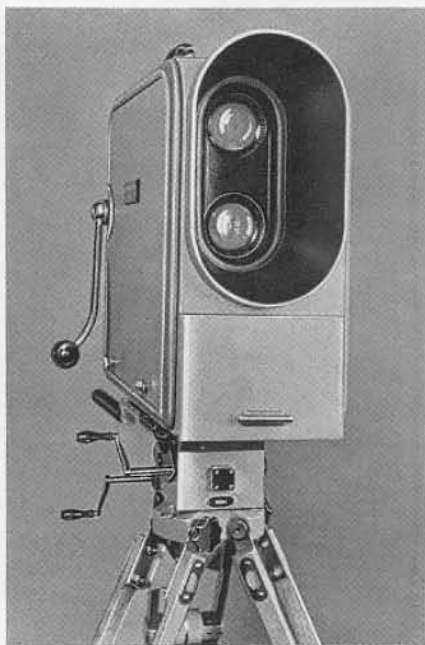


Abb. 21.

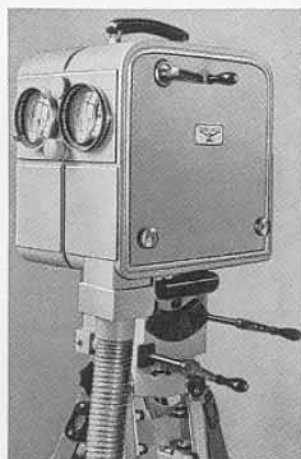


Abb. 22.

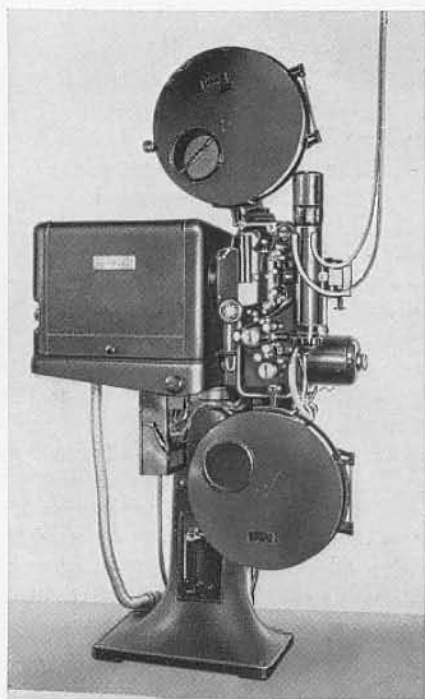


Abb. 23.

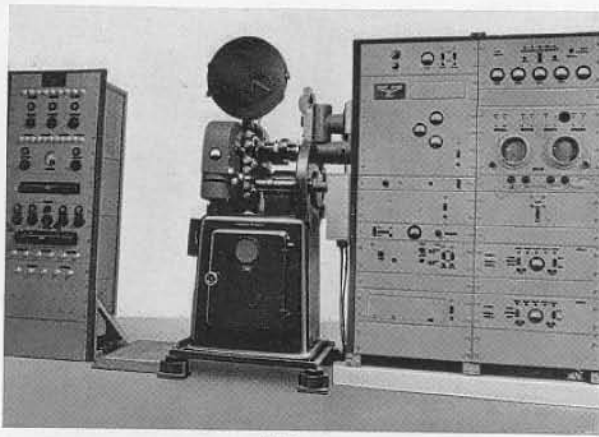


Abb. 24.

legerapparatur mit Sondenröhre. Auch der mechanische Filmzerleger war für die neue Norm umgebaut worden. Die Bildzerlegerscheibe lief wie bisher im Vakuum, jedoch mit 10 500 Umdrehungen/min, um. Der Aufbau war sehr gedrängt, die optischen Verhältnisse weitgehend verbessert. Abb. 24 vermittelt einen Eindruck der damaligen Konstruktion. Hinsichtlich der sowohl bei der Sondenröhre als auch mechanisch arbeitenden Filmzerleger in Verbindung mit dem Zeilensprungverfahren angewendeten neuartigen Abtastmethoden sei auf die Spezialveröffentlichungen verwiesen. Daß eine ungeheure Kleinarbeit notwendig war, um diese Erfolge zu erzielen, braucht nicht besonders erwähnt zu werden. Der Vollständigkeit halber bringt Abb. 25 eine Sondenröhre, Abb. 26 eine Bildspeicher- röhre aus dieser Zeit. Die vorggeführten 441-Einkanal auf Sender oder auf Fernsehdrahtfunk übertragen.

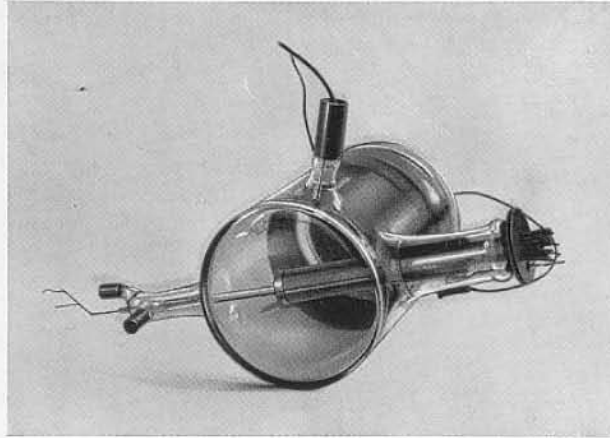


Abb. 25.

Bei allen mit Braunscher Röhre arbeitenden Empfängern war bisher das Bild direkt auf dem Schirm des Braunschen Rohres betrachtet worden. Die Schirmfläche mußte also immer größer als die ausgenutzte Bildfläche sein, und so war die Entwicklung bis zu Röhren von 50 cm Schirmdurchmesser vorangeschritten, doch wurden damit die Empfangsgeräte wie Abb. 27 zeigt im Verhältnis zur Bildgröße außerordentlich umfangreich. Aus diesem Grunde versuchte die Fernseh Aktiengesellschaft bereits frühzeitig, das Projektionsprinzip auch für den Heimempfänger anzuwenden. So entstand ein Gerät nach Abb. 28, bei welchem das Bild nicht auf dem Schirm der Braunschen Röhre, sondern mit Hilfe einer kleinen Projektionsröhre in Verbindung mit der passenden Optik auf einer Mattscheibe entstand. Die Bildgröße betrug dabei 37×45 cm, wobei das gesamte Gerät wesentlich kleiner als die bis dahin üblichen Empfänger mit Direktbetrachtung waren. Die Mattscheibe konnte im Betriebszustand aus dem Gerät herausgeklappt werden. Allerdings waren die so erzeugten Bilder bedeutend lichtschwächer und im Verhältnis zu den direkt auf dem Schirm betrachteten Bildern noch ziemlich unbefriedigend.

Dagegen erregte die Vorführung einer Großprojektion von 4 m² Größe sowohl im In- als auch Ausland großes Aufsehen. Diese von der Fernseh

Wettbewerb endgültig ausgeschieden, die Speicher- röhre beherrscht endgültig das Feld.

Die von der Fernseh Aktiengesellschaft in außerordentlich kurzer Zeit entwickelten Bildspeicher- röhren waren sehr leistungsfähig und zeichneten sich durch große Bildschärfe und hohe Empfindlichkeit aus. Abb. 21 und 22 zeigen zwei Typen von Bild- speicher kameras, die auf der Funkausstellung im Be- trieb vorgeführt wurden. Die Sondenröhre (Farn- worth), die ebenfalls weitgehend verbessert worden war, behauptete sich für die Filmbildzerlegung und gestattete außerordentlich leichte und einfache Film- bildzerleger zu konstruieren. Diese traten in starken Wettbewerb mit den nach dem mechanischen Prinzip arbeitenden Apparaturen. Beide Systeme bestehen heute völlig gleichwertig nebeneinander. Abb. 23 zeigt die erste betriebsmäßig ausgeführte Filmzer-

Zeilenapparaturen, in erster Linie eine Bild- speicher kamera und ein mit Sondenröhre arbei- tender Filmbildzerleger, arbeiteten auf eine kom- plette Mischeinrichtung, die erstmalig allen Be- suchern der Ausstellung den Eindruck einer be- triebsmäßigen Studio- apparatur in allen Ein- zelheiten vermittelte. Die von den verschie- denen Bildgebern kommen- den Bilder wurden in dem Mischpult niederfre- quent gemischt und im

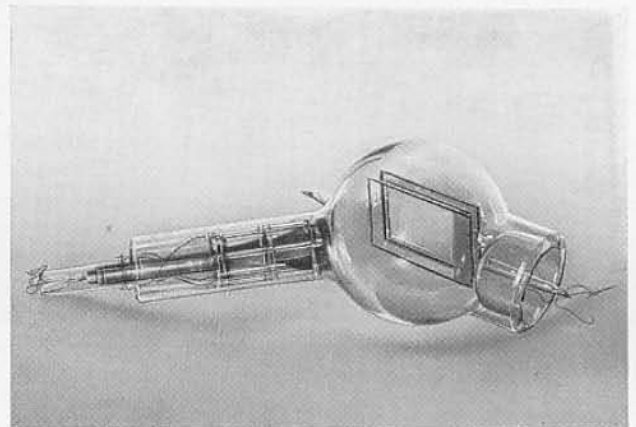


Abb. 26.

Aktiengesellschaft im Jahre 1937 zeigte Großbild dürfte seinerzeit hinsichtlich aller Details und auch der Gradation die beste Fernseh-Großbildwiedergabe der Welt gewesen sein. Auch auf diesem Gebiet gelang es von nun an der Fernseh Aktiengesellschaft, bahnbrechend zu wirken und auch bei der weiteren Entwicklung die Spitze zu halten. Nur der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß auch ein Fernsehempfänger, kombiniert mit Rundfunkempfang und elektrischem Plattenspieler, vorgeführt wurde, aber nur um die Möglichkeiten auf diesem Gebiet vor Augen zu führen.

Ein besonders leichtes Zwischenfilmgerät für Aufnahmezwecke, enthaltend Kamera, Schnellentwicklung, Trocknung des Filmes und Abtastung desselben mit Hilfe eines Sondenrohres alles zusammengebaut und geeignet über Kabel einkanalmäßig direkt auf Sender zu arbeiten, wurde als letzte Entwicklungsstufe des abklingenden Zwischenfilmverfahrens ebenfalls noch einmal gezeigt.

Bedeutete das Jahr 1937 rein äußerlich einen Umbruch in der gesamten Fernsehtechnik, so wurde auf Grund der im Jahre 1938 festgelegten Norm intensivste Kleinarbeit geleistet, um alle Voraussetzungen für eine praktische Einführung des Fernsehens zu erfüllen. Die von der Fernseh Aktiengesellschaft 1937 gebauten Betriebsapparaturen wurden noch im Herbst dieses Jahres in das am Adolf-Hitler-Platz gelegene Fernsehhaus für die Versuchssendungen der Deutschen Reichspost eingebaut. An den im Anfang des Jahres 1938 durchgeführten Arbeiten zur Festlegung der endgültigen Einkanalsynchronisiernorm war die Fernseh Aktiengesellschaft ebenfalls beteiligt. Nach Festlegung dieser Norm waren die letzten Unsicherheiten beseitigt und es konnte zum Bau endgültiger Apparaturen geschritten werden. — Auf dem Gebiete der Bildspeicherröhre, der Bildsondenröhre, der Photozelle, der Projektionsröhre für Großbildwiedergabe usw. werden weiterhin große Fortschritte erzielt. Die Verkleinerung der Bildspeicherröhre z. B. wird durch Abb. 29 recht sinnfällig vor Augen geführt, welche die Ausführung des Jahres 1938 der des Jahres 1937 gegenüber-

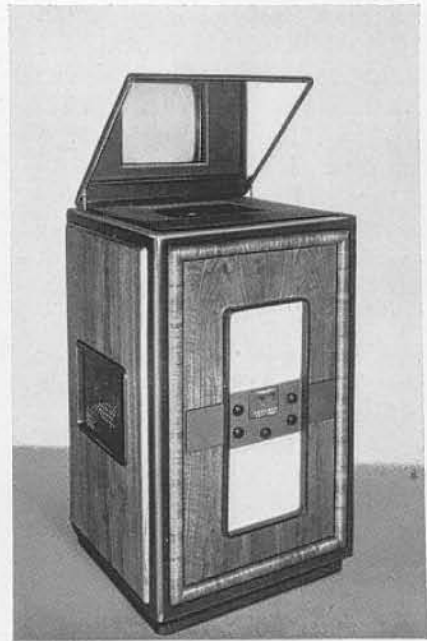


Abb. 27.

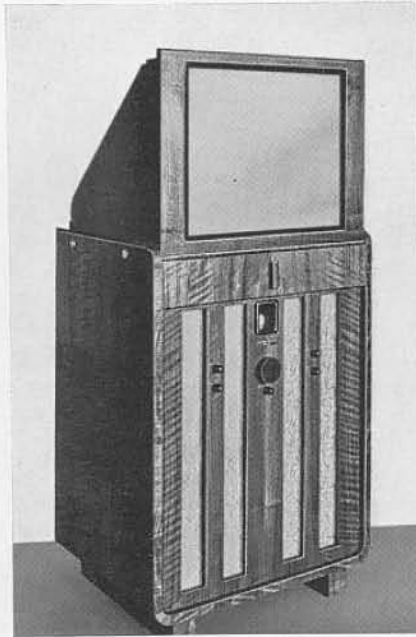


Abb. 28.

stellt. — Auf der Funkausstellung 1938 sind auf der Bildaufnahme Seite sicher und einwandfrei arbeitende Bildspeicherkameras vorhanden, die im Bühnenprogrammtrieb täglich viele Stunden dem Publikum vorgeführt wurden. Sowohl mechanisch als auch mit der Sondenröhre arbeitende Filmbildzerleger wetteifern weiter hinsichtlich der erzielten Bildqualität. In Verbindung mit dem mechanischen Filmbildzerleger wird als Universalapparatur ein Lichtstrahlabtaster für 441 Zeilen, den zu bauen bisher nicht möglich war, und ein Diapositivsender gezeigt. Die Herstellung der Abtastscheiben ist eine Spezialtechnik für sich geworden. — Ganz nebenher ist hinsichtlich der Ent-

wicklung der Verstärkeranlagen in konstruktiver Kleinarbeit ebenfalls Beachtliches geleistet worden. Es sind zwei Grundtypen von Verstärkern mit gleichen Chassiseinheiten entwickelt worden, eine tragbare und eine ortsfeste. Der Aufbau aller Schaltelemente erfolgt übersichtlich, die Verkabelung ist zweckmäßig angeordnet, es ist keine Ähnlichkeit mehr zwischen den Verstärkeranlagen des Jahres 1930 und denen des Jahres 1938 vorhanden.

Auf dem Gebiet der Großprojektion wird ein weiterer wesentlicher Fortschritt erzielt. Zum ersten Mal in der Geschichte der Fernsehtechnik zeigt die Fernseh Aktiengesellschaft einen Linsenrasterschirm, der wirklich den größten Teil des von der Projektionswand zurückgestrahlten Lichtes für die Zuschauer nutzbar macht, in Verbindung

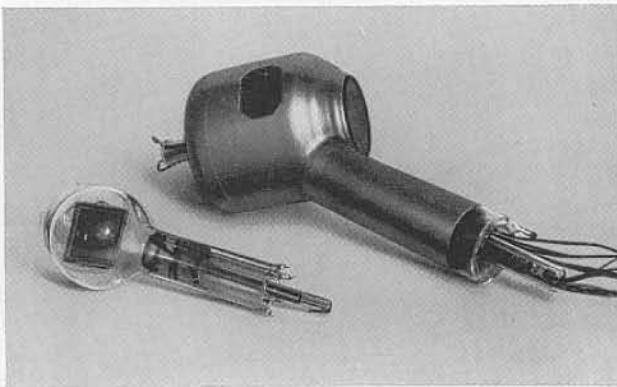


Abb. 29.

mit einem Großprojektor, der mit 60—80 kV betrieben wird und Bilder von über 10 m² Fläche liefert. Die mit diesem Gerät erzeugten Bilder fanden hinsichtlich ihrer Helligkeit und Schärfe allgemeine Bewunderung und sind bis heute unübertroffen. Abb. 30 zeigt außerdem einen kleineren betriebsmäßigen Großbildempfänger, der mit 30 kV und normalem Schirm arbeitet und lichtstarke Bilder von etwa 2 m Breite liefert.

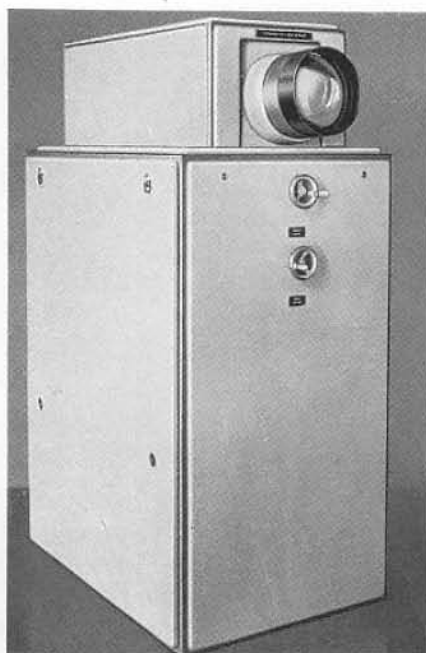


Abb. 30.

Auf dem Empfängergebiet zeigt die Fernseh Aktiengesellschaft neben dem normalen Standempfänger, ausgerüstet mit einer Braunschen Röhre von 40 cm Schirmdurchmesser (Außenabmessungen: Höhe 108 cm, Breite 67 cm, Tiefe 53 cm) kombiniert mit Rundfunk den ersten wirklich brauchbaren Kleinempfänger für den Laien schwierige Einstellen der sogenannten Grundhelligkeit im richtigen Verhältnis zur Bildamplitude fiel bei diesem Kleinstgerät weg.

Trotz dieser großen Fortschritte des Empfängers mit direkt betrachtetem Bild war auch die Entwicklung des Heimempfängers weitergeführt worden. Von Anwendung einer Mattscheibe hatte man völlig Abstand genommen. Der neue Heimempfänger arbeitete mit einer echten Projektion. Die Höhe des Empfängers (Abb. 39) betrug lediglich 95 cm, seine Breite 60 cm, die Tiefe 55 cm. Dabei wurde ein Bild von 42×36 cm erzielt. Im übrigen gestattete der Empfänger ebenfalls Fernsehempfang mit UKW-Ton, UKW-Ton allein, Ortssender und Deutschlandsender auf festabgestimmter Welle zu empfangen.

Das Zwischenfilmverfahren hatte inzwischen eine große Wandlung erfahren. Entsprechend den Anforderungen der Fernsehprogrammgestaltung war man dazu übergegangen, das ganze Verfahren in die einzelnen Arbeitsabschnitte aufzulösen. Die Kamera (wie bislang für Halbformat) wurde nicht mehr mit der Schnellentwicklungs- und Trocknungseinrichtung kombiniert, sondern war als Spiegelreflexkamera mit Objektivrevolverkopf (4 Objektive bis zu 300 mm Brennweite) gleichzeitiger Blenden- und Scharfeinstellung aller Objektive und besonderer Ueberblendeneinrichtung beim Objektivwechsel gebaut worden. Ebenso war der Bildzerleger eine vollkommen getrennte Apparatur.

Abb. 34 zeigt die Kamera, Abb. 35 das zugehörige Schnellentwicklungsgerät. Mit Hilfe solcher Geräte ist es möglich, den Redaktionsschluß der Schnellberichterstattung bis dicht an den Sendezeitpunkt heranzuschieben.

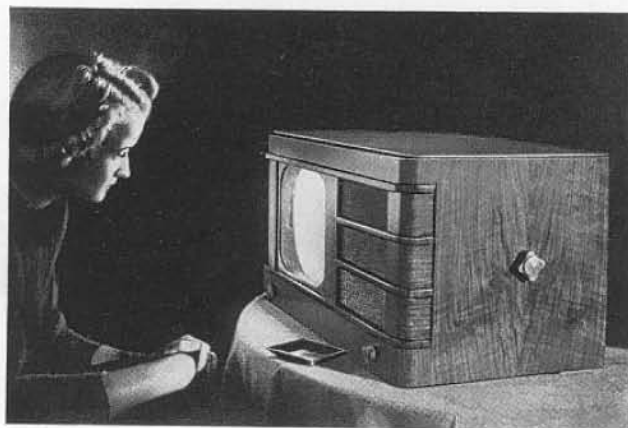


Abb. 31.

Der Fernsprechdienst ist bis heute bei der ursprünglichen Norm von 180 Zeilen und 25 Bildwechsell/sek. geblieben. Im Jahre 1938 baute die Fernseh Aktiengesellschaft versuchsweise noch einmal eine besonders

mit einer Bildgröße von 20×23 cm, welcher nur 58×36×35 cm mißt (Abb. 31). Dieser Empfänger, der mit einer außergewöhnlich kurzen Braunschen Röhre arbeitete, sollte auf die ganze Empfängerentwicklung bahnbrechend wirken. Abb. 32 zeigt den Fortschritt im Braunschen Röhrenbau bei gleicher Empfangsbildgröße (20×23 cm) vom Jahre 1937 zum Jahre 1938. Das Gerät konnte im übrigen in der gleichen Größe auch mit Rundfunk kombiniert gebaut werden. Es enthielt außer dem Wellenschalter, der Fernsehempfang mit UKW-Tonempfang, UKW-Tonempfang allein, Ortssender und Deutschlandsender mit Festabstimmung zu empfangen gestattete, lediglich 2 einfache Bedienungsknöpfe, einen für Bild und einen für Ton. Das



Abb. 32.

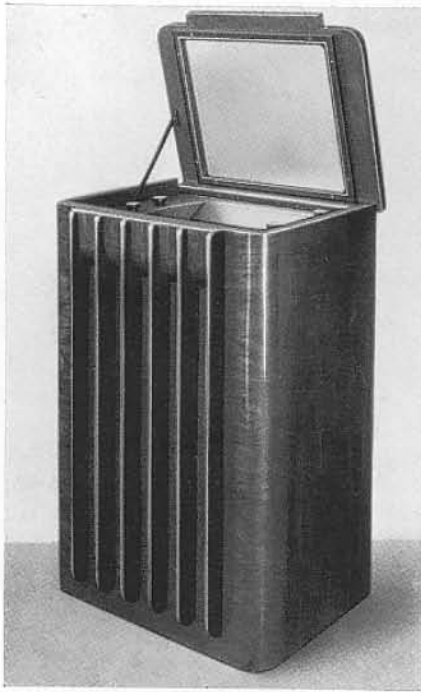


Abb. 33.

kleine Anlage mechanischer Bauweise (Abb. 36) für 150 Zeilen und 50 Bildwechsel/sek., um wenigstens flimmerfreie Bilder bei Anwendung der bisherigen Verstärker- und Kabeleinrichtungen (rund 500 000 Hz Frequenzbandbreite) übertragen zu können. Da es sich nur um die Uebertragung von Köpfen handelt, kann man zwar mit dieser Norm ausgezeichnete Uebertragungen erzielen, doch ist wohl die Zeit nicht mehr allzufern, da man auch für das Fernsprechen die endgültige Norm mit 441 Zeilen nach dem Zeilensprungverfahren einführen wird. Dafür spricht schon der wahrscheinlich in Kürze zu erwartende

Wunsch, das gesamte Fernsprechnetz für Programmzwecke bei Zeitdienstsendungen mit einsetzen zu können. Aus dem gleichen Grunde wird man wohl fordern müssen, mit den gleichen Einrich-

tungen nicht nur Fernsprechen, sondern auch die Uebertragung ganzer Szenen durchführen zu können. Die Fernsprechstationen könnten solcherart ohne besondere Nebenkosten ein Netz von Außen- aufnahmestellen für die Fernsehprogrammsendungen bilden.

So ist das Jahr 1939, das zehnte Arbeitsjahr der Fernseh Aktiengesellschaft im Wirbel sich überschlagender Entwicklungsarbeit herangekommen, und wir stehen in Deutschland am Vorabend der Einführung des Fernseh Rundfunks. Die in zäher Arbeit in den Laboratorien geschaffenen Apparaturen werden zum ersten Mal regelmäßig im Dienst der großen Oeffentlichkeit arbeiten und nunmehr ihre Lebensfähigkeit beweisen müssen. Trotzdem ist die wissenschaftliche Forschungsarbeit bei weitem noch nicht abgeschlossen. Alle bisherigen Erfahrungen haben aber gezeigt, daß es verfehlt wäre, eine Technik allzulange im Laboratorium zurückzuhalten. Sobald ein gewisser Stand erreicht ist, muß sie unbedingt der Oeffentlichkeit übergeben werden, um die weitere Entwicklung auf die Anforderungen des Betriebes abstimmen und in beschleunigtem Tempo vorwärts treiben zu können. So wird, wie sich schon heute übersehen läßt, auch das Jahr 1939 große Fortschritte bringen, doch wäre es augenblicklich verfrüht, hier darauf einzugehen.

Bei der ungeheuren Fülle des Stoffes ist es schwer, auf so knappem Raum eine umfassende Darstellung aller geleisteten Entwicklungsarbeit zu geben und allen Tatsachen voll und ganz gerecht zu werden. Der Aufsatz soll keine Geschichte des Fernsehens sein, sondern nur einen Ueberblick darüber geben, was die Fernseh Aktiengesellschaft ihrerseits in 10 Jahren zur Entwicklung des Fernsehens in Deutschland beigetragen hat; er soll aber gleichzeitig eine Würdigung der Verdienste unserer Mitarbeiter sein, denen wir für ihre aufopferungsvolle und kameradschaftliche Mitarbeit auch an dieser Stelle nochmals herzlich danken. — Wir wissen, daß die gesamte Fernseh-

technik heute trotz der geleisteten Entwicklungsarbeit noch am Anfang steht, daß wir heute eben erst die grundlegenden Methoden und die Verfahren geklärt und festgelegt haben und daß noch viel Arbeit auf uns wartet. Aber eins ist gewiß, aus einer physikalischen Spielerei ist eine Technik geworden und diese marschiert.

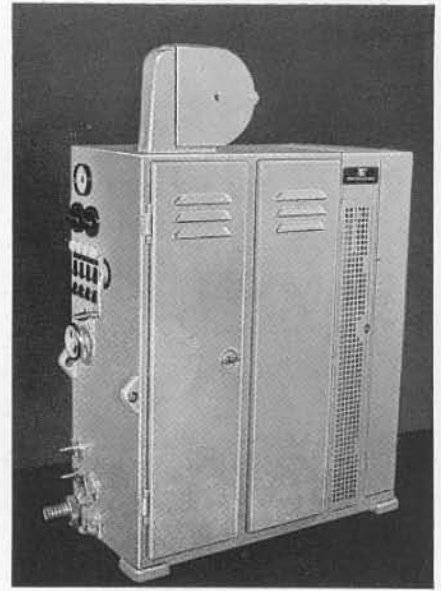


Abb. 35.

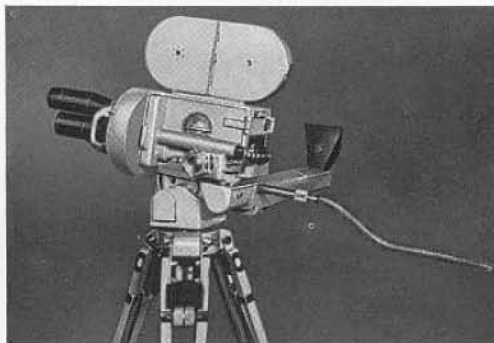


Abb. 34.

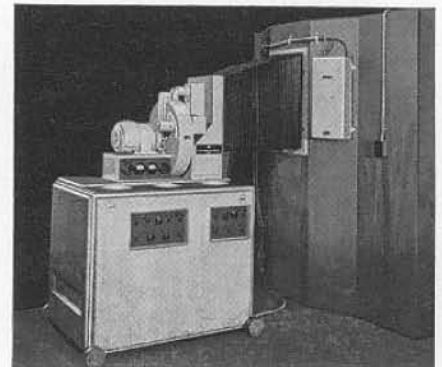


Abb. 36.

Originalveröffentlichungen von Mitarbeitern der Fernseh A. G.

Georg Schubert	Schaltung und Aufbau des Nipkowscheibenempfängers der Fernseh A. G.	Fernsehen 1 (1930), 502
	Zur Netzsynchronisierung von Fernsehempfängern	Fernsehen 2 (1931), 105
	Kinosende- und Empfangsanlage für höhere Bildpunktzahlen	Fernsehen 2 (1931), 182
	Entwicklung der Natrium Dampflampen für Fernseh-zwecke	Fernsehen 3 (1932), 9
	Der Zwischenfilmsender der Fernseh A. G.	Fernsehen 3 (1932), 129
	Der neue kontinuierlich arbeitende Zwischenfilmsender der Fernseh A. G.	Fernsehen 4 (1933), 42
	Kontinuierlich arbeitender Zwischenfilm - Großprojektionsempfänger	Fernsehen 4 (1933), 62
	Ueber den kontinuierlich arbeitenden Zwischenfilm-Großprojektionsempfänger	Fernsehen 5 (1934), 27
	Der erste Fernseh-Aufnahmewagen nach dem Zwischenfilmverfahren	Fernsehen 6 (1935), 49
	Der Fernsehempfänger der Fernseh A. G.	Fernsehen 7 (1936), 2
Georg Schubert, } Wolfg. Dillenburger, Horst Zschau	Die Fernseh A. G. auf der Berliner Funkausstellung 1938	TFT (1938), 484
Rolf Möller	Das Zwischenfilmverfahren. I. Teil	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 65
	Eine Verstärkermeßanordnung	Fernsehen 1 (1930), 127
	Tritt an Nipkowscheibenlöchern Beugung ein?	Fernsehen 1, (1930), 259
	Die optische Vergrößerung von Nipkowscheibenbildern	Fernsehen 1 (1930), 342
	Das Weilersche Spiegelrad	Fernsehen 2 (1931), 80
	Helligkeitsfragen bei Fernsehsendern	Fernsehen 3 (1932), 29 u. 95
	Der Fernsehsender Rom	Fernsehen 3 (1932), 153
	Eine neue Methode der Lichtstrahlabtastsendung	Fernsehen 4 (1933), 29
	Spiegelschraube und Hohlspiegelschraube	Fernsehen 4 (1933), 47
	Optische Trägerfrequenzzerzeugung	Fernsehen 5 (1934), 41
	Schwarzsteuerung bei Niederfrequenzverstärkern	Fernsehen 6 (1935), 7
	Die Fernsehastaster des UKW-Senders Berlin-Witzleben	Fernsehen 6 (1935), 16
	Mechanische Bildfelderleger und ihre Synchronisierung	Fernsehen 7 (1936), 89
	Die Mechanischen Bildfelderleger und ihre Synchronisierung	„Fernsehen“ v. F. Schröter (1937)
	Neue Wege der Großbilderzeugung beim Fernsehen	TFT (1938), 516
	Großbilderzeugung beim Fernsehen	Kinotechn. 21 (1939), 1
	Der Linsenrasterschirm	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 72
Herbert Bähring	Schaltvorgänge in Stromkreisen mit Induktivität und veränderlichen ohmschen Widerstand	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 18
	Ablenkung des Elektronenstrahls in Braunschen Röhren mittels magnetischer Spulenfelder	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 51
Fritz Below	Automatische Frequenzregelung bei Synchronisiertaktgebern zur Erzielung eines Gleichlaufs mit dem Wechselstromnetz	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 14
Wolfg. Dillenburger	Drahtloser Großprojektionsempfänger mit 1,5 m ² Bildfläche	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 29
Werner Flechsig	Ueber die elektrostatische Ablenkung in Kathodenstrahlröhren mit nichtebenen Ablenkplatten	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 94
Joh. Günther	Erzeugung sägezahnförmiger Ströme zur magnetischen Strahlableitung in Fernschröhren	Fernsehen (1939), 17
	Rasterformen bei doppeltmagnetischer Ablenkung des Elektronenstrahls in Weitwinkel-Kathodenstrahlröhren	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 88
Theodor Mulert } Herbert Bähring }	Transformatorkippergeräte	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 82
Hans Werner Paehr	Ueber das Auftreten der Röntgenstrahlen bei Braunschen Röhren	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 59
Frithjof Rudert	Der Kleinempfänger DE 7 der Fernseh A. G.	TFT (1938), 506
	Der Fernseh-Kleinempfänger DE 7	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 37
E. Ruska, B. v. Borries	Angewandte Elektronenoptik	VDI Bd. 80 (1936), 989
Helmut Schmidt	Frequenzuntersuchung an Dezimetersendern mittels Kristalldetektor	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 48
Joh. Schunack	Der drahtlose Fernsehempfänger der Fernseh A. G.	Fernsehen 7 (1936), 91
	Die Erzeugung von Zeilensprunggleichlaufimpulsen nach dem Hilfssignalverfahren	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 98 u. 102
	Fernsehaufnahmegeräte der EIAR in Rom	
Erich Schwartz	Ueber Nachbeschleunigung bei Braunschen Röhren	Fernsehen 6 (1935), 37 u. 47
	Richtwirkung und Steuertheit bei Braunschen Fernsehrohrren	Zeitschr. f. techn. Phys. 11 (1938), 454
	Zum Stande des Nachbeschleunigungsproblems bei Kathodenstrahlröhren	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 5
E. Schwartz } H. Strübig, H. W. Paehr }	Strahlerzeugung in Fernsehrohrren für Projektionszwecke	Hausm. 2 (1939), 55
Kurt Thöm	Neuer mechanischer Filmabtaster	Fernseh A. G., Hausm. 1 (1939), 24
	Mechanischer Universalabtaster für Personen-, Film- und Diapositivübertragung	Hausm. 2 (1939), 42

Entwicklung der Braunschens Fernschröhre bei der Fernseh A. G.

Von Erich Schwartz.

Inhalt: Es wird die geschichtliche Entwicklung auf dem Gebiet der Braunschens Fernschröhre im Rahmen der Fernseh A. G. beschrieben und der augenblickliche Stand der Technik geschildert.

Obwohl es nach zwei angestrengten und erfolgreichen Entwicklungsjahren auf dem Gebiete des rein mechanischen Fernsehens etwas ungewiß war, in welchem Umfange die Kathodenstrahlröhre auf die weitere Entwicklung Einfluß nehmen würde (1), interessierte sich die Fernseh A. G. doch erheblich für dieses neue Gebiet, was in einer Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Physik in Hamburg*)

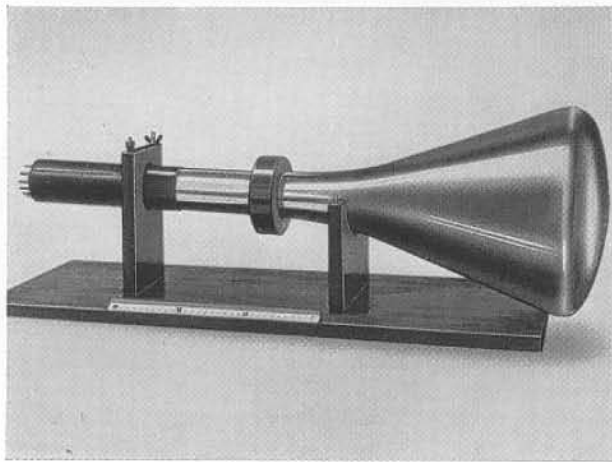


Abb. 1: Hochvakuumröhre 1933.
Schematische Darstellungen der verwendeten Röhrensysteme.

zum Ausdruck kam und dann sehr schnell zur Angliederung einer eigenen Hochvakuum-Abteilung an das Laboratorium unserer Firma führte (1932).

M. v. Ardenne, dem das Verdienst gebührt, zum ersten Mal in Deutschland die Verwendbarkeit der Braunschens Röhre im Fernsehempfänger praktisch bewiesen zu haben (2), arbeitete mit gaskonzentrierten Braunschens Röhren, und auch bei uns wurde unter Benutzung von Erfahrungen einer dritten Stelle**) zuerst dieser Weg beschritten. Dabei traten die Nachteile der Gaskonzentration (3) (4) (5) sehr bald zutage, die vor allem im störenden Ionenkreuz, unbefriedigender Helligkeitssteuerung und fehlender Lebensdauer bestanden. Der Meinungs-austausch mit dem Hamburger Institut***) führte dann bald zur Entwicklung einer Hochvakuumröhre, da sie allein dem nun folgenden ständigen Anwachsen der Zeilenzahl gewachsen sein würde, eine Erkenntnis, die sich später auch allgemein durchsetzen sollte.

*) Prof. Dr. H. G. Möller, Dr. Curt Hagen.

**) Dr. Ing. E. Hudec.

***) Prof. Dr. H. G. Möller.

So konnte bereits auf der Funkausstellung 1933 erstmalig eine Hochvakuumröhre für Fernseh-zwecke von unserer Firma in Betrieb vorgeführt werden (Abb. 1) (6). Die Abb. 2a stellt schematisch das System der Röhre von 1933 dar. Der von der Kathode K ausgehende Kathodenstrahl wird durch die Wehneltelktrode W gebündelt durch die relativ weite Magnetlinse S fokussiert. Die Blende B schneidet aus dem Büschel einen Strahl aus, der schlank genug ist, um durch zwei elektrostatische Ablenkplattenpaare zu gelangen, so daß der Strahlstrom nur kleine Intensität und die Bilder geringe Helligkeit zeigten. Durch den Fortfall der Gaskonzentration, den großen Abstand zwischen Linse und Kathode und die große Ausdehnung der Linse selbst hatte sich die Baulänge der Röhre erheblich vergrößert.

Elektrostatische Entwicklung.

Die bis zu diesem Zeitpunkt zu überwindenden Schwierigkeiten bestanden vornehmlich in der Beherrschung der Wandladungen und den bei den Ablenkelementen und dem Leuchtschirm durch Fortfall der Gasfüllung auftretenden Schwierigkeiten. Die eigentliche elektronenoptische Durchentwicklung der Hochvakuumröhre, die nun einsetzte, läßt sich in zwei zeitlich aufeinander folgende Abschnitte zerlegen.

Kennzeichnend für die erste Phase war die Anwendung vorwiegend elektrostatischer Felder (1933—1935); der zweite Entwicklungsabschnitt ist durch die Anwendung magnetischer Felder charakterisiert.

Infolgedessen ergab sich als erster Schritt der Ersatz der magnetischen Linse durch eine statische, wobei im wesentlichen einmal eine Verkürzung der Röhre und zum anderen eine Zusammenfassung aller für die Strahlbeeinflussung erforderlichen Bauelemente in das Röhreninnere selbst angestrebt wurde†). Im Hinblick auf die Röhrenverkürzung schienen Linsen mit Potentialsprung von Zworykin (7) günstig, doch zeigten praktische Untersuchungen, daß die durch den Potentialsprung bedingte Röhrenverkürzung durch eine ungünstige Lage der Linsenhauptebene und ein weiches Emissionsfeld vor der Kathode weitgehend wieder aufgehoben wird.

Das nächste auf der Funkausstellung 1934 von uns gezeigte Röhrenmodell hatte dementsprechend symmetrische elektrostatische Einzellinsen (Abb. 2b).

†) Von 1933—1936 war Dr. Ing. E. Ruska an der Entwicklung beteiligt.

Die vier Blenden B_1 bis B_4 und das Rohr R befinden sich gemeinsam auf einem Anodenpotential von 3 kV und die beiden Blenden B'_1 und B'_2 bauen zwei Linsfelder auf. Das Feld um B_1 wirkt wie eine Kondensorlinse (8), und die eigentliche Fokussierung übernimmt das Feld um B'_2 . Mit diesem System wurde eine brauchbare Verkürzung der Röhre und ein erheblicher Helligkeitserfolg erzielt.

Zusammen mit einer Verbesserung der verwendeten Leuchtschirme und einer systematischen Entwicklung der Oxydkathoden gelang es erstmalig, Röhren mit einer Bildhöhe von 40 cm zu zeigen. Der Kontrast wurde durch Anwendung von geschwärzten Kolbenwänden gesteigert, aber die Helligkeit blieb wegen der immer noch notwendigen Strahlablenkung weiterhin gering.

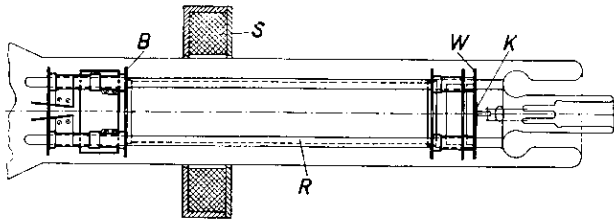


Abb. 2a: 1933 Ablenkung statisch, Fokussierung magnetisch (große Spule).

Um die Strahlleistung zu erhöhen, entwickelten wir deshalb eine Nachbeschleunigung, über die an anderer Stelle berichtet worden ist (9) (10). Diese Röhren mit elektrostatischer Fokussierung, Ablenkung und Nachbeschleunigung stellen den Abschluß der obenerwähnten ersten Entwicklungsperiode dar (Abb. 3). Sie gestatteten erstmalig die Verwendung einer gesamten Anodenspannung von 12 kV, und der

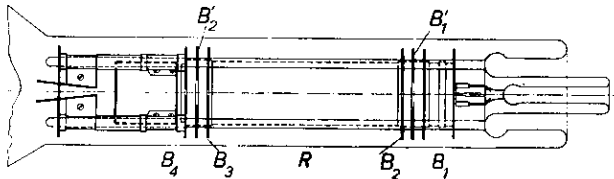


Abb. 2b: 1934 Ablenkung statisch, Fokussierung statisch.

Helligkeitserfolg war ausreichend, um die Röhre auch für Zwischenfilmaufzeichnungszwecke zu verwenden (11). Die Schärfe genügte, um im Jahre 1935 erstmalig ein Fernsehbild für 320 Zeilen vorzuführen.

Magnetische Entwicklung.

Wenngleich der Leistungsaufwand für die elektrostatische Fokussierung und die kleineren erreichbaren Zeitkonstanten der statischen Kippgeräte, weiterhin der möglichst einfache Aufbau der gesamten Fernröhre im Empfänger die elektrostatischen Felder als technisch besonders vorteilhaft erscheinen ließ, so sind doch die physikalischen Vorteile des magnetischen Feldes für die weitere Entwicklung bestimmend geworden. Durch die endlichen Durchmesser der verwendeten Elektronenstrahlen wird bei jedem ablenkenden oder fokussierenden statischen

Feld die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen im Augenblick der Beeinflussung inhomogen. Bei magnetischer Beeinflussung entfällt dieser Nachteil. Aus diesem Grunde ersetzen wir zunächst die

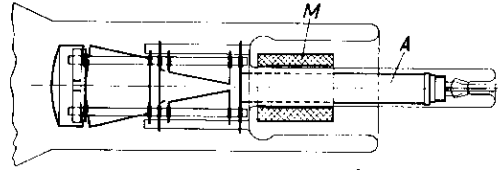


Abb. 2c: 1935 Ablenkung statisch, Fokussierung magnetisch (kleine Spule).

elektrostatische Linse wieder durch eine magnetische, die aber in verkleinerter und technisch handlicherer Form ausgeführt wurde, so daß die Nachteile der ursprünglichen Magnetlinse von 1933 vermieden wurden. Abb. 2c stellt ein entsprechendes Röhrensystem dar; die Linse ist, wie die Abbildung erkennen läßt, in die Einstülpung des Röhrenfußes von außen hineingeschoben, wird nach einmaliger Justierung vom Sockel überdeckt und bildet so mit der Röhre zusammen eine geschlossene bauliche Einheit. Die Leistungsaufnahme für die Spule betrug nur 0,9 W, ein Wert, den man bei Verwendung eines Spannungsteilers für statische Linsen mindestens auch ver-

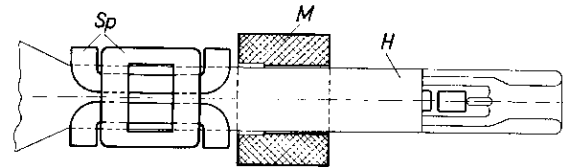


Abb. 2d: 1936/37 Ablenkung magnetisch, Fokussierung magnetisch.

braucht. Im Inneren der Fokussierspule verläuft das Anodenrohr A , das aus der Haupteinschmelzung heraus in ein engeres Glasrohr reicht. Die Totlängen wurden so erheblich kleiner, und die Röhren stellten somit einen sehr guten Kompromiß bezüglich Schärfe und Baulänge dar (1935, 1936).

Gleichzeitig mit dieser Entwicklung lief die der magnetischen Kippgeräte an. Wenngleich die elektrostatischen Ablenkkfelder durch Hilfselektroden weitgehend verbessert worden waren, ließ die erwähnte inhomogene Geschwindigkeitsverteilung der

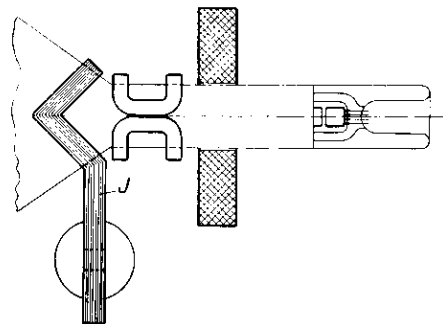


Abb. 2e: 1938 Ablenkung magnetisch mit entzerrenden jocherzeugten Feldern, Fokussierung magnetisch.

Elektronen doch noch eine erhebliche Eckenunschärfe im Fernsehbild zurück, so daß der maximale Ablenkwinkel auch am Ende der elektrostatischen Entwicklung nur 36° (Abb. 2 d) betrug. Bei magnetischer Ablenkung und besonders wenn man mit schlanken Büscheln arbeitet und die ablenkenden Felder hinreichend homögen sind, lassen sich Ablenkwinkel von 50° leicht erreichen, und der größere Kippwinkel zieht eine weitere Röhrenverkürzung



Abb. 3: Nachbeschleunigte Röhre von 1935.

nach sich (1936, 1937). Durch den Fortfall der strahlbegrenzenden Ablenkplatten konnte bei diesen Röhren auf eine Aperturblende verzichtet werden und die volle Kathodenemission auf den Leuchtschirm gelangen, so daß die Bilder an Helligkeit erheblich zunahmen und eine Nachbeschleunigung entbehrlich wurde, die ja außerdem in Verbindung mit magnetischer Ablenkung schon deshalb von geringerem Nutzen ist, weil die magnetische Ablenkempfindlichkeit nur mit der Wurzel aus der Spannung absinkt und nicht linear wie im statischen Fall.

Um die gesamten Fragen der magnetischen Strahlbeeinflussung in diesem Zusammenhang abschließen zu können, sei nun die aus dem Jahre 1938 stammende Entwicklung der Kleinempfängerröhre zunächst beschrieben, obwohl man dem geschichtlichen Gange folgend die Projektionsröhre vorziehen müßte.

Während bis 1937 die größte Ausdehnung eines Empfängergehäuses durch die Röhrenlänge bestimmt wurde und man sich im allgemeinen behelfen mußte, indem die Röhre senkrecht angeordnet wurde und das Leuchtschirmbild durch einen Spiegel betrachtet werden mußte, konnte im Jahre 1938 der Kleinempfänger DE 7 (12) nach wesentlich anderen Gesichtspunkten gebaut werden. Die Möglichkeit hierfür wurde geschaffen durch eine radikale Verkürzung aller bisher an der Röhre auftretenden Längenmaße und durch eine bisher für unmöglich gehaltene Steigerung des Kippwinkels, so daß insgesamt die Röhrenlänge auf etwa 50% zurückging. Die in Abb. 5 dargestellte verkürzte Röhre hatte bei einem Schirmdurchmesser von 280 mm eine Baulänge von nur 360 mm und stellt wohl die kürzeste

bisher gebaute Röhre dar. Der für die Bilddiagonale erforderliche Kippwinkel betrug 68° †). Die Sonderentwicklung auf dem Gebiete der Kippgeräte ist an anderer Stelle beschrieben worden (13) (14) (15). Dort ist mitgeteilt, daß bei derartig weiten Winkeln das Raster auf dem Leuchtschirm erhebliche Verzerrungen aufweist und daß man zum Ausgleich bewußt Inhomogenitäten in der Form des ablenkenden Bildes anbringt (Abb. 2e), während bisher die ablenkenden Felder möglichst weitgehend homogen gestaltet wurden. Solche beabsichtigten Inhomogenitäten setzen einen so schlanken Kathodenstrahl voraus, daß man das Feld über den kleinen Büschelquerschnitt immer noch als praktisch homogen ansehen kann, so daß die Ablenkempfindlichkeit für alle Strahlelektronen die gleiche ist und so daß die Eckenschärfe des Fernsehrasters garantiert wird.

Die Mittel, solche Kathodenstrahlen kleiner Divergenz zu schaffen, sind in zwei älteren Arbeiten (16) (17) angegeben, und im Anschluß an diese Arbeiten wurden systematische Untersuchungen über den Einfluß der Form der Wehneltelektrode auf die Strahldivergenz gemacht. Bei passendem Emissionsfeldbild gelingt es, bei einer Spannung von 6 kV einen Strahlstrom von $200 \mu\text{A}$ in einen Aperturwinkel von ca. $3,5^\circ$ zu zwingen.

Natürlich kann man den Kathodenstrahl nicht beliebig schlank machen, ohne daß entweder der emittierende Bereich der Kathode sehr klein bzw. der zur Abbildung kommende Minimalquerschnitt sehr groß wird. Das eine zieht kleine Lebensdauer der Röhre nach sich, das andere verschlechtert die Zentralschärfe im Raster.

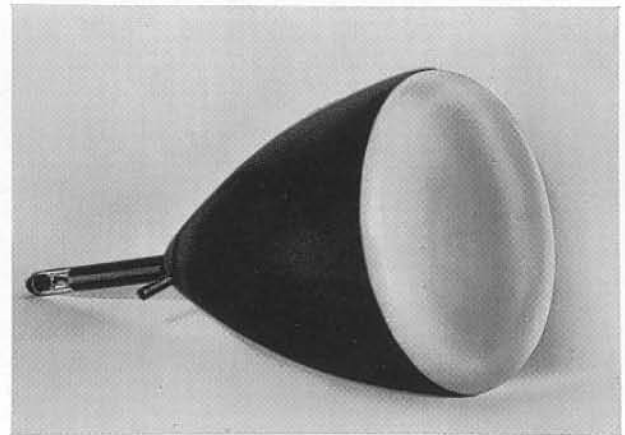


Abb. 4: Vollmagnetische Röhre von 1937.

Projektionsentwicklung.

Parallel mit der Entwicklung der Fernsehröhre für direkte Bildbetrachtung lief seit 1936 die der Projektionsröhre. Sie war in einem Augenblick in den Aufgabenbereich getreten, als die Röhren voll magnetisch beeinflusst wurden. Nach einigen Vorversuchen mit elektronenoptischen Spezialkonstruk-

†) Die Kleinempfängerröhre bearbeiteten Dipl.-Ing. Walter Haß und Ing. Kurt Wellmann.

tionen und einer ersten Vorführung auf der Funkausstellung 1936 (18) entschlossen wir uns im Herbst 1936 zu einer Röhre, die durch einfaches Heranrücken des Leuchtschirms an die sonst unveränderten Röhrenelemente entstand. Dadurch sank Abbildungsverhältnis und Format in gleichem Maßstab. Die Spannung wurde zur Erzielung der erhöhten Leistung zunächst von 6 auf 20 kV gesteigert. Der entscheidende Schritt bei der Ueberwindung der Hochspannungsschwierigkeiten bestand in einer völligen Trennung des Strahlerzeugungsraumes vom Fokussier- und Ablenkraum, die nur durch die Anodenblende selbst miteinander verbunden sind. Die Leistung dieser Projektionsröhre ist in der ersten Zeile der Tabelle 1 eingetragen. Es gelang, Bilder bis zu einem Format von 1,2 : 1,4 m zu projizieren.

Wenn auch zur Erlangung einer hinreichenden scheinbaren Helligkeit bereits damals Perlraster-schirme mit erhöhtem Reflexionsvermögen benutzt wurden und wenn auch das angegebene Format keineswegs als eigentliches Großbild (19) (20) angesehen werden konnte, so waren die Ergebnisse doch aussichtsreich genug, um den Beitrag abzuschätzen, den die Braunsche Röhre zum Großbildproblem liefern konnte, auch ohne den Umweg über den Zwischenfilm zu gehen (11).

Hierbei muß man sich vergegenwärtigen, daß die Fläche eines normalen Großbildes (3 · 4 m) etwa 300 mal so groß ist, wie der Leuchtschirm der projizierenden Braunschen Röhre und daß weiterhin durch die geringe Raumwinkel ausnutzung der projizierenden



Abb. 5: Weitwinkel-Röhre von 1938.

zierenden Optik eine Größenordnung am Lichtstrom verloren geht. Deshalb muß die Leuchtdichte einer Projektionsröhre annähernd 3000 mal heller sein als die einer direkt zu betrachtenden Röhre, wenn das projizierte Bild die gleiche Flächenhelle haben soll wie das direkt betrachtete.

Wenn auch die scheinbaren Leuchtdichten direkt betrachteter Fernsehbilder mit ca. 600 asb höher sind als Kinohelligkeit (80 asb), so daß der Faktor 3000 nicht ganz geschafft werden braucht, so sieht man doch, daß das Problem in der Steigerung der Strahlleistung und der Umsetzung dieser Leistung im Leuchtschirm beruht. In den Vorgängen am Leuchtschirm liegt also das Problem. Zur Steigerung der Strahlleistung wurden zunächst Vorversuche mit

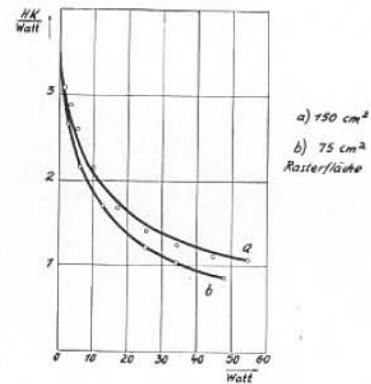


Abb. 6: Nutzeffekt und Format bei isolierenden Leuchtschirmen.

Großflächenkathoden und Ausblendsteuerungen gemacht, die jedoch zu dem Entschluß führten, bei der normalen mit der Wehneltelektrode gesteuerten Glühelktronenentladung zu bleiben (16) (17), und die Leistungssteigerung wurde durch eine systematische Steigerung der Anodenspannung bewirkt†††. Infolge der abstoßenden Kräfte zwischen den einzelnen Elektronen haben die auf einen vorgegebenen Leuchtfleckdurchmesser zu fokussierenden Stromdichten einen theoretischen Grenzwert, der um so höher liegt, je höher die Spannung ist. Die Spalte 2 gibt die erreichten Grenzströme und die Spalte 3 die erreichten Grenzleistungen im Laufe der Hochspannungsrohren-Entwicklung an (Tabelle I). Man sieht, wie mit höherer Spannung immer höhere Ströme angesteuert werden konnten und so die Strahlleistung aus zweierlei Ursachen anwuchs.

Wenn man jetzt die konstruktiven Gesichtspunkte betrachtet, die bei der Auswahl des Leuchtschirms zu berücksichtigen sind, der die angegebenen Strahlleistungen in Licht umsetzen soll, so sieht man, daß die Schirmhöhe einmal mindestens gleich dem Produkt aus dem kleinst erreichbaren Fleckdurchmesser und der Zeilenzahl sein muß. Zum anderen muß der Schirm groß genug sein, damit vermieden wird, daß das Leuchtmaterial infolge zu hoher Belastung thermisch ermüdet, sein Nutzeffekt vorübergehend absinkt, oder daß es sogar verbrennt. Die Abbildung 6 zeigt zwei Kurven, die den Nutzeffekt zweier Leuchtschirme darstellen, wovon der eine 130 mm und der andere 180 mm Durchmesser hat. Die entsprechenden Nutzeffekte in den Spitzlichtern sind in der Tabelle I,

†††) Die Großbildröhren bearbeiteten Dr. Heinrich Strübig und Dr. H.-W. Paehr.

Spalte 4, eingetragen. Die Röhren mit 130 mm Durchmesser wurden auf der Funkausstellung 1937 benutzt und die erreichten Bilder hatten ein Format von etwa $1,7 \cdot 2,1$ m. Die Röhren mit 180 mm wurden im Januar 1938 gezeigt, hatten die gleiche

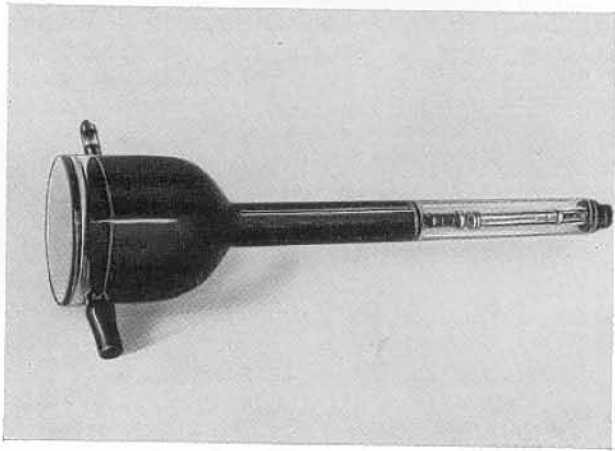


Abb. 7: Projektionsröhre für 40 kV, 13 cm Schirmdurchmesser von 1937.

Anodenspannung wie die 130 mm Röhren, und die Spitzenhelligkeit ist in Spalte 5 von Tabelle I ein-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Anodenspannung	Strahlstromspitze	Spitzenleistung	Schirmdurchmesser	Leuchtsubstanz	Schirmträger	Nutzeffekt in der Belastungsspitze	Spitzenhelligkeit
1937 Frühjahr	20 kV	0,25 mA	5 Watt	100 mm	Zinkcadmiumsulfid	Glas	2,4	12 HK
1937 Sommer	40 „	1,5 „	60 „	130 „		Glas	1,0	60 „
1938 Frühjahr	40 „	1,5 „	60 „	180 „		Glas	1,25	75 „
1938 Sommer	80 „	3,75 „	300 „	250 „		Metall	2,0	600 „

Tabelle I.

getragen. Die beiden Röhren sind in Abb. 7 bzw. 8 dargestellt.

Der konstruktiv wichtigste Nachteil solcher Röhren liegt darin, daß man zur Projektion den Anteil des gesamten Fluoreszenzlichts benutzt,

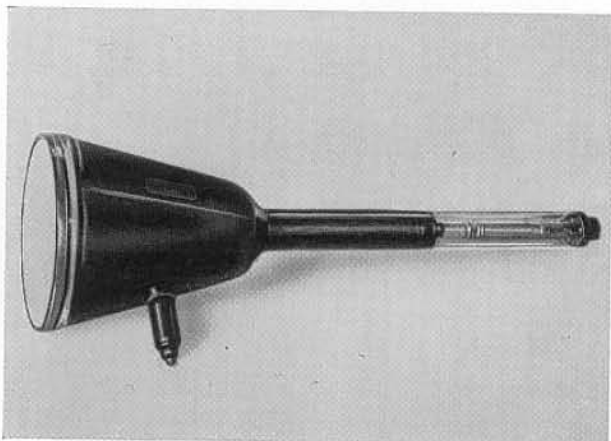


Abb. 8: Projektionsröhre für 40 kV, 18 cm Schirmdurchmesser von 1938.

der auf der dem einfallenden Strahl entgegengesetzten Seite des Leuchtschirms austritt. Infolgedessen muß man bezüglich der Schirmdicke beim Leuchtschirm grundsätzlich einen Kompromiß eingehen, denn der Leuchtschirm ist selbst immer optisches Filter für seine Eigenstrahlung, so daß das durch den Leuchtschirm hindurchgelangende Licht prinzipiell geringere Intensität hat, als das auf der Vorderseite des Leuchtschirms beobachtete. Insofern existiert für jede Strahlgeschwindigkeit eine opti-

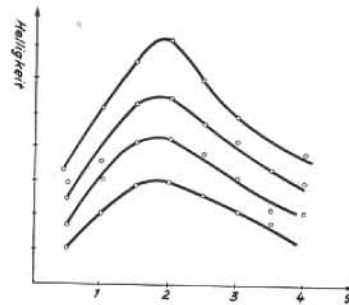


Abb. 9: Leuchtschirmhelligkeit und Schichtdicke bei Durchsichtschirmen auf Glas.

male Schirmdicke, und der Verlauf so einer Lichtausbeutekurve ist in Abb. 9 dargestellt.

Ein zweiter Nachteil solcher „Durchsichtschirme“ liegt im folgenden: Das Leuchtmaterial ist mit isolierendem Bindemittel auf isolierender Glasplatte aufgebracht und kann sich nur durch Sekundäremission im Potentialgleichgewicht halten. Dadurch, daß nun gewisse Schirmpartien von Primärelektronen beschossen werden und andere nur die verhältnismäßig langsamen Sekundärelektronen der ersten Partien aufnehmen, treten erhebliche Potentialdifferenzen und elektrostatische Kräfte auf, denen das Bindemittel mit einer erheblichen Haftfähigkeit gewachsen sein muß. Dazu kommt, daß die einzelnen Schirmpartien große zeitliche Potentialschwankungen durchmachen und der Mittelwert des Potentials hinter der eigentlichen Anodenspannung zurückbleibt.

Die seit dem Frühjahr 1938 laufende Entwicklung hatte nun zum Ziel, das bisher erreichte Format des projizierten Bildes von $1,7 \cdot 2,1$ m auf ca. $3 \cdot 4$ m zu erhöhen, und außerdem die scheinbare Leuchtdichte des Bildes auf den kinotechnischen Wert von 80 asb zu steigern. Die Aufgabe wurde von zwei Seiten aus

angefaßt. Einmal wurde ein Linsenrasterschirm entwickelt mit einem scheinbaren Reflexionsvermögen von 1500% (21) (22) (23). Der Schirm erlaubte nunmehr, mit dem fünfzehnten Teil der normalen kinotechnischen Beleuchtung auszukommen, d. h. statt 100 Lux genügen 6—7 Lux einfallende Beleuchtung, das macht bei 3·4 m² Fläche 84 Lumen und bei einer Optik von der Oeffnung 1:2 eine Helligkeit des Leuchtflecks von ca. 450 HK gegenüber 75 HK der bisherigen Entwicklung nötig. Die Helligkeit der Röhren mußte also wenigstens um den Faktor 6 möglichst aber eine Größenordnung gesteigert werden, um ein wirklich befriedigendes und helles Großbild vom Format 3·4 m herzustellen.

Um helligkeitsmäßig über den Stand der 40 kV Röhre hinauszukommen, ist in der Tabelle bereits angegeben, daß bei Leistungssteigerung auf 80 kV eine Strahlleistung von 300 W verfügbar war. Wie man jedoch an den drei angegebenen Glasschirmtypen sieht, sinkt der Nutzeffekt mit wachsender Leistungsdichte sehr ab, und ein Glasschirm, der bei einer Gesamtleistung von 300 W noch einen Rest-Nutzeffekt von mindestens 1 HK/W haben soll, hätte einen utopischen Durchmesser erforderlich gemacht. Bei annähernd konstanten Schirmmaßen läßt sich der Nutzeffekt nur hoch halten, wenn man dafür sorgt, daß das Leuchtmaterial gekühlt wird. Nimmt man zu dieser Aufgabe die bereits aufgezeichneten Nachteile der Glasschirme hinzu, so drängt die Entwicklung zwangsläufig zu der in Abb. 10 dargestellten Ausführung, bei der das Licht von der gleichen Seite weggeht, wie der Elektronenstrahl einfällt und der Leuchtschirm auf einer massiven gekühlten Metallunterlage angebracht ist. Die lichtoptische Achse steht senkrecht auf dem Leuchtschirm und die elektronenoptische schräg dazu. Das setzt natürlich große Tiefenschärfe des Kathodenstrahls voraus, die gerade bei den hohen Strahlströmen schwierig zu erreichen war. Man sieht hier, wie durch Erledigung der Leuchtschirmprobleme die elektronenoptischen Fragen wieder nach vorn treten. Eine Modulation

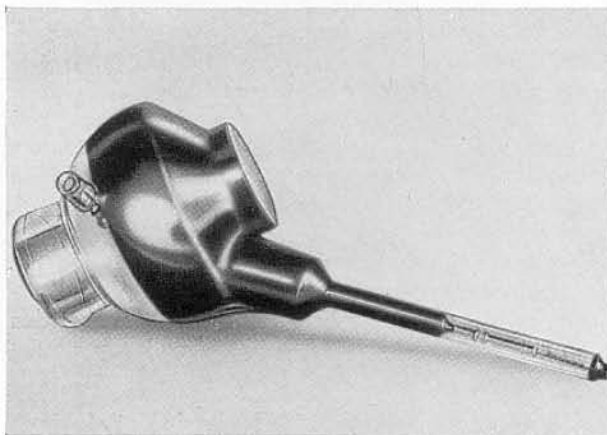


Abb. 10: Projektionsröhre für 80 kV mit metallenen Leuchtschirm. Bilddiagonale 25 cm von 1938.

der Linienbrechkraft mit Ablenkfrequenz ist bei magnetischen Linsen nicht durchführbar.

Nebenbei sei erwähnt, daß die ersten Versuche mit schräg gestellten Leuchtschirmen und Kathodenstrahlen großer Tiefenschärfe bereits im Rahmen eines Heimprojektionsempfängers erfolgreich durchgeführt waren. Abbildung 11 zeigt eine Röhre mit schrägem Schirm, auf der ein trapezförmiges Raster solcher Form erzeugt wird, daß man schräg aus dem Empfängergehäuse auf den Bildschirm projizieren kann und sich auf die Weise lichtoptische und elektronenoptische Rasterverzerrungen ausgleichen. Bei der 80 kV Röhre dagegen entsteht das trapezförmige Raster nicht beabsichtigt, sondern zwangsläufig und muß durch entsprechende Modulation der Zeilenfrequenz entzerrt werden.

Die größten Schwierigkeiten bei der Entwicklung der 80 kV Röhre lagen auf glastechnischem Gebiet, da die Ueberschneidung hochspannungstechnischer, elektronen- und lichtoptischer sowie vakuumtechnischer Forderungen besonders die glasbläserische Ausführung betrafen. Insofern stellt die Ausführung der 80 kV Röhre eine hervorragende glastechnische Leistung dar^{*)}, die zusammen mit der Fa. Schott & Gen.^{**)} bewerkstelligt werden konnte. In Tabelle II sind die Daten des 80 kV-Leuchtschirms zusammengestellt.

Maximale Leistung im Strahl	300 Watt
Rastergröße	270 cm ²
Fleckgröße	0,13 mm ²
Maximale mittlere Leistungsdichte im Raster	1,11 Watt/cm ²
Maximale momentane Leistungsdichte im Fleck	230 kW/cm ²
Nutzeffekt	6 — 2 HK/Watt
Spitzenhelligkeit	600 HK
Maximale mittlere Leuchtdichte im Raster	2,22 Stilb
Scheinbare maximale momentane Leuchtdichte im Fleck	4,6 · 10 ⁵ Stilb
Tatsächliche maximale momentane Leuchtdichte im Fleck ca.	1 · 10 ⁴ Stilb

Tabelle II.

Die scheinbare Momentanleuchtdichte ist errechnet unter der Voraussetzung, daß die Gesamthelligkeit von 600 HK in einem einzigen nachleuchtfrei leuchtenden Bildpunkt konzentriert ist. Die tatsächliche Momentanleuchtdichte ist errechnet unter Berücksichtigung der Nachleuchtdauer. Die Relaxationszeit wurde zu 10⁻⁵ gemessen und die Maximalanregung aus dem bekannten Wert des Talbot'schen Integrals damit errechnet.

Man sieht also, daß mit der Leuchtdichte des Fluoreszenzflecks die der Bogenlampe erreicht worden ist.

Wenn man sich am Ende der bisherigen Entwicklung noch einmal die drei Grundelemente der Braunschen Fernsehrohr, Erzeugungssystem, Elektronenoptik und Bildschirm, vor Augen hält, so

^{*)} Erwin Günzel.

^{**)} Ing. Fritz Blumenstein.

stellt man fest, daß die Elektronenoptik die größten Wandlungen durchgemacht hat. Es ist interessant, daß das Strahlerzeugungssystem sich trotz einer Fülle anderer Vorschläge, wie Ausblendsteuerung u. dergl., in der alten Form als raumladegesteuerte Glühelktronenentladung erhalten hat. Besonders die Ausblendsteuerung läßt sich bei einer Strahlleistung von 300 W wohl kaum mehr durchführen, da bei



Abb. 11: Projektionsröhre für Heimempfänger 20 kV, 10 cm Schirmdurchmesser mit schrägem Strahleinfall.

derartigen Stromdichten (erforderlicher Blendendurchmesser ca. 0,1 mm) die Belastungen der Blende weit über der Schmelzgrenze liegen dürften.

Das dritte Grundelement, der Bildschirm, besteht noch heute aus Fluoreszenzmaterial, obwohl auch hier eine Fülle anderer Ideen wie Relaischirm und Glühschirm vorlag. Wenn man aber bedenkt, daß die Leuchtdichte im Fluoreszenzleck die der Bogenlampe bereits erreicht hat, so kann man die Aussichten dieser anderen Vorschläge nur noch als gering bezeichnen, wengleich die endgültigen Erfolgsaussichten der übrigen Großbildideen erst durch die weitere Entwicklung gezeigt werden können.

Zusammenfassung.

In der ersten Periode der Röhrenentwicklung herrschten die elektrostatischen Methoden zur Strahlbeeinflussung vor. (1932—1935).

In der zweiten Entwicklungsphase wurden sie durch magnetische Anordnungen ersetzt. Die Entwicklung der magnetischen Kathodenstrahlröhre fand in der Weitwinkelröhre von 1938 ihren vorläufigen Abschluß.

Bei der Entwicklung der Projektionsröhren für Großbilderzeugung steht der Leuchtschirm im Vordergrund; die auf ihm erreichten maximalen Leuchtdichten betragen einige 10^4 Stilb.

Schrifttum.

- (1) F. Schröter, Die Braunsche Röhre als Fernseher. Fernsehen 1 (1930), 4—8.
- (2) M. v. Ardenne, Ueber neue Fernsendeder und Fernsehempfänger mit Kathodenstrahlröhren. Fernsehen 2 (1931), 65—80.
- (3) W. Heimann, Ueber die Empfindlichkeit der Braunschen Röhre mit Gaskonzentration bei verschiedenen Frequenzen. Hochfrequenztechn. 40 (1932), 127—128.
- (4) W. Heimann, Ueber die Frequenzabhängigkeit der Braunschen Röhre mit Gaskonzentration. Elektr. Nachr.-Techn. 10 (1933), 476—485.
- (5) E. Hudec, Die Verzerrungen durch die Raumladung in der Braunschen Röhre. Elektr. Nachr.-Techn. 10 (1933), 215—220.
- (6) G. Kette, Das Fernsehen auf der Jubiläums-Funkausstellung in Berlin 1933. Fernsehen 4 (1933), 53—61.
- (7) V. K. Zworykin, Television through a Crystal Globe. Radio News 11 (1930), 905, 949—954.
- (8) E. Brüche, Die Braunsche Röhre als elektronenoptisches Problem. Z. techn. Physik 14 (1933), 464—466.
- (9) E. Schwartz, Ueber Nachbeschleunigung bei Braunschen Röhren. Fernsehen 6 (1935), 37—40, 47—49.
- (10) E. Schwartz, Zum Stande des Nachbeschleunigungs-Problems bei Kathodenstrahlröhren. Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1938), 19—23.
- (11) G. Schubert, Großprojektionsempfänger mit Zwischenfilm und Braunscher Röhre. Beschrieben: G. Kette, Fernsehen auf der Rundfunkausstellung 1935. Fernsehen 6 (1935), 61—68.
- (12) F. Rudert, Der Fernseh-Kleinempfänger DE 7, Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1938), 1—5.
- (13) J. Günther, Erzeugung sägezahnförmiger Ströme zur magnetischen Strahlblenkung. Fernsehen 10 (1939), 17—22.
- (14) J. Günther, Rasterformen bei doppelmagnetischer Ablenkung des Elektronenstrahles in Weitwinkel-Kathodenstrahlröhren. Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1939), 88—94.
- (15) Th. Mulert u. H. Bähring, Transformator-kippgeräte. Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1939), 82—88.
- (16) E. Schwartz, H. Strübig u. H. W. Paehr, Strahlerzeugung in Fernschröhren für Projektionszwecke. Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1938), 5—14.
- (17) E. Schwartz, Richtwirkung und Steuersteilheit bei Braunschen Fernschröhren. Z. techn. Phys. 19 (1938), 454—457.
- (18) G. Kette, Die Fernsehschau auf der Rundfunkausstellung 1936, II. Fernsehen 7 (1936), 73—80.
- (19) F. Schröter, Das Fernseh-Großbild. Telefunken-Z. 17/73 (1936), 5—26.
- (20) A. Karolus, Das Großbildproblem beim Fernsehen. Fernsehen, die neuere Entwicklung, insbesondere der deutschen Fernsehtechnik, herausgegeben von Fritz Schröter, Julius Springer, Berlin 1937, 228 ff.
- (21) R. Möller, Großbilderzeugung beim Fernsehen. Kintotechn. 21 (1939), 1.
- (22) R. Möller, Neue Wege der Großbilderzeugung beim Fernsehen. Telegr.- u. Fernspr.-Techn. 27 (1938), 516.
- (23) R. Möller, Der Linsenrasterschirm. Fernseh A.-G. Hausm. 1 (1939), 72—81.
- (24) G. Schubert, Die Fernseh A.-G. auf der Berliner Rundfunkausstellung 1938. Telegr.- u. Fernspr.-Techn. 27 (1938), 484—490.

Die Bildsondenröhre.

Von Werner Hartmann.

Inhalt: Nach historischem Ueberblick wird die Entwicklung und heutige Ausführung der Bildsondenröhre beschrieben.

Historischer Ueberblick.

Im Jahre 1925 erhielten M. Dieckmann und R. Hell ein Patent (1) über eine Bildzerlegerröhre, dessen Hauptanspruch lautet:

„Lichtelektrische Bildzerlegerröhre für Fernseher, bei welcher auf eine lichtelektrische Schicht das zu übertragende Bild entworfen wird, d. h., daß das von der lichtelektrischen Schicht ausgehende Kathodenstrahlbündel, welches in seinen Querschnittsintensitäten den Helligkeitswerten der Bildfläche entspricht, durch zwei zueinander senkrecht angeordnete elektrische oder magnetische Wechselfelder geeigneter Periodenzahl periodisch so abgelenkt wird, daß zeitlich nach und nach alle Querschnittsteile des Bündels die Anode treffen.“

Aber erst Ph. T. Farnsworth (2) gelang es, nach diesem Prinzip praktisch brauchbare Röhren, die unter dem Namen: *Dissector tube* bekannt geworden sind, zu bauen.

Theoretische Grundlagen.

Die Arbeitsweise dieser Bildsenderöhre sei an Hand der schematischen Abbildung 1 erläutert. Durch ein Objektiv wird der zu übertragende Gegenstand auf eine durchsichtige Photokathode 1 abgebildet und erzeugt so eine an jedem Punkte der entsprechenden Helligkeit proportionale Elektronenemission. Dieses Elektronenbündel wird unter Beschleunigung durch eine Wandanode 2 durch ein magnetisches Längsfeld 3 unter geringer Vergrößerung in die Ebene der Blende 4 abgebildet und mit Hilfe der Kippfelder 5 zeilenweise über diese geführt. Der hinter der die Bildpunktgröße bestimmenden Blende angeordnete Auffänger 6 erhält so einen der jeweiligen Bildpunkthelligkeit zugeordneten Elektronenstrom, der am Eingangswiderstand 7 des Verstärkers die das Gitter der ersten Röhre 8 steuernden Spannungsschwankungen erzeugt.

Wie schon oben erwähnt, kann sowohl eine elektrische wie eine magnetische Ablenkung in Erwägung gezogen werden, schon Farnsworth aber verwandte die letztere. Abgesehen von praktischen Gründen lassen sich ausgedehnte Elektronenbündel durch elektrische Felder ohne gegenseitige Kopplung nur unter weitaus größeren Schwierigkeiten ablenken.

Wenn auch Farnsworth den Gedanken der Bildzerlegerröhre unabhängig von Dieckmann und Hell entwickelte, so besteht darüber hinaus noch ein großer erfinderischer Ueberschuß in der Erkenntnis, daß brauchbare Resultate nur unter Verwendung einer elektronenoptischen Abbildung zu erzielen

sind (3). Zur Fokussierung des von der Photokathode emittierten Elektronenbüschels benutzte Farnsworth die schon früher von Busch ausschließlich zur Abbildung kleiner emittierender Punkte verwendete Magnetspule. Die Photoelektronen starten ja von der makroskopischen Kathodenoberfläche mit einer transversalen Geschwindigkeitskomponente. Die die Elektronen beeinflussenden elektrischen und magnetischen Längsfelder verursachen eine Schrau-

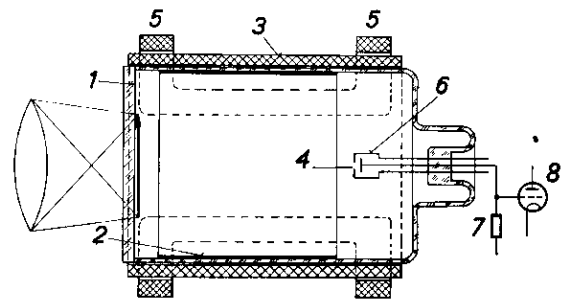


Abb. 1: Schematische Darstellung der Bildsondenröhre.

benbewegung, wobei alle die Kathode gleichzeitig unter verschiedenen Winkeln zur magnetischen Kraftlinie verlassenden Elektronen diese zur selben Zeit wieder treffen. Da die den Elektronen durch die Anode erteilte Längsgeschwindigkeit sehr groß gegen ihre verschiedene Austrittsgeschwindigkeit (500 Volt \approx 0,1 Volt) ist, erreichen sie die Kraftlinie praktisch auch am gleichen Ort. Das Magnetfeld läßt sich daher so einstellen, daß das Elektronenbild in der Blendenebene scharf abgebildet ist. Auch bei Ueberlagerung der Kippfelder, wobei die Kraftlinien verschiedene Winkel mit der Kathodenfläche einnehmen, bleibt die Abbildungsfähigkeit bestehen. Zwar stimmt die Abbildungsebene nur für die Mittelteile des Elektronenbüschels mit der Blendenebene überein, doch läßt sich den so hervorgerufenen Randunschärfen durch geeignete Formgebung der Kathode (Topikathode*) und damit der Potentialflächen begegnen.

Bei der zur Zeit der ersten Entwicklung der Zerlegerröhre üblichen Auflösung von etwa 100 Zeilen war der in die Blende fallende Bildpunktstrom groß genug, um am Verstärkereingangswiderstand eine genügend über dem Störpegel liegende Nutzamplitude zu erzeugen. Als es aber mit Erhöhung der Bildpunktzahl — und damit wegen größerer Frequenzbänder bedingter Verkleinerung des Eingangs-

*) Philo T. Farnsworth.

widerstandes — schwieriger wurde, schrottfreie Bilder zu übertragen, bedeutete es einen großen Schritt vorwärts, als es Farnsworth gelang, durch Verwendung der Sekundäremission das Verhältnis Nutz- zu Störsignal zu erhöhen. Bei dem sogenannten dynamischen Multipactor (Abb. 2) wird sowohl die Blendenplatte 1 als auch eine ihr gegenüberliegende 2 mit einer Schicht hoher Sekundäremission versehen. Das von der Spule 4 erzeugte Längsfeld sorgt für die Fokussierung. Durch geeignete Wahl von Amplitude und Frequenz der hochfrequenten Spannung HF sowie der Gleichspannung der die Elektronen aufnehmenden Anode 3 gelingt es, einen den primär durch die Blende fallenden Elektronen proportionalen Ausgangsstrom zu erhalten. Aus Stabilitätsgründen (Schwingneigung) lassen sich praktisch nur Verstärkungsgrade von etwa 50 erreichen.

Als die Fernseh A. G. im Jahre 1935 bei diesem Entwicklungsstand unter Uebernahme der praktischen Erfahrungen von Farnsworth an die weitere Vervollkommnung ging^{*)}, leistete sie einen wesentlichen Beitrag zur Betriebssicherheit der Röhre durch Einführung des auch bei beliebig hohen Verstärkungen stabil arbeitenden Gleichstrom-Prallgitter-Verstärkers (4).

Zur Erläuterung der nach vernünftigen Gesichtspunkten anzustrebenden Verstärkung sei eine Betrachtung über die Schrotverhältnisse angefügt:

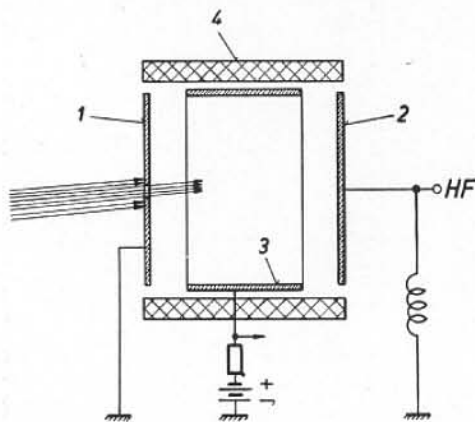


Abb. 2; Dynamischer Multipactor nach Farnsworth.

Bei einem Fernsehbetrieb nach der deutschen Norm (441 Zeilen, 25 Bilder/sec, Bandbreite 2 MHz) erzeugt die Brown'sche Elektronenbewegung an dem im Gitterkreis des ersten Verstärkerrohres liegenden Eingangswiderstand von $R = 2000 \text{ Ohm}$ eine Rauschspannung von der Größenordnung $6 \mu\text{V}$. Mit dem Schrot des Anodenstroms der Röhre resultiert also am Gitter eine Störspannung von der Größenordnung $10 \mu\text{V}$. Um ein gutes Bild übertragen zu können, wird gefordert, daß das Verhältnis Störpegel zu Nutzsignal höchstens 3% (5) beträgt, der in die Blende fallende Elektronenstrom muß also an den dunkleren Bildstellen $I_{ph} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ Amp.}$ betragen. Bei einer

Kathodenbildgröße von $6 \times 7 \text{ cm}^2$, einer elektronenoptischen Linearvergrößerung von 1,3 und einer Blende

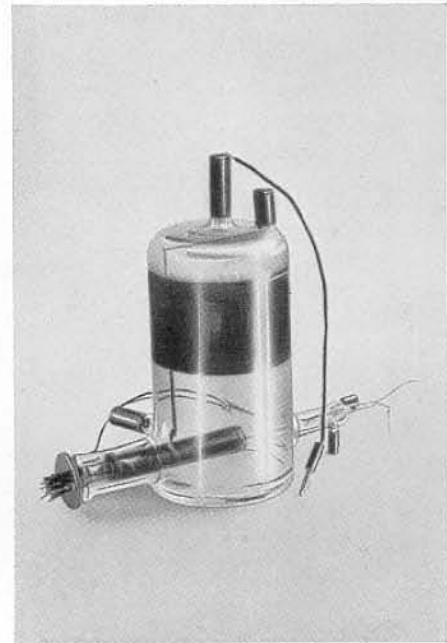


Abb. 3; Bildsondenröhre 1936.

$0,2 \times 0,4 \text{ mm}^2$ sollte die Kathode also mindestens einen Strom von 15 mA emittieren, zu dessen Erzeugung man bei einer Kathodenempfindlichkeit von $25 \mu\text{A/Lm}$ eine Beleuchtung von etwa 150 000 Lux brauchte.

Da dieser Wert technisch unmöglich zu erreichen ist, ließen sich also mit der Sondenröhre Bilder hoher Auflösung nicht schrottfrei übertragen.

Bei Verwendung der Sekundärelektronenverstärker wird die Beleuchtung nur noch durch den Eigenschrot des primären Photostroms bestimmt. Schon bei etwa 1100 Elektronen/Bildpunkt, d. h. also einem Bildpunktstrom von $I_{ph} \approx 3,5 \cdot 10^{-10} \text{ Amp.}$ (entsprechend einer Beleuchtung von etwa 1000 Lux) beträgt der Schrot nur 3%. Da oben eine zu fordernde Ausgangsamplitude von etwa $1,7 \cdot 10^{-7} \text{ Amp.}$ errechnet wurde, ergibt sich also für die Verstärkung ein Mindestwert von etwa 500. Wählt man darüber hinaus eine Vervielfachung um den Faktor etwa 10^6 , so erhält man Ausgangsamplituden von einigen Volt, die unter Fortfall von Röhrenverstärkern direkt z. B. zur Trägermodulation verwendet werden können. (Um den Schrot des Sekundärelektronenverstärkers klein zu halten, kommt es nur darauf an, gleich in den ersten Stufen eine möglichst hohe Verstärkung zu erzielen).

Wenn auch mit einem Netz in der von Weiß vorgeschriebenen Anordnung eine geringere Verstärkung als mit einer Platte erreicht wird, so ergeben sich doch gegenüber dem Sprungbogen- oder dem Kästchenverstärker verschiedene Vorteile: Einfacher und gedrängter mechanischer Aufbau, kein Bedarf zusätzlicher elektrischer oder magnetischer Felder, geringe Sättigungsspannung zwischen

^{*)} E. Ruska (1935—36) und H. Wulfheckel (1937—38).

zwei Stufen. Wenn der Sekundäremissionsfaktor einer Platte bei einer Elektronengeschwindigkeit von U Volt und senkrechtem Auftreffen $x(U)$ und der Bedeckungsgrad des Netzes a ist, so gilt, grob angenähert, für die Netzverstärkung:

$$k(U) = (1-a) + a \cdot x(U).$$

Bei $U = 70$ Volt beträgt x für Ag—Cs₂O—Schichten maximal 4,4; mit $a = 0,42$, wie es für die benutzten Netze zutrifft, ergibt sich $k(U)$ etwa 2,4. Man kann

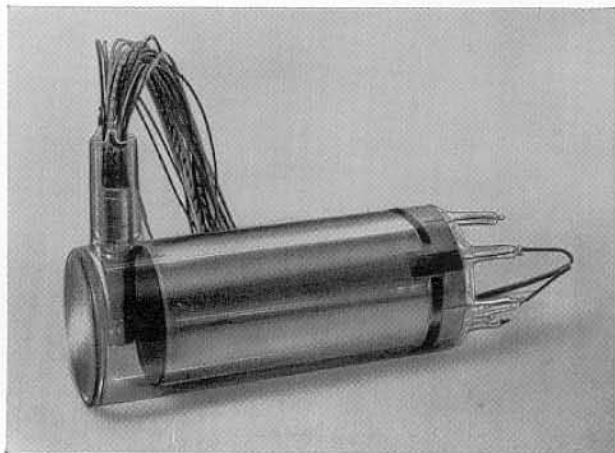


Abb. 4: Bildsondenröhre 1937.

also etwa mit 20 Netzen bei einer Gesamtspannung von ca. 1400 Volt eine optimale Verstärkung von $4 \cdot 10^7$ erreichen, und zwar trägheitsfrei bis zu Frequenzbandbreiten, welche die heute verwendeten noch weit übersteigen. Bei diesem Ueberschlag ist vorausgesetzt, daß alle ausgelösten Sekundärelektronen abgesaugt werden. Andererseits fallen die Primärelektronen ja zum Teil streifend auf die Netzdrähte, der Sekundäremissionsfaktor für sie ist somit höher. Bei Betrachtung eines Netzes in einer Vielzahl von Stufen ist weiterhin zu bedenken, daß die durch vorhergehende Netze durchfallenden Elektronen höhere Geschwindigkeit entsprechend zwei oder mehr Stufenspannungen haben. Es hat sich experimentell ergeben, daß eine Vervielfachung von 2,4 pro Netz etwa in einem zehnstufigen Verstärker bei 70 Volt Stufenspannung erreichbar ist.

Technische Ausführung.

Um höhere Photoempfindlichkeit und damit bei gleicher Beleuchtung weniger Schrot zu erzielen, erwies es sich schon frühzeitig als notwendig, statt der durchsichtigen eine undurchsichtige Kathode zu verwenden. Dadurch wurde es nötig, den Sekundärverstärker in den Lichtweg zu setzen (Abb. 3 und 4). Bei der Filmabtastung müssen für das Zeilensprungverfahren von jedem Filmbild nacheinander zwei Halbbilder (z. B. durch ein Prismensystem *) erzeugt werden. Dadurch entsteht in der Mitte des Lichteintrittsfensters eine Dunkelzone (6),

*) E. Kosche und W. Büniger.

in der sich der Verstärker befindet, Lichtverlust tritt also nicht ein. Bei der Diapositivsendung dagegen empfiehlt es sich, den Verstärker so einzuschmelzen, daß die Blende etwa 20 mm von der Achse entfernt sitzt. Eine Verminderung der elektronenoptischen Abbildungsgüte tritt nicht ein.

Bei der Herstellung der Bildsondenröhre sind einige Gesichtspunkte zu beachten, auf die kurz eingegangen werden soll.

Die Photokathode.

Zur Auslösung der Elektronen dienen die bekannten Silber-Caesium-Schichten oder auch die von Görlich (7) angegebenen Legierungskathoden. Aus Silberblech z. B. wird ein Topf von 100 mm Durchmesser mit einem 20 mm hohen Rand gedrückt. Bei der geringen Tiefenschärfe von Objektiven großer Oeffnung werden an die Planheit und den zur Kolbenachse senkrechten Einbau der Kathode hohe Anforderungen gestellt. Bei einer Neigung der Kathode um mehr als 2° treten am Rande schon Verwaschungen von Bildpunktgröße auf. Auf einfachere Weise lassen sich diese Forderungen durch Verwendung einer geschliffenen Glasplatte als Kathodenträger erfüllen. Auch gelingt es, durch das nach dem Evakuieren erfolgende Aufdampfen der Silberunterlage infolge der größeren Sauberkeit leichter fleckenfreie und gleichmäßig empfindliche Kathoden herzustellen. Die neueste Entwicklung führte unter Verwendung der glastechnischen Erfahrungen dazu, ebenso wie das Lichteintrittsfenster auch die die Kathode tragende Platte auf den Kolben aufzuschmelzen. Durch eine in den Zylinder eingedrückte Delle wird dafür gesorgt, daß beim gleichzeitigen Aufdampfen *) der Kathoden- und Anodenschicht die zwischen beiden nötige Isolation gewahrt bleibt (Abb. 5).

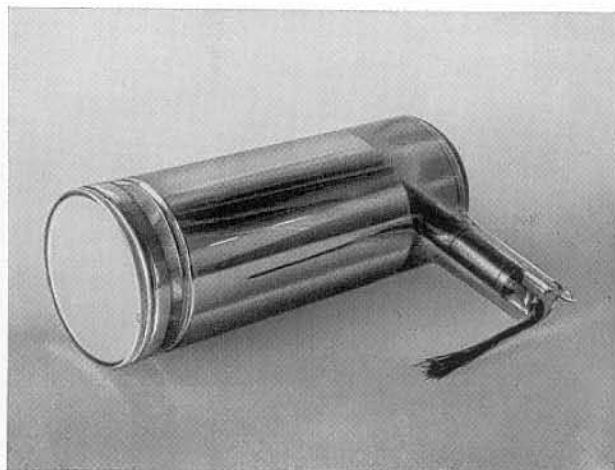


Abb. 5: Bildsondenröhre 1939.

Die Anode.

Während anfangs die Anode, die sich ja in den Kippfeldern befindet, als aus unmagnetischem Chromnickelblech hergestellter Zylinder ausgebildet

*) R. Möller.

war, zeigte sich mit Erhöhung der Bildpunktzahl, daß die durch die Kippwechselspannung (Zeilenfrequenz etwa 10 000 Hz) induzierten Wirbelströme zu Verzerrungen der Kippfelder, die sich vor allem in einer Verlängerung des Rücklaufs äußern, Anlaß

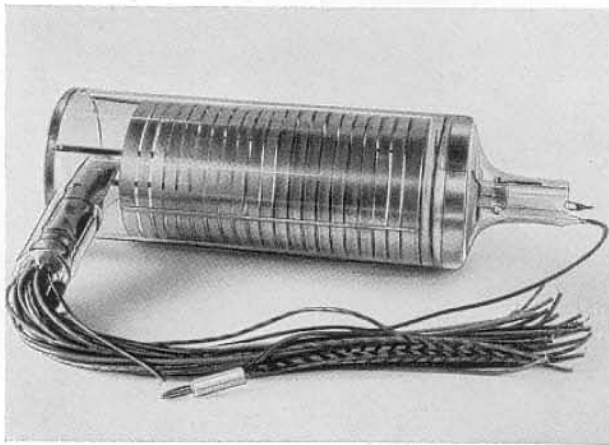


Abb. 6: Bildsondenröhre mit unterteilter Anode 1939.

gaben. Auch hatte die so bewirkte Erwärmung des Anodenblechs einen unerwünschten Einfluß auf die Lebensdauer der Photokathode. Da eine Verringerung der Blechdicke aus Stabilitätsgründen nicht angängig war, ging man dazu über, den Anodenzylinder zu schlitzen oder aber ihn aus schmalen Blechzylindern zusammensetzen. Wesentlich ist, daß in der Ebene der Zeilenkippspulen möglichst wenig geschlossene und große Induktionsschleifen entstehen (Abb. 6). Während durch diese Maßnahme die Verzerrungen auf ein geringes Maß verkleinert werden konnten, lassen sie sich am vollständigsten bei Verwendung einer dünnen auf die Glaswand direkt aufgetragenen Silber-, Nickel- oder Platinschicht vermeiden (Abb. 5).

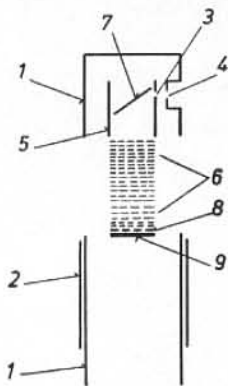


Abb. 7: Schematische Darstellung des Prallgittervervielfachers.

Die Sonde.

An Hand von Abb. 7 sei die Konstruktion der in Abb. 8 gezeigten Sonde beschrieben. Den Sekundärverstärker umschließt ein Abschirmzylinder 1, dessen Mittelteil 2 beweglich ist. Hinter einer Vorblende 4 befindet sich auf einem kleinen Zylinder 5 die Bildpunktblende 3, die in eine aufgeschweißte Folie gestanzt wird^{*)}. Bei 441 Zeilen hat

die Blende je nach Größe des Kathodenbildes und der elektronenoptischen Vergrößerung ein zur Erhöhung der Zeilenschärfe rechteckiges Format von etwa $0,1 \times 0,2 \text{ mm}^2$. Der Bilddehnung durch das Magnetfeld von etwa 25° ist durch entsprechende Drehung der Blende Rechnung getragen.

Durch größte glasbläserische Sorgfalt^{†)} ist es möglich geworden, in einen Glasfuß auf einem Kreis von etwa 15 mm Durchmesser 25 Durchschmelzungen, an die die Haltedrähte der Netze 6 angeschweißt werden, unterzubringen. Der Netzabstand beträgt etwa 1 mm. Um Kurzschlüsse zwischen Netzen und Haltedrähnten zu vermeiden, wird über jeden Draht ein Glasröhrchen geschoben. Die durch die Blende tretenden Elektronen fallen zunächst auf eine unter 45° gegen ihre und die Zylinderachse geneigte sekundäremittierende Platte 7 und werden nach Verstärkung zum ersten Netz und dann weiter durch den Verstärker geführt. Ein Teil der das letzte Netz verlassenden Elektronen trifft sofort auf die weitmaschige Nickelnetzaufnahmeelektrode 8, während die Mehrzahl hindurchfliegt und sie erst nach Aufprall und Verstärkung an der den Ver-

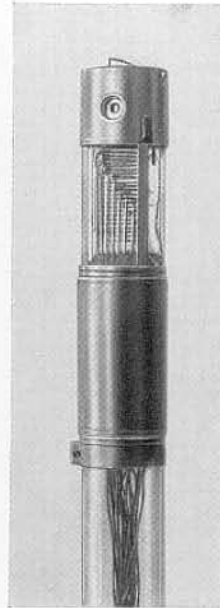


Abb. 8: Prallgittervervielfacher mit Blende.

stärker abschließenden Platte 9 erreicht. Die Potentialverteilung zwischen schräger Platte (7), Blendenzylinder 5 und Abschirmzylinder 1 ist von verschiedenen Gesichtspunkten abhängig:

1. Die am Blendenzylinder und der Vorblendenkante ausgelösten Sekundärelektronen dürfen nicht in den Verstärker gelangen, d. h. das Potential von 1 muß höher als das von 5 sein.
2. Das Potential der Platte muß genügend über dem des Blendenzylinders liegen, damit die an der Platte ausgelösten Sekundärelektronen nicht auf den Blendenzylinder fallen, sondern dem Saugfeld zum ersten Netz des Verstärkers folgen. Sonst ergeben sich einseitige Abschattierungen im Bild.
3. Das Potential des Abschirmzylinders muß so gewählt werden, daß die Wahrscheinlichkeit kalter Entladungen zwischen diesem und den auf höherer Spannung liegenden Netzen gering ist.

Praktisch nimmt man etwa folgende Verteilung vor:

Kathode	:	0 Volt
Anode	:	500 "
Abschirmzylinder	:	1000—1500 "
Blendenzylinder	:	650 "
Schräge Platte	:	700 "

Die Formierung.

Das Hauptproblem besteht darin, neben einer homogenen und allgemein hochempfindlichen Photo-

^{*)} K. Thöm.

^{†)} E. Günzel.

kathode Schichten hoher Sekundäremission zu erzeugen. Nach holländischen Arbeiten ist anzunehmen, daß bei den Cäsiumschichten die optimale Struktur für beide Effekte nicht dieselbe ist. Unter diesen Umständen ist es nur möglich, einen Kompromiß zu schließen, derart, daß man versucht, die Photokathode hochempfindlich zu gestalten evtl. auf Kosten der Sekundäremission. Denn eine ausreichende Verstärkung läßt sich durch eine genügende Stufenzahl immer erreichen, wenn sie eben den Maximalwert nicht ergibt. Aber der die Güte des übertragenen Bildes wesentlich bestimmende

relative Schrot ist proportional $\frac{1}{\sqrt{I_0}}$, wenn I_0 den primären Photostrom bedeutet. Die so erhaltenen Ergebnisse betragen etwa

$$\begin{aligned} \text{Kathodenempfindlichkeit } E &= 25 \mu\text{A/Lm} \\ \text{Verstärkung } v &= 5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6. \end{aligned}$$

Verwendung.

Während heute für direkte Aufnahmen, abgesehen vom Zwischenfilmverfahren, wohl nur Speicherröhren Verwendung finden, wurden noch zur Olympiade 1936 von der Fernseh A. G. mit bestem Erfolg Sondenröhren benutzt (180 Zeilen!). Die Kamera zeigt Abb. 9. Für die Uebertragung stark beleuchteter Gegenstände, z. B. von Filmen oder Diapositiven, eignet sich aber die Bildsondenröhre vorzüglich, weil jedes Störsignal fehlt und die Gleichstromkomponente übertragen wird.

Zusammenfassung.

Nach Darlegung der theoretischen Grundlagen der Bildsondenröhre wird auf einige besonders wichtige bei der Herstellung zu beachtende Gesichtspunkte eingegangen.

Schrifttum.

- (1) DRP 450 187 v. 5. 4. 25.
- (2) USP 1 773 980 v. 7. 1. 27 und USP 1 986 330 v. 17. 4. 28.
- (3) Ph. T. Farnsworth, I. Franklin Inst., Oct. 1934, S. 411.
- (4) G. Weiß, Fernsehen, Juni 1936, S. 41.
- (5) R. Möller, Fernsehen von Fr. Schröter, 1937 (Springer).
- (6) Joh. Schunack, Die Fernsehaufnahmegäräte der EIAR, Rom, Fernseh A. G. Hausm. Bd. 1 (1939) S. 103, Abb. 3.
- (7) P. Görlich, Z. Phys., 1936, 101, 335.

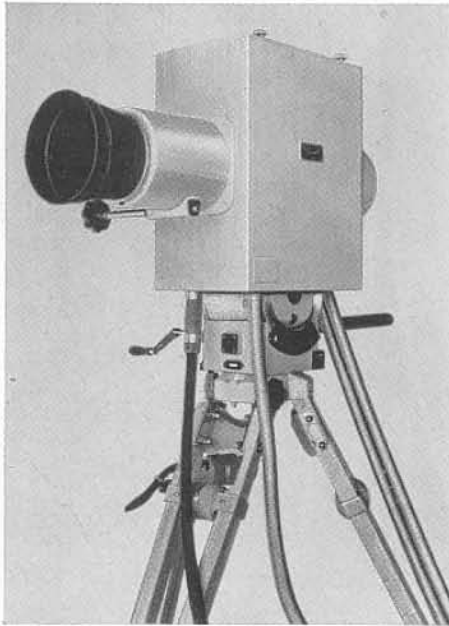


Abb. 9: Elektronenkamera mit Bildsondenröhre Olympiade 1936.

Die Entwicklung der Speicherröhre.

Von R. Behne.

Inhalt: Die Entwicklung der Speicherröhre bei der Fernseh A. G. von den ersten Vorversuchen bis zum heutigen Stand wird unter Berücksichtigung der wichtigsten Entwicklungsstufen beschrieben.

Historischer Ueberblick.

Die ersten brauchbaren Fernsehübertragungen wurden mit mechanischen Bildfeldzerlegern gemacht. Mit steigender Zeilenzahl wird nun bei der punkweisen Abtastung der Lichtstrom rasch kleiner (1); so ergibt sich bei der heute bestehenden Norm von

441 Zeilen eine Zahl von ca. 200 000 Bildelementen, so daß bei 25 Bildwechseln pro Sek. jedes einzelne Bildelement nur für die außerordentlich kurze Zeit von $2 \cdot 10^{-7}$ Sek. belichtet wird. Wollte man nun ein helles Freilichtbild übertragen, so erhält man bei der Benutzung einer guten photoelektrischen Schicht zur

Umwandlung des Lichtstromes in elektrische Energie etwa 50 — 70 Elektronen pro Bildpunkt. Es ist also unmöglich, derart geringe Energien auch nur einigermaßen erträglich schrottfrei zu verstärken. Um das

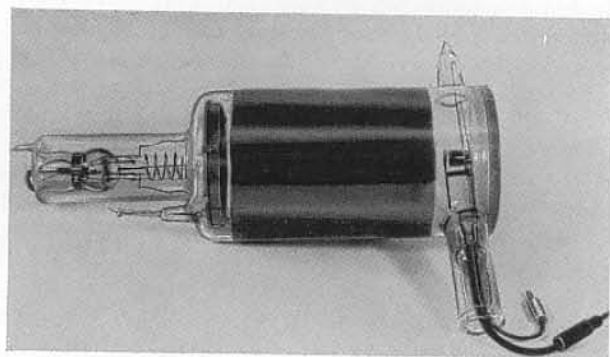


Abb. 1: Versuchs-Speicherröhre aus dem Jahre 1936.

Fernsehen nicht auf ein Sondergebiet beschränken zu müssen, wo genügend hohe Leuchtdichten möglich sind, mußte ein ganz neues Prinzip gefunden werden, das die Lichtausbeute um ein Vielfaches steigert.

Diese Begrenzung wurde durchbrochen durch einen entscheidenden Fortschritt in der Technik der Fernsehsendungen, nämlich der Einführung des Prinzips der „Lichtspeicherung“. Die technische Ausführung dieses Prinzips geht zurück auf die Vorschläge verschiedener Autoren. Der Gedanke der Speicherung ist wohl zum ersten Male klar ausgesprochen von Henroteau (2) und Tihanyi (3), die die Verwendung kleiner Kondensatoren als speichernde Elemente zusammen mit ihrer Abtastung durch einen Kathodenstrahl vorgeschlagen haben, wobei der Vorschlag von Henroteau außer dem Gedanken der Lichtspeicherung noch den der getrennten Löschung und Abtastung enthält.

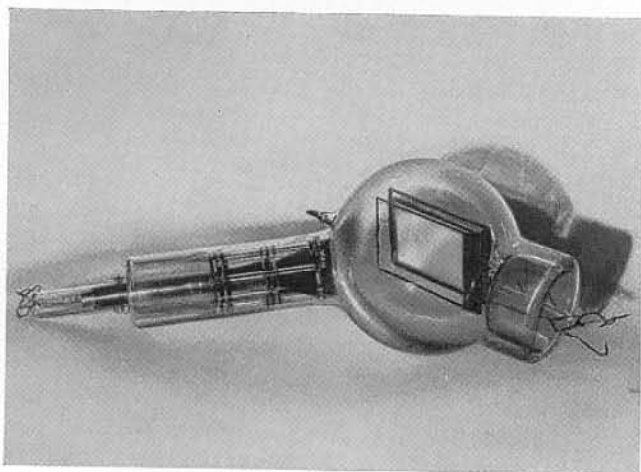


Abb. 2: Speicherröhre Ende 1936.

Als erster hat dann Zworykin (4) eine Anordnung entwickelt, mit der auf Grund des Speicherprinzips ein brauchbares Bild übertragen werden konnte. Seine

Speicherröhre, von ihm „Ikonoskop“ genannt, sei im Prinzip kurz beschrieben: Die Speicherelektrode besteht aus einem Mosaik von vielen kleinen photoempfindlichen Elementen, die voneinander isoliert auf einer dünnen Glimmerplatte aufgebracht sind. Auf der Rückseite der Glimmerplatte befindet sich eine zusammenhängende leitende Schicht, die sogenannte Signalplatte. Mit dieser Signalplatte bilden die Photoelemente kleine Teilkapazitäten.

Das zu übertragende Bild wird nun auf das Mosaik projiziert und die Photoelektronen zur Anode abgesaugt. Die Elemente des Mosaiks laden sich also entsprechend der Helligkeitsverteilung verschieden auf und bilden so als Analogon zum optischen Bild ein Ladungsbild. Der Abtaststrahl überfährt jedes Element einmal während eines Bildwechsels und entlädt es durch die beim Auftreffen der Strahl-

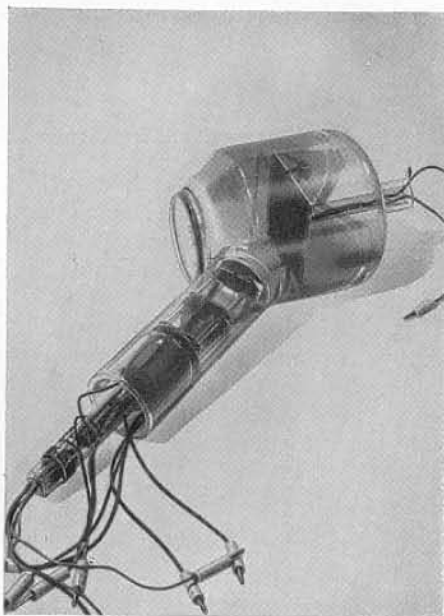


Abb. 3: Speicherröhre mit Planfenster (1937—38).

elektronen auftretende Sekundäremission. Der Impuls, der durch die Signalplatte abfließt, entspricht also nun dem Gesamtwert der aufgespeicherten Ladung während eines Bildwechsels.

Zworykin und seine Mitarbeiter (5) haben dann die beim Betrieb der Speicherröhre auftretenden komplizierten Einzelvorgänge näher untersucht. So vor allen Dingen die beim Speichern und Abtasten am Mosaik auftretenden Potentiale und die infolge der Raumladung mögliche Ausnutzung des theoretischen Effektes, die mit etwa 5—10% angegeben wird.

Weitere Beiträge sind von Heimann und Wemheuer (6) geliefert worden, die die am Mosaik entstehenden Potentiale oszillographisch dargestellt haben, und den vorhandenen Störimpuls näher untersuchten. Außerdem befaßt sich eine Arbeit von Knoll (7) mit dem Störimpuls und den durch ihn hervorgerufenen Erscheinungen.

Die Speicherröhre der Fernseh A. G.

Nach einer Reihe von Vorversuchen wurde Anfang 1936 die erste Versuchsröhre gebaut (Abb. 1)*). Ein zylindrischer Glaskolben mit aufgeschmolzener Planplatte enthält die Speicherelektrode, die auf einem Glasfuß montiert und in etwa 20 cm Entfer-

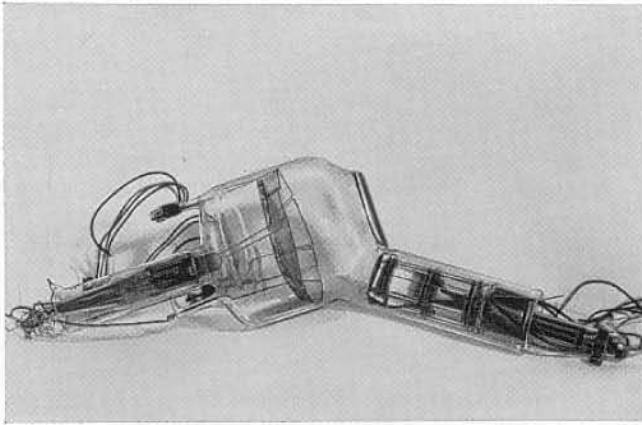


Abb. 4: Speicherröhre mit Sekundärverstärker.

nung von der Planscheibe eingeschmolzen ist. Direkt vor der Planplatte und koaxial mit dem Zylinder befindet sich das Strahlerzeugungssystem. Fokussierung und Kippung erfolgen von außen durch Magnetspulen. Diese Versuchsanordnung wurde aber nicht beibehalten, da sich Schwierigkeiten ergaben durch die Beeinflussung der Elektronenbahnen durch die Magnetfelder und durch die Notwendigkeit, außerordentlich große Kippenergien verwenden zu müssen. Außerdem entstanden durch die Anordnung des Strahlsystems gewisse optische Schwierigkeiten.

Den Entwicklungsstand zum Schluß des Jahres 1936 zeigt die Speicherröhre der Abb. 2. Die Speicher-

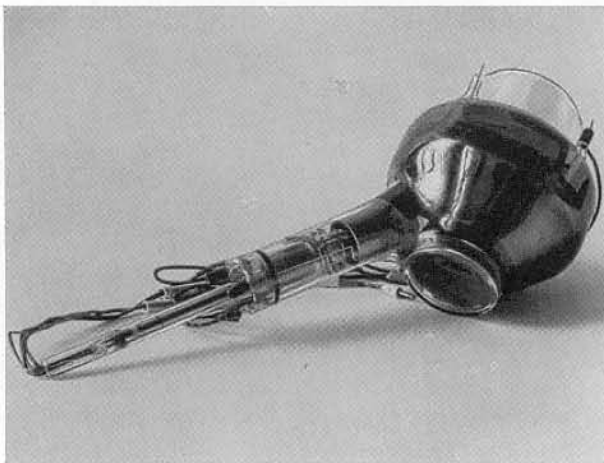


Abb. 5: Kapazitätsarme Speicherröhre (1939).

elektrode ist in einen kugelförmigen Glaskolben eingeschmolzen und steht senkrecht zur optischen Achse. Der Ansatz, der das Strahlsystem enthält,

*) E. Ruska.

bildet mit ihr einen Winkel von 35° , so daß hier eine optisch störungsfreie Projektion gewährleistet ist.

Die Strahlablenkung erfolgt rein elektrostatisch, die Fokussierung jedoch durch überlagerte elektrostatische und magnetische Felder. Strahl- und Ablenkensystem sind im Prinzip bis jetzt unverändert geblieben und werden später näher beschrieben. Vor der Speicherelektrode befindet sich ein Metallrahmen (8). Er bringt gewisse Vorteile bei der Sensibilisierung der Photoelemente und beeinflusst in gewissen Grenzen den Störpuls vorteilhaft.

Abb. 3 zeigt die Bauart der Speicherröhre Ende 1937**). In dieser äußeren Form wurde die Röhre noch auf der Funkausstellung 1938 verwendet. Entsprechend den gesteigerten Anforderungen an die Bildqualität wird hier auf die Projektion des optischen Bildes besondere Sorgfalt verwendet, deshalb erhält der Kolben am Ort des Lichtdurchtritts eine planparallele Platte. Der Kolben selbst hat wieder zylindrische Form. Außerdem wurde besondere Rücksicht auf eine saubere und möglichst erschütterungsfreie Montierung der Speicherelektrode ge-

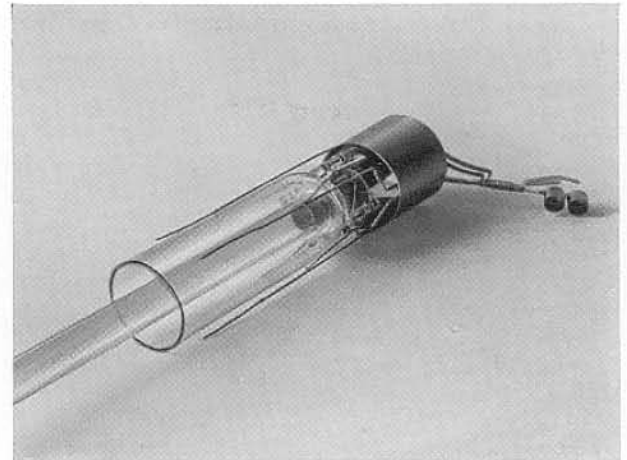


Abb. 6: Ablenkensystem zur Speicherröhre 1939.

nommen. Die Halterung ist dazu vereinfacht und unter dem Gesichtspunkt einer besseren Raumladungverteilung umkonstruiert.

Eingehende Untersuchungen über die Verbesserung der Speicherröhre führten zu einer großen Zahl von Sonderentwicklungen. Als Beispiel dafür sei an dieser Stelle in der Abb. 4 eine Speicherröhre mit Sekundärverstärkung gezeigt***), die außerdem noch einen aufgeteilten Anoden- und Netzrahmen besitzt zum Zwecke der Kompensation der Störpulse.

Heutiger Stand der Entwicklung.

Bei der Röhre neuester Bauart (Abb. 5) wurden die äußeren Abmessungen bei gleicher Größe der Mosaikplatte wesentlich verkleinert mit Rücksicht auf die Konstruktion eines möglichst kleinen und

**) H. Wulfheckel.

***) W. Flechsig.

leichten Kameragehäuses. Neben solchen konstruktiven Forderungen, die auch Rücksicht nehmen mußten auf eine günstige Anordnung des abbildenden optischen Systems, gelang es weiter, einen sehr kapazitätsarmen Aufbau der Mosaik- und Elektrode zu erreichen.

Strahlensystem und Ablensystem sind ebenfalls wesentlich verkleinert worden. Allerdings hat sich an dem grundsätzlichen Aufbau beider Systeme nichts geändert, wenn auch die Größe im Verhältnis 1 : 2 verringert worden ist. Dabei ist durch eine Reihe von Versuchen erreicht worden, daß die Punktschärfe des Abtaststrahls dabei noch verbessert wurde und das Raster frei von Verzerrungen blieb. Das Strahlensystem hat die bereits früher benutzte Intensitätssteuerung durch den Wehneltzylinder und die elektrostatisch-magnetische Fokussierung. Die Anordnung der Ablenkplatten ist aus Abb. 6 zu ersehen. Um trotz des relativ kurzen Ablenkfeldes mit möglichst geringen Ablenkspannungen auskommen zu können, sind die Platten so

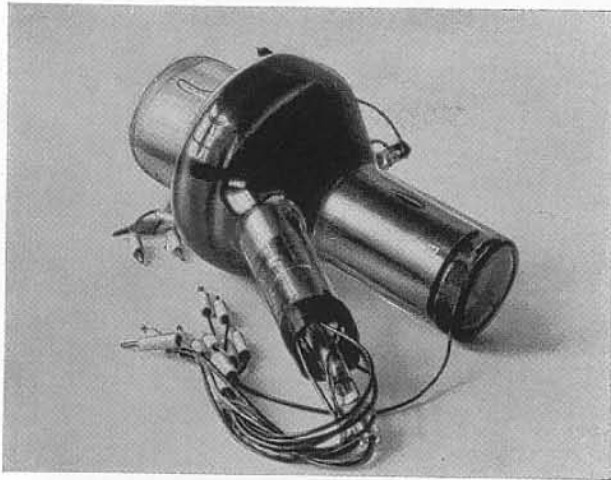


Abb. 7: Speicherröhre mit Vorabbildung.

gekrümmt, daß sie sich möglichst der Strahlkrümmung anpassen (9). Um die Zeilenplatten ist ein Abschirmzylinder angebracht, damit ein Uebergreifen der Ablenkfelder ineinander vermieden wird. Auf dem System ist ein schwenkbarer Ofen befestigt, der zum Aufdampfen der zur Sensibilisierung nötigen Metalle dient.

Die Speicherelektrode ist so in 4 in den Kolben eingeschmolzene Haltestreben eingespannt, daß ein Mikrophoneffekt durch Erschütterungen ziemlich ausgeschlossen ist. Außerdem ist durch genaue Justierung der Speicheranordnung und exakt maßhaltige Kolbenform, die durch sorgfältige Arbeit der Glasbläserei erreicht wurde^{*)}, dafür gesorgt, daß die Speicherröhren ohne große Nachjustierung in der Kamera gegeneinander ausgewechselt werden können.

Die Speicherelektrode und hier vor allem das Mosaik erfordern als der wichtigste Bauteil der

^{*)} E. Günzel.

Röhre die sorgfältigste Durchbildung, und deshalb lag auch hier der Schwerpunkt der Entwicklung. Folgende Forderungen müssen erfüllt werden, wenn ein wirklich einwandfreies Bild übertragen werden soll.

1. Die einzelnen Photoelemente müssen gut voneinander isoliert werden, und zwar muß diese Isolation auch noch nach der Sensibilisierung, d. h. nach der Behandlung mit Metaldämpfen erhalten bleiben; denn für die heute geforderte Auflösung eines Fernsehbildes macht die Erzeugung eines genügend scharfen Strahles keine Schwierigkeiten; jedoch maßgebend für die gute oder weniger gute Schärfe des Bildes ist die mehr oder minder gute Isolation zwischen den Elementen.
2. Um eine möglichst hohe photoelektrische Ausbeute zu erzielen, muß die Mosaikfläche einen hohen Bedeckungsfaktor haben. Es müssen also die Einzelelemente so groß gemacht werden, daß gerade noch genügend viele vom Strahlquerschnitt überdeckt werden, um Ungleichmäßigkeiten zu eliminieren. Da der Strahl etwa 0,1 mm Durchmesser hat, wird also ein Elementdurchmesser von 0,02 mm noch genügen, um diese Forderung zu erfüllen.
3. Bei der Erzeugung der Photoempfindlichkeit (Formierung) der Elemente will man natürlich einmal einen möglichst großen Photoeffekt erreichen, außerdem soll aber das Maximum der Empfindlichkeit auch in einem günstigen Spektralbereich liegen. Für die Uebertragung von Freilichtszenen ist es wünschenswert, daß die spektrale Empfindlichkeit ungefähr der Augenempfindlichkeit angepaßt ist. Wird z. B. eine reine Cäsium-Photoschicht verwendet, so erhalten die Szenen im hellen Sonnenlicht leicht das Aussehen von Infrarot-Photographien. Durch Verwendung geeigneter Formierungsmetalle (10) ist es nun gelungen, Photoschichten zu erzeugen, deren Empfindlichkeitsmaximum dem Bereich der größten Augenempfindlichkeit weitgehend angepaßt ist.
4. Die isolierende Schicht zwischen Mosaik und Signalplatte muß größte Sauberkeit der Oberfläche und absolute Gleichmäßigkeit der Struktur aufweisen.

Mit einer Röhre, die auf Grund dieser Forderungen entwickelt wurde, läßt sich noch ein genügend kontrastreiches Bild von einer Szene mit etwa 50 Lux-Flächenhelligkeit (Tageslicht-Spektralverteilung) und einer Blendenöffnung von 1 : 3,5 übertragen. Normalerweise wird man mit etwa 1000 Lux arbeiten, um einmal eine möglichst große Tiefenschärfe und zweitens Schrottfreiheit zu erreichen. Die Beleuchtungsstärken liegen dabei immer noch erheblich niedriger, als bei Filmaufnahmen.

Speicherröhre mit Vorabbildung.

Gegenüber der vorher beschriebenen normalen Speicherröhre ist nun noch besonders in bezug auf die Empfindlichkeit ein erheblicher Fortschritt erreicht worden, nämlich durch die Speicherröhre mit

Vorabbildung. Die Röhre arbeitet nach folgendem Prinzip: Das optische Bild wird auf eine durchsichtige Photokathode geworfen und durch die entstehenden Photoelektronen elektronenoptisch auf dem Mosaik abgebildet, das in normaler Weise abgetastet wird (11). Man erreicht dadurch folgende Vorteile:

1. Die Photoschicht ist zusammenhängend und ergibt naturgemäß durch diese vollständige Bedeckung eine größere Ausbeute.
2. Die Photoelektronen werden mit optimaler Spannung zum Raster hin beschleunigt und erzeugen dort Sekundärelektronen, die nicht nur eine größere Anfangsgeschwindigkeit haben, sondern auch bei der Wahl geeigneter sekundäremissionsfähiger Schichten eine wesentlich höhere Ausbeute liefern.

Abb. 7 zeigt die von der Fernseh A. G. gebaute Vorabbildungsrohre. Die äußere Form entspricht der der neueren normalen Speicherröhre mit einem Zylinderansatz und Planscheibe für die elektronenoptische Abbildung. Auf der Planplatte befindet sich die durchsichtige Photokathode, die entsprechend den Betriebsanforderungen für verschiedene Spektralbereiche maximale Empfindlichkeit haben kann. Das Grundmetall bzw. Zusatzmetall wird aus einem schwenkbaren Ofen aufgedampft. Die Speicheranordnung ist bis auf das Mosaik dieselbe wie bei der Normalröhre. Eine Abschirmung der Röhre gegen magnetische Störfelder ist erforderlich, um eine genügende Bildschärfe zu erreichen.

Zusammenfassung.

In einem historischen Ueberblick werden die Gründe, die zur Einführung des Speicherprinzips Anlaß gaben, und die wichtigsten Vorschläge zur Lösung des Problems kurz beschrieben. Darauf folgt auf Grund der ersten praktischen Ausführung einer Speicherröhre eine Darstellung seiner prinzipiellen Anordnung und Wirkungsweise, wobei die wichtigsten Untersuchungen erwähnt werden. Der zweite Teil des Aufsatzes behandelt die Weiterentwicklung der Speicherröhre speziell bei der Fernseh A. G. von den ersten Vorversuchen bis zum heutigen Stand der Entwicklung. Dabei werden außer den einzelnen Entwicklungsstufen der normalen Speicherröhre auch Sonderentwicklungen gestreift, und der Schluß behandelt noch kurz die Speicherröhre mit Vorabbildung.

Schrifttum.

- (1) R. Möller: Fernsehen v. F. Schröter, 1937 (Springer).
- (2) P. Henroteau: Br. P. 335 995.
- (3) K. Tihanyi: Fr. P. 676 546.
- (4) V. K. Zworykin: I. Instn. electr. Engrs. 1933, S. 173. Z. Hochfrequenztechn. 43, 1934, S. 109.
- (5) V. K. Zworykin: G. A. Morton u. L. E. Flory: Proc. Inst. Radio Eng. 25, 1937, S. 1071.
- (6) W. Heimann u. K. Wemheuer: ENT. 15, 1938, S. 1.
- (7) M. Knoll: Z. techn. Phys. 19, 1938, S. 307.
- (8) W. Heimann: Deutsche Pat.-Anm. 143 742.
- (9) W. Flechsig: Hausm. 1, 1939, S. 90, Heft 3.
- (10) P. Görlich: Z. Phys. 101, 1936, S. 335.
- (11) H. G. Lubszynski u. S. Rodda: Br. P. 442 666.

Die Fernseh-Sprechtechnik.

Von Johannes Schunack und Rolf Maly.

Inhalt: Es werden die verschiedensten Entwicklungsstufen und der jetzige Stand der Fernsprechtechnik an Hand der von der Fernseh A. G. für die Deutsche Reichspost gelieferten Anlagen geschildert.

Die Fernseh-Sprechtechnik hat die Aufgabe, zu dem gesprochenen Wort gleichzeitig auch das Bild des Sprechers mit zu übertragen, um so ein vollkommeneres Verständigungsmittel zu schaffen. Den ersten Schritt zu diesem Ziele stellt die augenblickliche Einrichtung des Fernseh-Sprechverkehrs der Deutschen Reichspost zwischen und innerhalb der Großstädte Berlin, Leipzig, Nürnberg, München und Hamburg dar. Diese Städte sind untereinander durch das in Abb. 1 gezeigte Fernspeakernetz (1) verbunden; die Karte zeigt weiter die im Bau und in der Vorbereitung befindliche Ausweitung des Systems nach der Ostmark und dem Westen.

Im heutigen Entwicklungszustand ist die Fernseh-Sprechverbindung an die Unterbringung des Fernseh-Sprechgastes innerhalb einer sogenannten Fernseh-Sprechzelle gebunden; dies ist ein für die Fernseh-Uebertragung eigens hergerichteter Raum: Die Wände sind zur Erzielung einer guten Reflexion innerhalb der Zelle (Ulbricht'sche Kugel) geweißt (2); durch Ausbrüche in der dem Sprechgast gegenüberliegenden Zellenwand wird die Abtastung vorgenommen und gleichzeitig das Bild des Gegensprechers sichtbar gemacht (Abb. 2).

Derartige Fernseh-Sprechstellen sind in verschiedenen bevorzugten Postämtern der in Abb. 1

angegebenen Großstädte untergebracht worden. Der Fernseh-Sprechgast muß sich also zur Vornahme eines Gespräches dorthin begeben.

Die Aufgaben der technischen Einrichtungen (3) einer Fernsprechzelle umfassen, soweit die Fernseh A. G. an deren Entwicklung beteiligt ist (abgesehen von Kabeln, Kabeingangs- und ausgangsverstärkern), aus:



Abb. 1: Fernseh kabelnetz von Großdeutschland.

1. Die Abtastung und die Umwandlung der Helligkeitsimpulse in elektrische Impulse,
2. Die Erzeugung des Gleichlaufes zwischen Sender und Empfänger, die Modulation des Bildinhaltes und der Gleichlaufsignale auf einen für die Kabelübertragung geeigneten Träger sowie
3. Die Umwandlung der elektrischen Impulse in Helligkeitsimpulse auf der Sendeseite und die Wiedergabe dieses Bildes für den Sprechgast.

Zunächst sollen die an das übertragene Bild bisher gestellten Anforderungen kurz zusammengefaßt werden: Für den vorgesehenen Verwendungszweck genügt die Uebertragung eines Brustbildes; damit ergibt sich eine abzutastende Fläche von etwa 45×45 cm, bei einer Tiefe des abzutastenden Raumes von etwa 30 cm. Damit ist dem Sprechgast genügend Bewegungsfreiheit gegeben. Die Tiefenschärfe des optischen Systems muß also entsprechend groß sein. Neben der scharfen Wiedergabe, bedingt durch das Auflösungsvermögen des Fernseh-Systems, muß besonderer Wert auf die korrekte Wiedergabe der verschiedenen Gradationsstufen gelegt werden.

Das durch die Abtastung gewonnene Bild wird auf der Empfangsseite für den Sprechgast wiedergegeben; dadurch werden neue Bedingungen an das Bild gestellt. Die optische Einrichtung muß so getroffen werden, daß ein In-die-Augen-Sehen der Gesprächspartner möglich ist; dies wird erreicht, wenn zwischen Abtastung und Wiedergabeeinrich-

tung ein möglichst geringer Raumwinkel liegt und wenn der Sprechgast durch das Licht des abtastenden Strahles nicht geblendet wird.

In die Bildwirkung geht vor allen Dingen auch die gewählte Fernnorm ein. Die Zeilenzahl bedingt die Querauflösung, also die Schärfe, und das Sichtbarwerden der Zeilenstruktur; der Wunsch nach einer Erhöhung der Zeilenzahl ist daher verständlich, zumal auf der Funkausstellung 1938 gezeigte Abtastbilder den Weg gewiesen haben. Die Bildwechselzahl bestimmt die Flimmergrenze; eine Erhöhung der Bildwechselzahl — diese wurde an zwei kleinen Stationen der Fernseh A. G. durchgeführt — oder die Einführung des Zeilensprungverfahrens erscheint unbedingt angebracht.

Die Fernseh A. G. hat bisher die Abtastung mittels Nipkowscheibe für die Fernseh-Sprechabtastung benutzt. Die wissenschaftlichen Untersuchungen über diese Art der Bilderlegung (4) haben die Grundlagen für die zurzeit im Betrieb der Deutschen Reichspost befindlichen Anlagen gegeben. Anhand der Abb. 3 soll kurz das in den Stationen der Fernseh A. G. geübte Verfahren beschrieben werden: Ein Bild der Lichtquelle wird über eine Optik auf die in einem Gehäuse laufende Nipkowscheibe geworfen. Der so erzeugte Lichtstrahl wird durch die Abbildungsoptik auf die abzubildende Person konzentriert. Die von der Person reflektierten Lichtstrahlen fallen direkt und indirekt auf die in der Zellenwand angebrachten Fotozellen, in welchen die Umwandlung in elektrische Impulse erfolgt. Das empfangene Bild wird über einen Umlenkspiegel 5 in die Kabine hineingespiegelt und für den Fernseh-Sprechgast sichtbar gemacht.

Die in den letzten 5 Jahren von der Fernseh A. G. für das Fernseh-Sprechnetz gelieferten

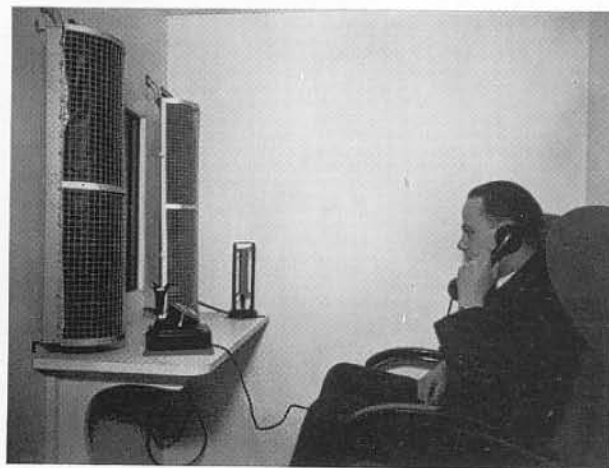


Abb. 2: Inneres einer Fernsprechzelle*).

Stationen lassen die in diesen Jahren durcheilten Entwicklungsstufen erkennen.

Abb. 4 zeigt eine Fernsprechereinrichtung (zu der im übrigen noch Bogenlampen, Gleichrichter,

*) Aufn. Reichspostministerium.

Periodenumformer usw. gehören) aus dem Jahre 1936*).

Der Fortschritt in der Entwicklung wird dokumentiert durch Abb. 5, welche die komplette Gegensehapparatur zeigt**).

Die Abtastung und Umwandlung der Licht- in Helligkeitsimpulse.

Die Sendeseite wird beherrscht von der Lösung des Empfindlichkeitsproblem. Die Möglichkeit der Fortentwicklung ist hier gegeben worden durch die Schaffung der Sekundärfotозellen.

Bei der früher üblichen Benutzung von normalen Hochvakuumfotозellen mit fotoempfindlicher Kathode und Anode wird die Empfindlichkeit begrenzt dadurch, daß die von der Fotозelle abgehenden Spannungen oberhalb des Rauschens des hinter die Fotозelle geschalteten Verstärkers liegen muß. Die Einführung der Sekundärfotозelle (5) gibt neben der Empfindlichkeitssteigerung — die Vervielfachung der Elektronen entspricht einer 100 % igen Modulation des Ausgangsstromes — als weiteren Vorteil die Einsparung des mehrstufigen Niederfrequenzverstärkers.

zwischen Gitter 1 und Gitter 2 auf das Gitter 2 gezogen werden und dort wiederum Elektronen auslösen. So wiederholt sich das Spiel in der oben gezeigten Fotозelle an 17 Gittern. Die Gesamtvervielfachung, also die Gesamtverstärkung, liegt zwischen 10^5 und 10^6 fach. Die Kathodenempfindlichkeit ändert sich hierbei nicht.

Die den verschiedenen Gittern in steigender Größe gegenüber der Kathode zuzuführenden Gleichspannungen werden einem gemeinsamen niedrigohmigen Spannungsteiler entnommen, der in der dargestellten Ausführung den Hals der Zelle umgibt; die einzelnen Gitter sind durch kleine Kondensatoren zur Entkopplung jeweils mit Erde verbunden.

Die Fotозelle ist gesockelt und kann mittels einer Druckschraube aus dem Gegensockel gelöst werden; der Spannungsteiler sowie die Entkoppelkondensatoren sind auf einem Aufbau um die Fotозelle herum angeordnet und mit dieser in einem Gußgehäuse ausschwenkbar untergebracht.

Durch die Schaffung der Sekundärfotозelle und ihre Fortentwicklung bis zu den oben angegebenen großen Verstärkungen ist die Möglichkeit gegeben

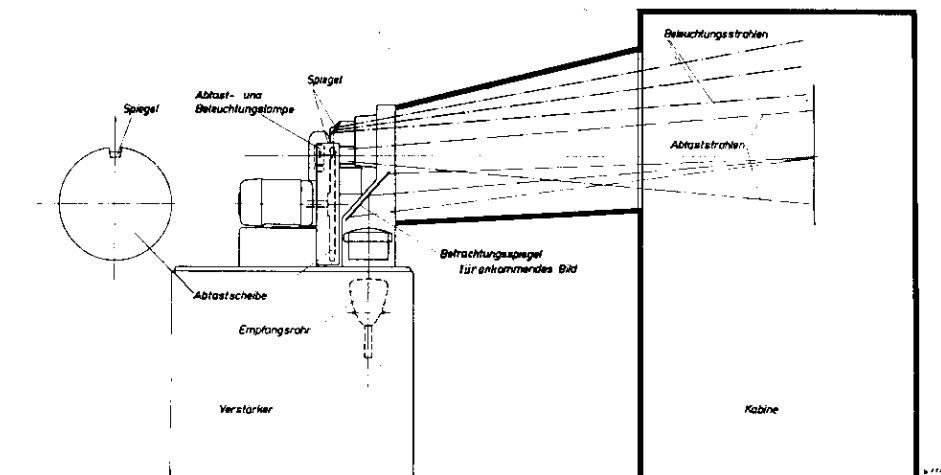


Abb. 3: Schema und optischer Strahlengang einer Fernseh-Sprechereinrichtung.

Abb. 6 zeigt den mechanischen Aufbau einer von der Fernseh A. G. entwickelten und in den Fernseh-Sprechanlagen benutzten Fotозellenanordnung einschließlich des Sekundärverstärkers †): Die von der Fotokathode ausgelösten Elektronen treffen auf das erste Gitter, lösen hier mehrere Elektronen aus, die durch den Spannungsunterschied

*) Die Zerlegerapparatur wurde von R. Möller und K. Thöm entwickelt.

** Der wesentliche Fortschritt liegt in der Verkleinerung der Zerlegerapparatur und geht auf K. Thöm zurück, der auch das erste Modell baute.

†) Die Fotозellen wurden im Hochvakuumlaboratorium der Fernseh A. G. gebaut (W. Hartmann).

worden, die Lichtquelle beachtlich zu verkleinern: An die Stelle der wassergekühlten Magnasollampe (Abb. 4) mit einer Primäraufnahme von etwa 60 bis 80 Amp. Gleichstrom ist eine wechselstromgeheizte Wolframlampe von 750 Watt Aufnahme getreten (ähnlich Abb. 5). Die Verringerung der Leistungsaufnahme der Lichtquelle und die damit verbundene geringere Erwärmung hat es weiterhin ermöglicht, die Lichtquelle näher an die Scheibe heranzurücken und somit eine Verbesserung der optischen Verhältnisse zu schaffen, die eine Verkleinerung der Scheibe und des Scheibenbildes sowie eine Herabsetzung der Drehzahl ermöglichen und zusätzlich eine vergrößerte Tiefenschärfe des abgetasteten Bildes ergeben.

Diese Verbesserungen der abtastenden Organe haben eine stabilere Konstruktion der Scheibe (Abb. 5) ermöglicht: Anstelle der mit 6000 Umdrehungen im Vakuum laufenden Scheibe von 0,1 mm Stärke ist eine massive abgedeckte Scheibe getreten, die in Luft mit 1500 Umdrehungen läuft; der

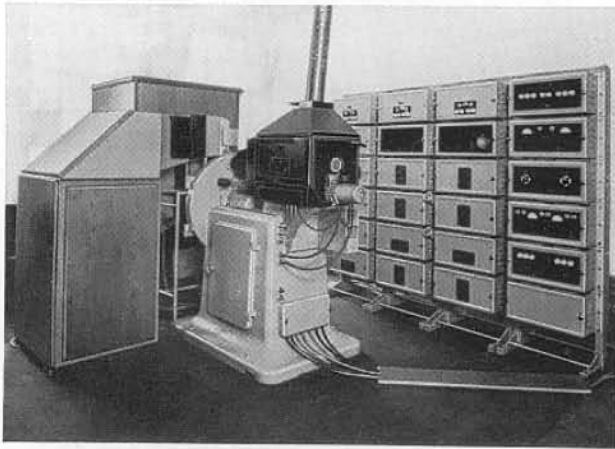


Abb. 4: Vollständige Fernsehsehreinrichtung Baujahr 1936.

Blendenmotor ist in Fortfall gekommen, da infolge der geringen Drehzahl eine Umdrehung der Scheibe der Abtastung eines Gesamtbildes entspricht.

Synchronisierung und Modulation.

Bei der Einführung des Fernsehsehens im Jahre 1935 wurde die Norm des seinerzeitigen Fernseh-Rundfunks übernommen, die eine Zeilenzahl von 180 pro Bild bei 25 Bildern pro Sekunde vorsah. Die Gleichlaufübertragung auf einen modulierten Träger gemeinsam mit dem Bildinhalt erfolgt durch eine Nulltastung des Trägers für die Dauer von 10 % der Zeile am Ende jeder Zeile und eine solche von

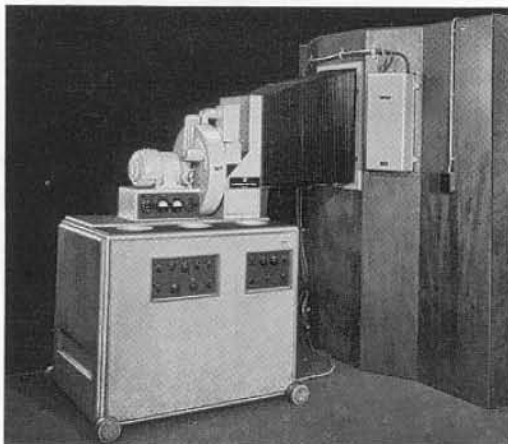


Abb. 5: Vollständige Fernsehsehreinrichtung mit Kabinenbeleuchtung Baujahr 1938. (Versuchsstation 50 Bildwechsel, 150 Zeilen).

9 Zeilen am Ende jedes Bildes. Amplitudenmäßig wird der Schwarzwert auf 30 % des Maximalaus-

steuerungsbereiches, der Weißwert auf etwa 100 % gelegt. Die Uebertragung erfolgt mit einem Träger von 1,3 MHz und einer beidseitigen Bandbreite von jeweils 500 kHz.

Die Erzeugung der Gleichlaufsignale wird bei der Scheibenabtastung vorgenommen durch Abtastung einer Reihe von auf der Zerlegerscheibe angeordneten Schlitten, die am Ende jeder Zeile und jedes Bildes die verlangten Signale ergeben. Ausgehend von der früher in der Fernsehtechnik üblichen Art der Zweikanalsynchronisierung sowie bedingt durch die mit 6000 Touren umlaufende Scheibe wurden Bild- und Zeilengleichlaufsignal auf getrennten Kanälen von der Scheibe abgenommen, dann auf ihre richtige Form gebracht und schließlich für die Uebertragung auf den Einkanal gemischt.

Die Einführung der in Abb. 7 gezeigten Sekundärfotозelle hat auch hier wesentliche Fortschritte ermöglicht. Es ist erreicht worden, daß auf der Scheibe auf einem Lochkranz die Oeffnungen für das gesamte Impulsgemisch gestanzt werden können

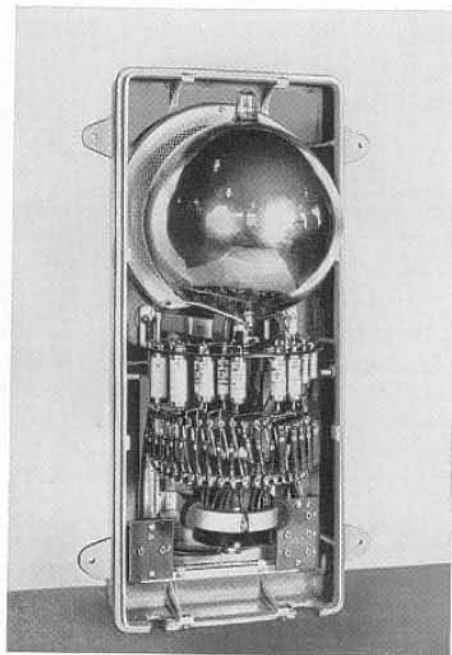


Abb. 6: Fotozellenaufbau mit Spannungsteiler.

und dieses nach Verstärkung in einem Sekundärverstärker direkt bzw. nach einer Umkehr zur Steuerung des Einkanals benutzt werden kann. Teiler, Phasenschieber oder sonstige Einstellvorrichtungen sind damit durch rein mechanisch einmalig einwandfrei festgelegte Vorgänge ersetzt worden; das Impulsgemisch wird durch eine Steilheitsverstärkung noch weiterhin verbessert und mit den Bildsignalen auf einem Widerstand gemischt. Es wird also ein niederfrequenter Einkanal hergestellt und dann dieser niederfrequente Einkanal zur Modulation des Trägers benutzt.

Fig. 8 zeigt die Schaltung der Gleichlauf- und Helligkeitssteuerung sowie der Modulationsstufe. Die Fotozelle 1 mit ihrem Sekundärverstärker lie-

fert an das Gitter einer Röhre 2 ein dem Bildinhalt entsprechendes Spannungsgemisch einschließlich der Grundhelligkeit; die Fotozelle 3 mit ihrem Sekundär-



Abb. 7: 17gittige kleine Stabfotозelle.

verstärker liefert über eine Umkehrröhre 4 die Synchronisierimpulse. Die Anoden dieser beiden Röhren sind parallelgeschaltet und die an ihnen auftretenden Spannungsimpulse steuern nunmehr das

Modulationgerät (Röhren 5 u. 6). Der quartzgesteuerte Schwingungserzeuger 7 liefert an die Gegentaktmodulationsstufe zwei gegenphasige gleich große Trägerfrequenzspannungen; hinter dem Modulator ist eine Endstufe 8 angeordnet, die über einen Uebertrager 9 an den Wellenwiderstand des Kabels angepaßt wird.

Für die Kontrolle der Sendungen sind sowohl auf der Ausgangsseite des Senders wie auf der Eingangsseite des Empfängers Kontrollgeräte vorgesehen, die dem Bedienungspersonal jeweils das Bild und das Amplitudenoszillogramm der Sendung zeigen und so eine saubere Einstellung ermöglichen.

Parallel mit der Verkleinerung des Abtasters sind die Verstärkereinrichtungen für die Sende- und Empfangsseite verkleinert worden und haben einen gedrängten Zusammenbau der gesamten Apparatur einschließlich des Kabinenempfängers ergeben.

Empfänger:

Wie schon früher erwähnt, erfolgt die Wiedergabe des ankommenden Bildes auf dem Schirm einer Braunschen Röhre. Das Bild wird in die Kabine eingespiegelt, so daß der Sprechgast den Eindruck hat, daß ihm der Gesprächspartner gegenüber sitzt.

Man ging nach einigen Versuchen dazu über, als Wiedergaberöhre eine Braunsche Röhre mit 50 cm Schirmdurchmesser zu verwenden, um eine möglichst wirklichkeitsgetreue Wiedergabe des Empfangsbildes in Naturgröße zu gewährleisten. Um eine senkrecht in einen Aluminium-Gußrahmen hängende Braunsche Röhre sind fächerförmig der Ver-

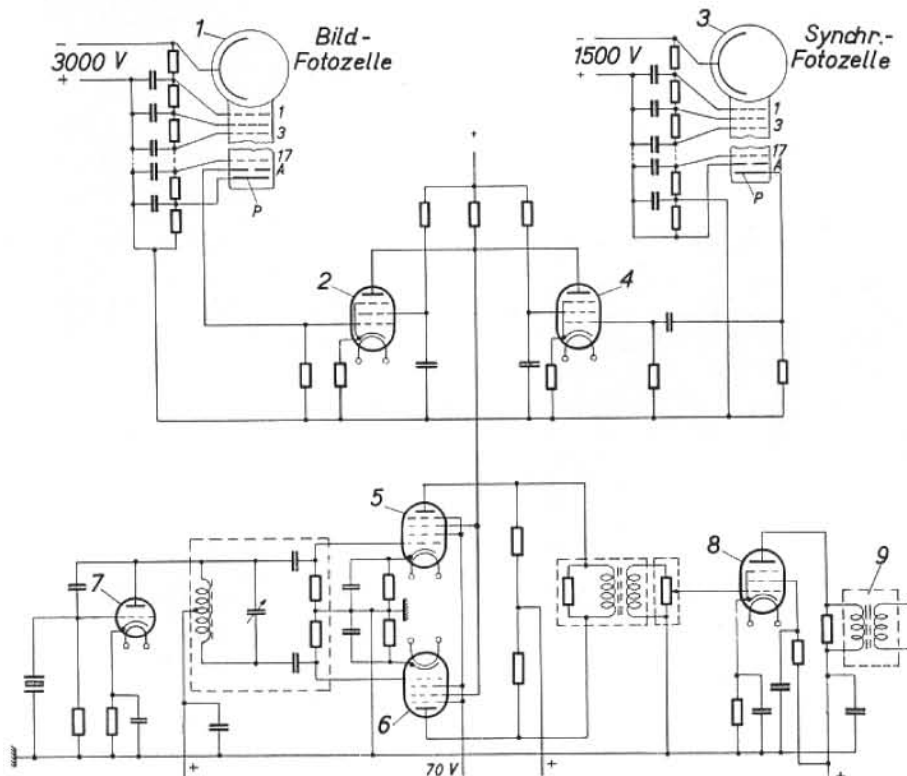


Abb. 8: Prinzipschaltung einer Fernsehsprechsendestelle.

stärker, die Kippgeräte und Netzgeräte aufgebaut. Ueber einen an das Kabel angepaßten Uebertrager wird der modulierte Träger von 1 Volt dem einstufigen Verstärker mit Gleichrichter zugeführt, welcher die Spannung zur Aussteuerung der Braunschens Röhre liefert.

Die Kippgeräte sind selbstschwingend und werden von dem aus dem Trägergemisch gewonnenen Synchronisierzeichen gesteuert. Die Ablenkung erfolgt magnetisch nach Bild- und Zeilenrichtung.

Ein neuartiger Weg wurde bei den neuesten kleinen Fernsehsprechstationen (Abb. 5 u. 9) insofern beschritten, als das ankommende Bild einem Vorschlag von Dr. R. Möller entsprechend auf einer kleinen Braunschens Röhre von 18 cm Schirmdurchmesser mit planem Schirm erzeugt und durch eine Linse stark vergrößert wird*). Man erreicht hier-

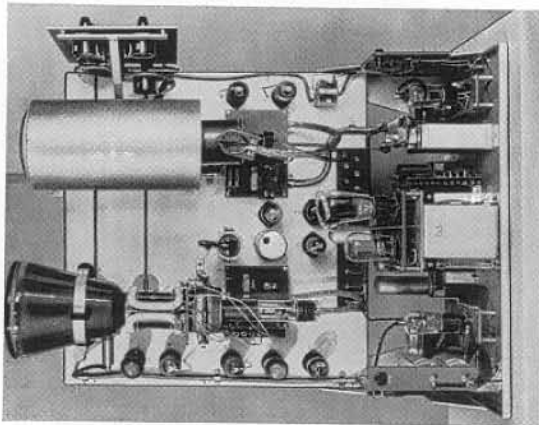


Abb. 9: Kabinenempfänger Baujahr 1938.

durch zweierlei: 1. zwingt man den Gesprächsteilnehmer unbewußt in der Mitte zu sitzen, weil er von dort aus das Bild am besten sieht und 2. erreicht man dadurch eine bedeutend kleinere und einfachere Bauweise. Man wählte auch hier wieder die senkrechte Aufhängung der Braunschens Röhre. Der in der Abb. 9 zu sehende Aufbau enthält links die Braunschens Röhre für die Wiedergabe des Empfangsbildes und rechts die Röhre zur Wiedergabe des dazugehörigen Oszillogramms sowie den Verstärker, die Kippgeräte und Netzgeräte.

*) R. Möller.

Bei den auf der Funkausstellung 1938 erstmalig verwendeten Versuchsstationen für Uebertragungen mit 150 Zeilen bei 50 Bildwechslern pro sec. (Abb. 5 u. 8) wurde noch als Neuerung eine Beleuchtung der Sprechkabine gezeigt**). Der Sprechgast sitzt nicht wie früher in einer dunklen Kabine, sondern in einer beleuchteten. Durch einen in der Scheibe eingebauten Spiegel (Abb. 3) wird während der Bildpause Licht in die Kabine gespiegelt, und zwar von derselben Lichtquelle die für die Abtastung verwendet wird. Die Beleuchtung erfolgt nur während der Bildlücke (insgesamt über 6 Zeilen); durch die rasche Wiederholung der Lichtblitze (50 mal in der Sekunde) erscheint jedoch die Beleuchtung dem Auge als gleichmäßig hell. Die Fotozellen werden während dieser Zeit durch einen negativen Impuls an den ersten Gittern gesperrt und anschließend sofort wieder frei gegeben. In Abb. 3 ist ferner noch schematisch der optische Strahlengang dieser Station mit der Einspiegelung des ankommenden Bildes dargestellt. Durch eine Stoffabdeckung zwischen den Beleuchtungs- und Abtaststrahlen sieht die in der Kabine sitzende Person nur den schwachen Abtaststrahl, während die Kabinenbeleuchtung indirekt eingespiegelt wird und nicht blendet.

Zusammenfassung.

Im vorliegenden Aufsatz werden die Aufgaben des Fernseh-Sprechens erläutert und die Bedingungen, die nötig sind, um eine einwandfreie und naturgetreue Bildzerlegung und Uebertragung zu gewährleisten, beschrieben. Insbesondere wird der von der Fernseh A. G. erzielte Fortschritt auf dem Gebiet des Fernseh-Sprechens gezeigt durch Gegenüberstellung einer modernen Anlage und einer Anlage aus dem Baujahr 1936/37.

Schrifttum.

- (1) K. Küpfmüller u. H. F. Mayer, Veröffentlichungen aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik, Achter Jahrgang, 1938, Vierte Folge, S. 609—621.
- (2) R. Möller: DRP. 676 487 v. 13. 12. 32.
- (3) A. Gehrts, Jahrb. des elektr. Fernmeldewesens, 1938, S. 233.
- (4) R. Möller, Fernsehen 1930, S. 259 u. S. 342.
- (5) G. Weiß, Fernsehen 1936, S. 41.

**) G. Schubert und R. Möller.

Zur Theorie des Breitbandniederfrequenzverstärkers.

Von Fritz Below.

Inhalt: Es wird ein Breitbandniederfrequenzverstärker berechnet und anhand eines Zahlenbeispiels diskutiert. Nach einer Berechnung der Einschwingvorgänge wird die Frequenzabhängigkeit des Verstärkungsgrades und die Phasen- und Gruppenlaufzeit berechnet, wobei durch eine Kapazität über den Anodenwiderstand eine wesentliche Verbesserung gegenüber den bisher beschriebenen Anordnungen erzielt wird.

In der Fernsehtechnik unterscheidet man zwischen Niederfrequenz- und Trägerfrequenzverstärkern. Der Niederfrequenzverstärker verstärkt die Bildströme direkt und hat im modernen Fernsehgerät einen Frequenzumfang von etwa 20 Hz bis $3 \cdot 10^6$ Hz. Der Trägerfrequenzverstärker erhält dagegen die einer Trägerfrequenz aufmodulierten Bildströme, so daß der Frequenzbereich die Trägerfrequenz um etwa 3 MHz nach einer oder nach beiden Seiten umgibt. Von diesen beiden Verstärkerarten hat der Niederfrequenzverstärker den Vorteil, daß er im allgemeinen einen größeren Verstärkungsgrad pro Stufe besitzt, da er nur einen halb so großen Frequenzbereich zu umfassen braucht. Benutzt man beim Trägerfrequenzverstärker jedoch nur das eine Seitenband, so ist der Verstärkungsgrad nahezu gleich dem des Niederfrequenzverstärkers. Der Einseitenbandverstärker hat jedoch den Nachteil, daß die tiefen und die hohen Frequenzen nicht mit gleicher Amplitude wiedergegeben werden. Der Nachteil des Niederfrequenzverstärkers besteht darin, daß er die ganz tiefen Frequenzen, welche die mittlere Helligkeit des Bildes wiedergeben, nicht übertragen kann.

Außer der normalen Bedingung eines konstanten Verstärkungsgrades über den gesamten Frequenzbereich von möglichst 0 bis $3 \cdot 10^6$ Hz muß außerdem der Verstärker über den Gesamtbereich eine möglichst konstante Phasenlaufzeit besitzen, während beim Trägerfrequenzverstärker die geringere Forderung einer konstanten Gruppenlaufzeit ausreicht. Oberhalb der höchsten Uebertragungsfrequenz soll der Verstärkungsgrad des Niederfrequenzverstärkers möglichst schnell abfallen, da diese Frequenzen den Schrotanteil im Fernsehbild erhöhen würden. Es ist bezüglich der Einschwingvorgänge des Verstärkers noch die Forderung zu stellen, daß bei einer plötzlichen Spannungsänderung am Eingang des Verstärkers die Ausgangsspannung sofort folgt und nur sehr langsam den ursprünglichen Wert wieder erreicht.

Im Folgenden sollen nun die Einschwingvorgänge, die Frequenzkurven und die Laufzeiten im Verstärker berechnet werden. Dabei sind auch die Glieder zu berücksichtigen, die zur Erzeugung der Gittervorspannung und zur Entkopplung der einzelnen Verstärkerstufen dienen.

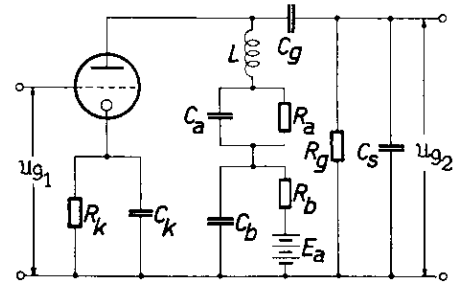


Abb. 1: Schaltung einer Verstärkerstufe.

Das Schaltbild einer solchen Verstärkerstufe ist in Abb. 1 dargestellt. Der Anodenkreis der Röhre enthält eine Selbstinduktion L zur Anhebung der hohen Frequenzen, einen Anodenwiderstand R_a , dem zum Ausgleich für die hohen Frequenzen eine kleine Kapazität C_a parallel geschaltet ist, und ein Beruhigungsglied R_b, C_b zur Entkopplung der verschiedenen Stufen. Die Ankopplung der nächsten Stufe geschieht über eine Kapazität C_g und einen Gitterableitwiderstand R_g , dem die gesamte schädliche Kapazität C_s parallel liegt. Endlich liegt zur Erzeugung der Gittervorspannung im Kathodenkreis der Kathodenwiderstand R_k , der durch eine Kapazität C_k überbrückt wird.

Die Einschwingvorgänge der Verstärkerstufe.

Da für die Einschwingvorgänge hauptsächlich die langsamen Vorgänge interessieren, sollen nur solche Glieder berücksichtigt werden, die einen Einfluß auf die tiefen Frequenzen haben. Das Schaltbild vereinfacht sich daher gemäß Abb. 2.

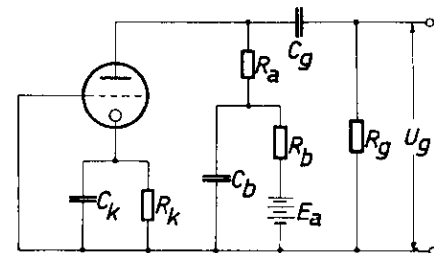


Abb. 2: Ersatzschaltbild einer Verstärkerstufe für die Einschwingvorgänge.

Zur Berechnung der Einschwingvorgänge wird die Differentialgleichung dieses Verstärkers ange-
setzt. Hierbei ergeben sich sechs Ansatzgleichungen.

Die Gittereffektivspannung setzt sich zusammen aus dem Spannungsabfall U_k im Kathodenwider-
stand, der mit negativen Vorzeichen zu versehen ist,
und aus der wirksamen Anodenspannung U_{ak} zwi-
schen Anode und Kathode, die mit dem Durchgriff
multipliziert werden muß, so daß nach Multiplikation
mit der Steilheit die Gleichung für den Anodenstrom
 J_a lautet:

$$J_a = S (-U_k - D U_{ak}). \quad (1a)$$

Nun ist aber die wirksame Anodenspannung gleich
der Anodengleichspannung E_a vermindert um den
Spannungsabfall im Anodenkreis U_a und vermindert
um den Spannungsabfall im Kathodenwiderstand U_k ,
das heißt:

$$U_{ak} = E_a - U_a - U_k, \quad (1b)$$

so daß sich als erste Bedingungsgleichung ergibt:

$$J_a = S [D E_a - U_k (1 + D) - D U_a]. \quad (1)$$

Als zweite Gleichung wird die Spannung im
Anodenkreis berechnet, die sich aus den Spannungs-
abfällen am Anodenwiderstand $J_a R_a$ und am Be-
ruhigungsglied U_b berechnet.

$$U_a = J_a R_a + U_b. \quad (2)$$

Im Beruhigungsglied teilt sich der Anodenstrom
in die Teilströme im Widerstand R_b und im Konden-
sator C_b :

$$J_a = \frac{U_b}{R_b} + C_b \cdot \frac{dU_b}{dt}. \quad (3)$$

Bei den bisherigen Gleichungen ist vorausgesetzt,
daß der Teil des Anodenstromes, der über den fol-
genden Gitterkreis $C_g R_g$ fließt, vernachlässigbar
klein ist. Für tiefe Frequenzen ist diese Vernach-
lässigung zulässig, da ja die schädliche Kapazität
noch keine Rolle spielt und der Gitterwiderstand
einige 100 mal so groß ist, wie der Anodenwiderstand.

Auch im Kathodenkreis gilt die Stromverzwei-
gung, wie sie bereits im Beruhigungsglied besprochen
wurde, so daß diese Gleichung lautet:

$$\frac{U_k}{R_k} + C_k \frac{dU_k}{dt} = \beta J_a. \quad (4)$$

Der Faktor β soll die Schirmgitterröhre in die Rech-
nung einschließen, indem angenommen wird, daß in
erster Näherung der Schirmgitterstrom proportional
mit dem Anodenstrom steigt und sich zu diesem
addiert. Bei Trioden beträgt der Wert für $\beta = 1$.
Bei Pentoden liegt er zwischen 1,1 und 1,2.

Nun muß noch der Gitterkreis der nachfolgenden
Röhre betrachtet werden. Die Summe der Spannungs-
abfälle am Gitterkondensator U_{C_g} und am Gitter-
widerstand U_g muß der Anodenspannung U_a gleich
sein.

$$U_a = U_{C_g} + U_g. \quad (5)$$

Und zum Schluß muß der Strom im Gitterwider-
stand dem im Gitterkondensator gleich sein, der

jedoch klein gegenüber dem Anodenstrom J_a ist, so
daß die letzte Gleichung lautet:

$$\frac{U_g}{R_g} = C_g \frac{dU_{C_g}}{dt}. \quad (6)$$

Aus diesen 6 Gleichungen wird nun die Diffe-
rentialgleichung für die Gitterspannung der folgenden
Röhre U_g berechnet. Aus den Gleichungen (2) und
(3) ergibt sich:

$$U_a = U_b (1 + \frac{R_a}{R_b}) + C_b R_a \frac{dU_b}{dt}. \quad (2a)$$

Setzt man dies in (1) ein, so folgt:

$$J_a = S \left[D E_a - U_k (1 + D) - D U_b (1 + \frac{R_a}{R_b}) - D C_b R_a \frac{dU_b}{dt} \right]$$

Aus dieser Gleichung läßt sich U_k eliminieren:

$$U_k = \frac{D}{1 + D} \left[E_a - U_b (1 + \frac{R_a}{R_b}) - C_b R_a \frac{dU_b}{dt} \right] - \frac{J_a}{S(1 + D)}$$

Dieser Wert für U_k und derjenige für J_a nach Gleichung (3) werden in (4) eingesetzt. Dann folgt für U_b
nach entsprechenden Vereinfachungen die folgende
Differentialgleichung

$$\begin{aligned} R_b D E_a - U_b \left\{ D (R_a + R_b) + \frac{1}{S} + \beta R_k (1 + D) \right\} + \\ + \frac{dU_b}{dt} \left\{ C_b R_b \left[D R_a + \frac{1}{S} + \beta R_k (1 + D) \right] + \right. \\ \left. + C_k R_k \left[D (R_a + R_b) + \frac{1}{S} \right] \right\} + \\ + \frac{d^2 U_b}{dt^2} \left\{ C_b R_b C_k R_k (D R_a + \frac{1}{S}) \right\} \end{aligned}$$

Der Lösungsansatz ist

$$U_b = e^{z t}.$$

Für z ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} z_{1,2} = - \frac{C_b R_b \left[D R_a + \frac{1}{S} + \beta R_k (1 + D) \right] + C_k R_k \left[D (R_a + R_b) + \frac{1}{S} \right]}{2 C_b R_b C_k R_k (D R_a + \frac{1}{S})} \\ + \sqrt{\frac{\left\{ C_b R_b \left[D R_a + \frac{1}{S} + \beta R_k (1 + D) \right] - C_k R_k \left[D (R_a + \right. \right. \\ \left. \left. + R_b) + \frac{1}{S} \right] \right\}^2 - 4 C_b R_b^3 C_k R_k^2 D (1 + D)}{4 C_b R_b C_k R_k (D R_a + \frac{1}{S})}} \quad (7) \end{aligned}$$

und für U_b folgt als Lösung der Differentialgleichung

$$U_b = A e^{z_1 t} + B e^{z_2 t} + U_{b, \infty}, \quad (8)$$

worin A und B Integrationskonstanten darstellen.
Die Gleichspannung $U_{b, \infty}$ an R_b nach Abklingen des
Einschwingvorganges läßt sich aus der Differential-
gleichung errechnen, wie auch leicht aus der Gleich-
strombedingung der Abb. 2, die in Gleichung (1)
wiedergegeben ist:

$$U_{b_{k_0}} = \frac{R_b \cdot D \cdot E_a}{D(R_a + R_b) + \frac{1}{S} + \beta R_k (1 + D)}$$

Zur Abschätzung der Größe der Zeitkonstanten wird in grober Näherung der Durchgriff D sehr klein angenommen und in Gl. (7) alle mit D multiplizierten Glieder vernachlässigt, sowie $\beta = 1$ gesetzt. Dann steht unter der Wurzel nur das reine Quadrat und es folgt:

$$z_1 = -\frac{1}{C_b R_b}; z_2 = -\frac{1 + R_k S}{C_k R_k} \quad (7a)$$

d. h. die Zeitkonstanten des Verstärkers ohne Berücksichtigung des Gitterkreises sind einerseits die Zeitkonstante des Beruhigungsgliedes $R_b C_b$ und andererseits die Zeitkonstante des Kathodengliedes $\frac{C_k R_k}{1 + S R_k}$, bei dem der von der Kathode betrachtete

Innenwiderstand $\frac{1}{S}$ der Röhre dem Kathodenwiderstand R_k parallel geschaltet ist.

Zur Bestimmung der Integrationskonstanten A und B wird angenommen, daß in der Gitterleitung der Röhre noch eine Batterie mit konstanter Spannung eingeschaltet ist, die zur Zeit $t = 0$ kurzgeschlossen wird. Es besteht also anfangs noch eine Spannung U_{b_0} am Widerstand R_b , die erst langsam den Wert U_{k_0} annimmt, gemäß Gl. (8). Als erste Grenzbedingung ist also einzuführen $t \rightarrow 0 \quad U_b = U_{b_0}$ und es ergibt sich

$$U_{b_0} = A + B + U_{b_{k_0}} \quad (9)$$

Als zweite Grenzbedingung ist einzuführen, daß U_{k_0} zur Zeit $t = 0$ noch dem Wert vor Kurzschluß der Batterie entspricht. Der Anodenstrom vor dem Kurzschluß ist

$$J_{a_1} = \frac{U_{b_0}}{R_b}, \text{ so daß nach (4)}$$

$$\frac{U_{k_0}}{R_k} = \beta \cdot J_{a_1} = \beta \cdot \frac{U_{b_0}}{R_b} \text{ folgt.}$$

Hieraus läßt sich nach Gl. (1) J_{a_0} berechnen:

$$J_{a_1} = S [D E_a - U_{k_0} (1 + D) \dots D U_{a_0}]$$

und nach Gl. (2) $U_{a_0} = J_{a_0} R_a + U_{b_0}$.

Der sich dabei ergebende Wert U_{a_1} muß auch die Gl. (2a) erfüllen, so daß hieraus folgt:

$$U_{a_0} = U_{b_0} \left(1 - \frac{R_a}{R_b}\right) + R_a C_b \left(\frac{dU_b}{dt}\right)_0$$

Der Ansatz für U_b führt auf diese Weise zu

$$\left(\frac{dU_b}{dt}\right)_0 = z_1 A + z_2 B \quad (10)$$

Damit lassen sich aus den beiden Grenzbedingungen $t = 0, U_b = U_{b_0}$ und $U_k = U_{k_0}$ nach Gl. (9) und (10) die Integrationskonstanten A und B berechnen.

Nun muß zum Schluß noch das Kopplungsglied $C_g R_g$ berücksichtigt werden. Durch Differenzieren von Gl. (5) und Einsetzen in (2a) und unter Be-

nutzung von Gl. (6) ergibt sich dann

$$\frac{U_g}{R_g C_g} + \frac{dU_g}{dt} \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right) \left[z_1 A e^{z_1 t} + z_2 B e^{z_2 t}\right] + R_a C_b \left[z_1^2 A e^{z_1 t} + z_2^2 B e^{z_2 t}\right] \quad (11)$$

Die homogene Differentialgleichung

$$\frac{U_g}{R_g C_g} + \frac{dU_g}{dt} = 0$$

ergibt als Lösung $U_g = C e^{z_3 t}$, worin C die Integrationskonstante bedeutet und $z_3 = -\frac{1}{R_g C_g}$ ist.

Die allgemeine Lösung heißt dann:

$$U_g = C e^{z_3 t} + E e^{z_1 t} + F e^{z_2 t} \quad (12)$$

Die Konstanten E und F erhält man durch Einsetzen von (12) in (11) und Gleichsetzen der Faktoren der Exponentialfunktionen mit gleichen Exponenten:

$$E = \frac{z_1^2 R_a C_b + z_1 \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)}{1 + \frac{1}{R_g C_g} + z_1} \cdot A$$

$$F = \frac{z_2^2 R_a C_b + z_2 \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)}{1 + \frac{1}{R_g C_g} + z_2} \cdot B$$

Die Integrationskonstante C ergibt sich aus der Grenzbedingung

$$t \rightarrow 0, U_{g_0} = R_a (J_{a_0} - J_{a_1}) \quad (13)$$

Damit ist der Anlaufvorgang bestimmt. Zur Erläuterung werden an Hand eines Beispiels in Abb. 3 die Kurven für die Kathodenzeitkonstante K , die Beruhigungszeitkonstante B , die Gitterzeitkonstante G und die Gesamtfunktion F gegeben.

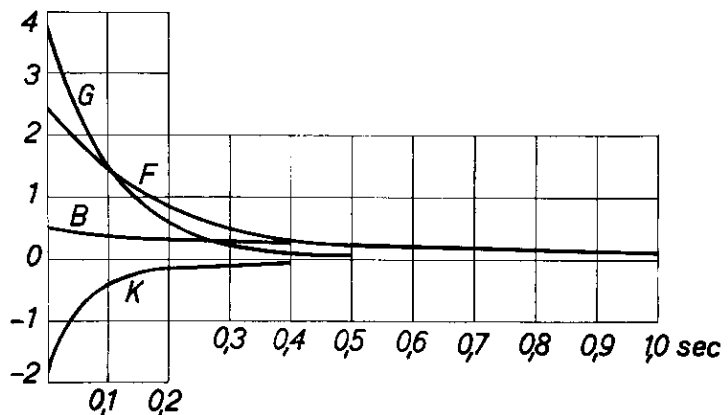


Abb. 3: Die Zeitkonstanten einer Verstärkerstufe.

- G: Gitterkreis.
- K: Kathodenglied.
- B: Beruhigungsglied.
- F: Gesamte Verstärkerstufe.

Die Werte der einzelnen Glieder seien:

$$R_a = 1,5 \cdot 10^3 \Omega, \quad R_b = 8 \cdot 10^3 \Omega, \quad R_k = 6 \cdot 10^2 \Omega, \\ C_b = 10^{-4} \text{ F}, \quad C_k = 3 \cdot 10^{-4} \text{ F}, \quad E_a = 250 \text{ V}, \quad R_g = 10^6 \Omega,$$

$$D = 7 \cdot 10^{-2}, \frac{1}{S} = 3 \cdot 10^2 \Omega, C_g = 10^{-7} \text{ F und } \beta = 1.$$

Die Konstanten folgen mit den obigen Werten zu:

$$z_1 = 15,7 / \text{sec}, z_2 = 1,77 / \text{sec}, z_3 = 10 \text{ sec},$$

$$A = 1,17 \text{ V}, B = 3,83 \text{ V}, C = +4,02 \text{ V}, E = 0,84 \text{ V und}$$

$$F = 0,531 \text{ V}, J_{a_1} = 10,25 \cdot 10^{-3} \text{ A}, J_{a_2} = 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$\left(\frac{dU_b}{dt} \right)_0 = 25,3 \text{ V/sec}, U_{g_0} = 3,71 \text{ V}, U_{b_0} = 82 \text{ V}, U_{b_1} = 87 \text{ V},$$

$$U_{k_1} = 6,15 \text{ V}, U_{a_0} = 101,2 \text{ V}.$$

Zum Vergleich werden nochmals die Werte für die reziproken Zeitkonstanten zusammen mit den z_i zu denen sie gehören, angegeben:

$$\frac{1 + R_k S}{C_k R_k} = 16,7, \quad z_1 = 15,7; \quad \frac{1}{C_b R_b} = 1,25;$$

$$z_2 = 1,77 \text{ und } \frac{1}{C_g R_g} = 10; \quad z_3 = 10.$$

Man sieht hieraus, die unter (7a) angegebene Näherung stimmt einigermaßen.

Die Frequenzabhängigkeit des Verstärkungsgrades und die Laufzeit.

Bei tiefen Frequenzen.

Als Grundlage für die Betrachtungen diene wiederum das Schaltbild in Abb. 1. Da für die tiefen Frequenzen die Induktivität L , die Kapazität C_a und die schädliche Kapazität C_s keine Rolle spielen, werden diese in der Betrachtung nicht berücksichtigt, sondern das vereinfachte Schaltbild Abb. 4 ist hier zu Grunde gelegt. Es wird wieder angenommen,

daß R_g groß gegen R_a ist, so daß der Strom über $C_g R_g$ gegenüber dem Strom durch R_a vernachlässigbar ist.

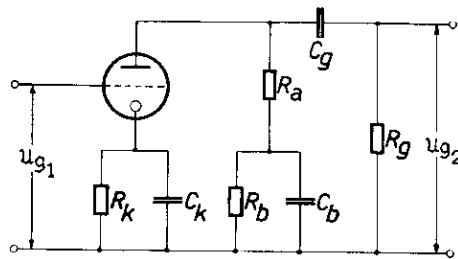


Abb. 4: Ersatzschaltbild der Verstärkerstufe für tiefe Frequenzen.

Die Ansatzgleichungen lauten dann ganz entsprechend den Darlegungen zu den Gleichungen (1) bis (6), so daß hier auf nähere Erläuterungen verzichtet werden kann:

$$\Im_a = S [U_{g_1} - U_k (1 + D) - DU_a]$$

$$U_a = \Im_a R_a + U_b$$

$$\Im_a = \frac{U_b}{R_b} + j \omega C_b U_b$$

$$\frac{U_a}{R_a} + j \omega C_k U_k = \beta \Im_a \quad (14)$$

$$U_a = U_{C_g} + U_{g_2}$$

$$U_{g_2} = j \omega C_g U_{C_g}.$$

Aus diesem Gleichungssystem gilt es U_{g_2} in Abhängigkeit von U_{g_1} zu berechnen.

Die allgemeine Lösung lautet:

$$\frac{U_{g_2}}{U_{g_1}} = \frac{R_g j \omega C_g (R_a + R_b + R_a R_b j \omega C_b) (1 + j \omega C_k R_k) S}{(1 + R_g j \omega C_g) \{ D (R_a + R_b + R_a R_b j \omega C_b) (1 + j \omega C_k R_k) S + (1 + j \omega C_b R_b) [(1 + j \omega C_k R_k) + (1 + D) S \beta R_k] \}} \quad (15)$$

Um aus (15) den Verstärkungsgrad zu bestimmen, muß der Absolutwert gebildet werden, das heißt es müssen Imaginär- und Realteile in Zähler und Nenner voneinander getrennt werden, was auch zur Bestimmung der Phase nötig ist. Die Gleichung (15) geht dann über in

$$\frac{U_{g_2}}{U_{g_1}} = \frac{SR_g \omega C_g \{ \omega [R_a R_b C_b + (R_a + R_b) C_k R_k] - j [(R_a + R_b) - \omega^2 R_a C_b R_b C_k R_k] \}}{N_1} \quad (16)$$

$$\text{wobei } N_1 = \{ [1 + SD (R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_a] - \omega^2 [C_b R_b C_k R_k (1 + SDR_a) + C_g R_g C_k R_k (1 + SD (R_a + R_b)) + C_g R_g C_b R_b (1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k)] \} + j \{ \omega [C_k R_k (1 + SD (R_a + R_b)) + C_b R_b (1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k) + C_g R_g (1 + SD (R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_k)] - \omega^3 C_g R_g C_b R_b C_k R_k (1 + SDR_a) \}.$$

Und für den Verstärkungsgrad V ergibt sich dann:

$$V = \frac{S \omega C_g R_g \sqrt{(R_a + R_b)^2 + \omega^2 \{ R_a^2 C_b^2 R_b^2 + (R_a + R_b)^2 C_k^2 R_k^2 \}} + \omega^4 C_b^2 R_b^2 C_k^2 R_k^2 R_a^2}{|N_2|} \quad (17)$$

$$\text{wobei } N_2 = [1 + SD (R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_k]^2 + \omega^2 \{ C_k^2 R_k^2 [1 + SD (R_a + R_b)]^2 + C_b^2 R_b^2 \cdot [1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k]^2 + C_g^2 R_g^2 [1 + SD (R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_k]^2 + 2 C_k R_k^2 C_b R_b^2 DS \beta (1 + D) \} + \omega^4 \{ C_b^2 R_b^2 C_k^2 R_k^2 (1 + SDR_a)^2 + C_g^2 R_g^2 C_k^2 R_k^2 [1 + SD (R_a + R_b)]^2 + C_g^2 R_g^2 C_b^2 R_b^2 [1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k]^2 + 2 C_g^2 R_g^2 C_k R_k^2 C_b R_b^2 S^2 D \beta (1 + D) \} + \omega^6 [C_g^2 R_g^2 C_k^2 R_k^2 C_b^2 R_b^2 (1 + SDR_a)^2].$$

Der Verlauf des Verstärkungsgrades ist in Abb. 5 dargestellt. Wie aus dieser Abbildung zu ersehen ist, erreicht der Verstärkungsgrad bei etwa 15 Hz seinen Maximalwert, bei 10 Hz ist er um 2,5% und bei 5 Hz um 10% pro Stufe gesunken. Dabei ist auch hier das obengenannte Zahlenbeispiel der Rechnung zu Grunde gelegt.

Zur Bestimmung der Laufzeit werden die Phasenwinkel für Zähler und Nenner getrennt berechnet:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_z &= \frac{(R_a + R_b) \cdot \omega^2 R_a R_b C_b R_k C_k}{\omega [R_a R_b C_b + (R_a + R_b) R_k C_k]} \\ \operatorname{tg} \alpha_n &= \frac{\omega [R_k C_k (1 + SD(R_a + R_b)) + R_b C_b (1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k)] + \dots}{1 + SD(R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_k - \omega^2 [R_b C_b R_k C_k (1 + SDR_a) + \dots]} \\ &\quad + \frac{R_g C_g (1 + SD(R_a + R_b) + (1 + D) \beta SR_k)}{+ R_g C_g R_k C_k (1 + SD(R_a + R_b)) + R_b C_b R_g C_g (1 + SDR_a + (1 + D) \beta SR_k)} \end{aligned} \quad (18)$$

Für ganz tiefe Frequenzen ist $\omega \rightarrow 0$ zu setzen, so daß $\alpha_z \rightarrow \frac{\pi}{2}$ und $\alpha_n = 0$ werden. Der Gesamtphasenwinkel ist dann $\alpha = \alpha_n - \alpha_z = -\frac{\pi}{2}$.

Für hohe Frequenzen sind in Gl. (18) nur die jeweils höchsten Potenzen von ω zu berücksichtigen, so daß für diese die Phasenbeziehungen lauten:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_z &= \omega \frac{R_a R_b C_b R_k C_k}{R_a R_b C_b + (R_a + R_b) R_k C_k} \\ \operatorname{tg} \alpha_n &= \omega \frac{R_b C_b R_g C_g R_k C_k (1 + SDR_a)}{R_b C_b R_k C_k (1 + SDR_a) + R_g C_g R_k C_k (1 + SD(R_a + R_b)) + R_b C_b R_g C_g (1 - SDR_a + (1 + D) \beta SR_k)} \end{aligned} \quad (19)$$

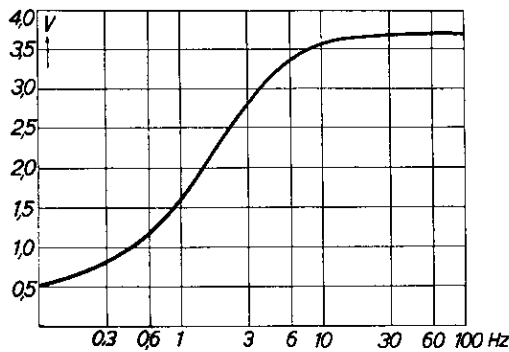


Abb. 5: Verlauf des Verstärkungsgrades V einer Stufe bei tiefen Frequenzen.

Beide Werte sind proportional ω , so daß für große ω $\alpha_z = \alpha_n = \frac{\pi}{2}$ und ihre Differenz $\alpha = 0$ wird.

Die Phasenlaufzeit $\varphi = \frac{\alpha}{\omega}$ geht daher von $\varphi = \dots$ bei $\omega \rightarrow 0$ nach $\varphi = 0$ bei hohen Frequenzen.

Da die Differenzbildung bei hohen Frequenzen sehr große Rechengenauigkeit erfordert, ist eine Vereinigung der beiden Formeln (18) vor der Berechnung empfehlenswert. Diese wird hier jedoch nicht durchgeführt.

Die Gruppenlaufzeit $\gamma = \frac{d\alpha}{d\omega}$ läßt sich berechnen nach der Formel

$$\frac{d\alpha}{d\omega} = \frac{\frac{d\alpha_n}{d\omega}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - \frac{\frac{d\alpha_z}{d\omega}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_z} \quad (20)$$

Um die wirklichen zeitlichen Verzögerungen zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung zu erfassen, wird zur Berechnung von Phasen- und Gruppenlaufzeit die Differenz $\alpha_n - \alpha_z$ gewählt im Gegensatz zur üblichen Darstellung im umgekehrten Sinne; denn eine positive Laufzeit bedeutet, die Ausgangsspannung kommt in der Phase später als die Eingangsspannung und eine negative Laufzeit bedeutet ein Voreilen der Ausgangsspannung.

Das wichtigste ist die Phasenlaufzeit. Ist diese konstant, so sind Eingangs- und Ausgangsspannung genau in der Form identisch, das heißt die Ausgangsspannung ist ein genaues Abbild der Eingangsspannung, von denen erstere nur um den Verstärkungsgrad vergrößert ist. Eine konstante Gruppenlaufzeit bedeutet jedoch, daß die Umhüllungskurve eines Kurvenzuges erhalten bleibt, während zwischendurch der Verlauf stark phasenverschoben sein kann.

Bei einer trägerfrequenten Uebertragung genügt eine Konstanz der Gruppenlaufzeit. Bei einer idealen niederfrequenten Uebertragung ist dagegen eine Konstanz der Phasenlaufzeit erforderlich, obgleich für viele Zwecke auch für Fernsehübertragungen eine konstante Gruppenlaufzeit ausreichend sein dürfte.

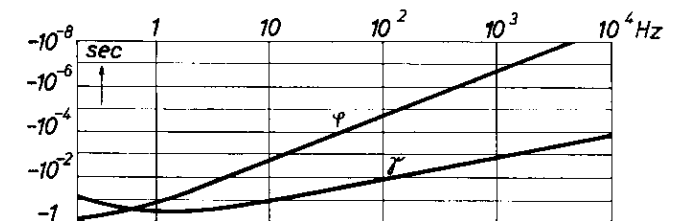


Abb. 6: Phasen- (φ) und Gruppenlaufzeit (γ) bei tiefen Frequenzen.

Die Diagramme Abb. 6 zeigen den Verlauf von Phasenlaufzeit φ und Gruppenlaufzeit γ . Die tieferen Frequenzen haben eine größere Phasenlaufzeit, die bei der Bildwechselfrequenz zwischen 25 und 50 Hz bei etwa 1 msec liegt. Das heißt bei einem 441-Zeilen-Bild mit einer Zeilenfrequenz von etwa 10 000 Hz werden bei einem waagerechten Querstrich auf dem Bilde, also z. B. der Trennlinie zwischen hellem Himmel und dunkler Erde, die tiefsten Frequenzen um etwa 10 Zeilen verschoben. Bei der Zeilenfrequenz selbst ist jedoch die Phasenlaufzeit bereits auf 10^{-3} μ sec gesunken, d. h. eine senkrechte Trennlinie im Bild wird nur um etwa $\frac{1}{100}$ Bildpunkt verschoben, der eine Dauer von 0,17 μ sec hat. Die Gruppenlaufzeit dagegen beträgt bei etwa 25 bis 50 Hz rund 60 msec., um bei der Zeilenfrequenz auf Werte von etwa 160 μ sec. abgesunken zu sein; das ist rund eine Zeile.

Für die höheren Frequenzen als etwa 10 000 Hz ist jedoch die Induktivität bereits zu berücksichtigen, so daß die oben genannten Zahlen einer Korrektur bedürfen.

Bei hohen Frequenzen

Für die hohen Frequenzen haben die Kathodenkapazität C_k und die Beruhigungskapazität C_b nur einen sehr kleinen Widerstand, so daß sie als Kurzschluß betrachtet werden können. Ebenso ist die Gitterkapazität C_g gegen die schädliche Kapazität C_s zu vernachlässigen, so daß der Rechnung das Schaltbild Abb. 7 zu Grunde gelegt wird.

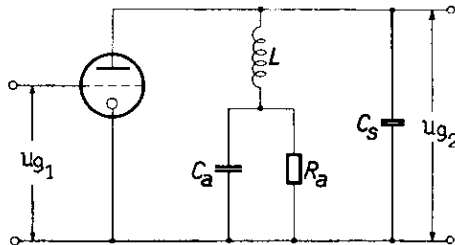


Abb. 7: Ersatzschaltbild einer Verstärkerstufe für hohe Frequenzen.

Die Grundgleichungen zur Berechnung werden entsprechend den Gleichungen (1) bis (6) aufgestellt. Sie lauten nach Abb. 7:

$$\begin{aligned} \mathcal{I}_a &= S (U_{g1} - D U_a) \\ U_a &= U_L + U_{R_a} \\ U_a &= U_{g2} \\ \mathcal{I}_a &= \frac{U_L}{j\omega L} + j\omega C_s \cdot U_{g2} \\ \frac{U_{R_a}}{R_a} + j\omega C_a U_{R_a} &= \frac{U_L}{j\omega L} \end{aligned} \quad (21)$$

Aus diesem Gleichungssystem folgt als Endgleichung:

$$\frac{U_{g2}}{U_{g1}} = S \frac{[R_a (1 - \omega^2 C_a L) + j\omega L]}{N_3} \quad (22)$$

wobei $N_3 = \left\{ (1 - \omega^2 C_s L) + (1 - \omega^2 C_a L) S D R_a \right\} + j \left\{ R_a [\omega C_a + \omega C_s (1 - \omega^2 C_a L) + \omega L S D] \right\}$.

Der Absolutwert stellt den Verstärkungsgrad V dar:

$$V = S \cdot \sqrt{\frac{R_a^2 + \omega^2 (L^2 - 2 R_a^2 C_a L) + \omega^4 R_a^2 C_a^2 L^2}{N_4}} \quad (23)$$

wobei $N_4 = (1 + S D R_a)^2 + \omega^2 \{ R_a^2 (C_a + C_s)^2 + 2 C_s L + S^2 D^2 (L^2 - 2 R_a^2 C_a L) \} + \omega^4 \{ C_s L [C_s L - 2 R_a^2 C_a (C_a + C_s)] + R_a^3 C_a^2 L^2 S^2 D^2 \} + \omega^6 R_a^2 C_a^2 C_s^2 L^2$.

Diese Gleichung hat die Form:

$$V = S \sqrt{\frac{p_0 + \omega^2 p_1 + \omega^4 p_2}{q_0 + \omega^2 q_1 + \omega^4 q_2 + \omega^6 q_3}} \quad (23a)$$

Da der Verstärkungsgrad V über einen großen Frequenzbereich konstant sein soll, muß man die Bedingung

$$\frac{p_0}{q_0} = \frac{p_1}{q_1} = \frac{p_2}{q_2} \quad (23b)$$

erfüllen. Bis zu der Grenzbedingung $\omega^6 \cdot q_3 \ll q_0 - \omega^2 q_1 + \omega^4 q_2$ bleibt dann der Verstärkungsgrad konstant. Aus diesen Gleichungen (23b) ergeben sich als Lösungen einer biquadratischen Gleichung die günstigsten Werte für C_a und L , die eine besonders einfache Form annehmen, wenn man näherungsweise wieder $D = 0$ setzt.

$$\begin{aligned} C_a &= C_s (2 \sqrt{3}) \\ L &= R_a^2 C_s (\sqrt{3} - 1). \end{aligned} \quad (24)$$

Die übrigen Lösungen der biquadratischen Gleichung sind imaginär oder führen zu einem negativen L und sind daher ohne Bedeutung. Näherungsweise ist

$$C_a = \frac{1}{4} C_s \text{ und } L = \frac{3}{4} R_a^2 \cdot C_s \quad *)$$

Für $C_s = 20$ pF und $R_a = 1500 \Omega$ werden daher $C_a = 5$ pF und $L = 35 \mu$ H. Abb. 8 gibt dann für diese Werte den Verlauf des Verstärkungsgrades und zeigt, daß die Verstärkung bis zu etwa 3 MHz ohne Abfall erfolgt. Bei 2 MHz ist die Verstärkung um etwa 7% gestiegen und bei 5 MHz um rund 10% abgesunken.

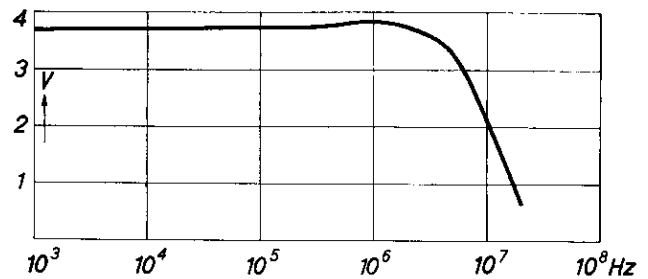


Abb. 8: Verstärkungsgrad V bei hohen Frequenzen.

Ebenso interessieren die Gruppen- und Phasenlaufzeit für hohe Frequenzen. Wie oben beschrieben folgen aus Gl. (22) für die Phasenwinkel vom Zähler

$$\text{tg} \alpha_z = \frac{\omega L}{R_a (1 - \omega^2 C_a L)}$$

*) eine Lösung, die zuerst von Dr. K. Brückenstein gefunden wurde.

und vom Nenner

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{R_a [\omega C_a + \omega C_s (1 - \omega^2 C_a L) + \omega SLD]}{1 - \omega^2 C_s L + (1 - \omega^2 C_a L) \cdot SDR_a}$$

Für tiefe Frequenzen ist $\omega^2 C_a L \ll 1$ und ebenso

$$\omega^2 C_s L \ll 1, \text{ so daß für diese } \operatorname{tg} \alpha_n \approx \frac{\omega L}{R_a} \text{ und}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n \approx \frac{R_a \omega (C_a + C_s) + \omega SLD}{1 + R_a SD}$$

wird. Da außerdem für kleine α , $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$ gesetzt werden kann und da für $\alpha = \alpha_n$ α_z einzusetzen ist, folgt für tiefe Frequenzen

$$\alpha = \omega \left[\frac{R_a (C_a + C_s) + LSD}{1 + R_a SD} \cdot \frac{L}{R_a} \right] \quad (25)$$

Die Phasenlaufzeit $\varphi = \frac{\alpha}{\omega}$ ist also für tiefe Frequenzen konstant, was verlangt wird. Erst bei Frequenzen, die in die Nähe der Eigenfrequenzen von $C_a L$ bzw. $C_s L$ kommen oder wo einer der Werte von $\alpha > 0,2$ wird, bei dem die Bedingung $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$ nicht mehr erfüllt ist, muß die Näherungsgleichung (25) korrigiert werden. Nach Gleichung (24) ist jedoch C_s etwa 4mal so groß wie C_a , so daß die Eigenfrequenz von $C_s L$ die Hauptrolle spielt.

Für die Grenzfrequenz, die zu $\omega_g^2 = \frac{1}{C_s L}$ angenommen wird, soll die Phasenlaufzeit noch der Gl. (25) entsprechen, wobei wieder

$$C_a = \frac{1}{4} C_s, L = \frac{3}{4} R_a^2 C_s \text{ und } D = 0$$

gesetzt werden.

Dies führt zu der Gleichung

$$\omega_g R_a C_s = \operatorname{ctg} \frac{1}{2} \omega_g R_a C_s \quad (26)$$

Die Lösung dieser Gleichung heißt $\omega_g R_a C_s = 1,306$. Setzt man für L den Wert aus Gl. (24) zur Berechnung von ω_g ein, so wird $\omega_g R_a C_s = 1,170$. Dieser Wert stimmt mit der Bedingung aus Gleichung (26) ungefähr überein. Eine geringe Änderung von L oder C_a gestattet es, die Phasenlaufzeit etwas zu verbessern, allerdings auf Kosten der Frequenzabhängigkeit des Verstärkungsgrades.

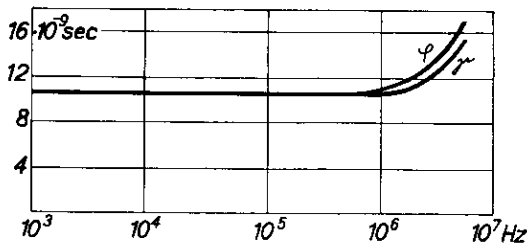


Abb. 9: Phasen- (φ) und Gruppenlaufzeit (τ) bei hohen Frequenzen.

Ein Beispiel mit obigen Zahlen, das in Abb. 9 dargestellt ist, zeigt, daß die Phasenlaufzeit φ bei 2 MHz nur um $1,5 \cdot 10^{-9}$ sec und bei 5 MHz um $6 \cdot 10^{-9}$ sec vom Normalwert abweicht, was bei einer Bildpunktdauer von $0,17 \mu\text{sec}$ etwa 0,01 bzw. 0,03 Bildpunkten entspricht. Diese geringe Phasen-

verzerrung, die erst bei 30 Stufen eine Verschiebung von einem Bildpunkt bei 5 MHz erreicht, ist ganz ohne Bedeutung, so daß die Gleichung (26) mit genügender Genauigkeit erfüllt ist. Gleichzeitig ist in der Abb. 9 auch die Gruppenlaufzeit τ eingetragen.

Damit ist an sich der Verstärker beschrieben. Die Laufzeiten, die für die tiefen und hohen Frequenzen berechnet sind, müssen an der Stoßstelle ineinander übergeführt werden, was in erster Näherung durch einfache Addition geschieht. Der Gesamtverlauf sei nun noch einmal in der Abb. 10 zusammengestellt. Die Kurven der Phasenlaufzeit stoßen an der Achse nicht zusammen, weil die Zeit logarithmisch aufgetragen ist und daher die Achse dem Wert von $1 \cdot 10^{-9}$ sec. entspricht. Die obigen Werte gelten pro Stufe, bei mehreren Stufen sind die Verstärkungsgrade der einzelnen Stufen zu multiplizieren und die einzelnen Laufzeiten zu addieren. Zum Vergleich ist in Abb. 10 der Verstärkungsgrad einer derartig dimensionierten Stufe gestrichelt eingetragen. Die Phasenlaufzeit konnte nicht gemessen werden, da sie im Meßbereich von 50 Hz bis 6 MHz kleiner als 1% der Schwingungsdauer ist, und daher unterhalb der Meßgenauigkeit liegt. Die Gruppenlaufzeit wurde nicht gemessen, da sie für diese Untersuchungen keine Bedeutung hatte.

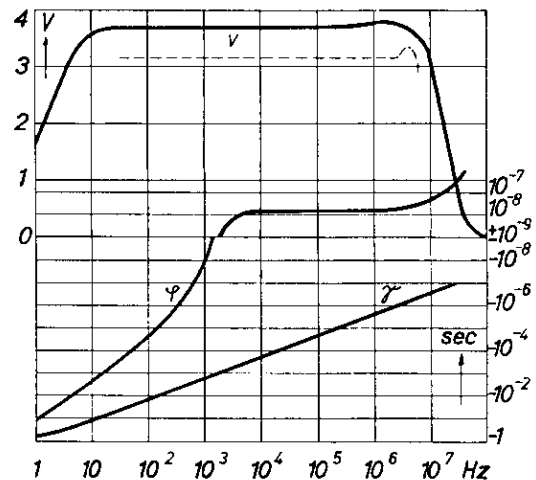


Abb. 10: Verlauf von Verstärkungsgrad V , Phasen- (φ) und Gruppenlaufzeit (τ) für den gesamten Frequenzbereich. Die punktierte Linie stellt den gemessenen Verstärkungsgrad dar.

Die Laufzeit für die tiefen Frequenzen wird durch die Schwarzsteuerung zum Teil wieder korrigiert, und zwar am Anfang jeder Zeile, so daß bis zu 10^4 Hz eine geringe Phasenverschiebung keine große Rolle mehr spielt. Von 10^4 Hz an jedoch ist, wie aus Abb. 10 ersichtlich ist, die Phasenlaufzeit praktisch konstant.

Zusammenfassung.

Die Berechnung der Einschwingvorgänge des Verstärkers zeigt, daß die Hilfsglieder für die Erzeu-

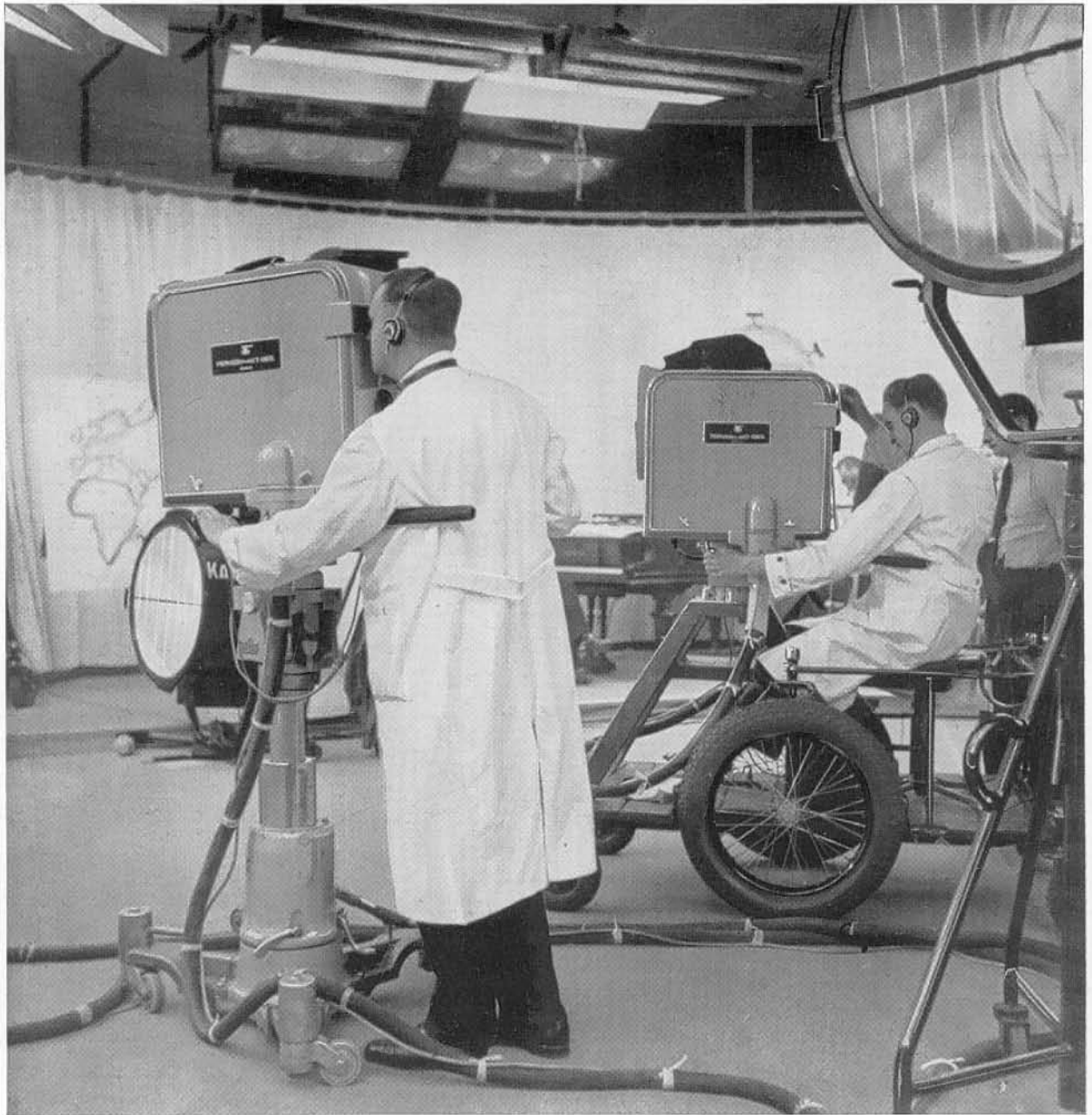
gung der Gittervorspannung und die Ankopplung der Stufen untereinander die Gesamtzeitkonstante des Verstärkers vergrößern. Anhand eines Zahlenbeispiels wird nachgewiesen, daß eine Zeitkonstante von 0,2 sec. pro Stufe leicht zu erreichen ist.

Der Verstärkungsgrad wird für tiefe und hohe Frequenzen berechnet. Ein Zahlenbeispiel zeigt, daß der Verstärkungsgrad bei einer 3,7fachen Verstärkung über einen Bereich von 5 bis $5 \cdot 10^6$ Hz auf 10 % konstant gehalten werden kann. Auch die Phasen- und Gruppenlaufzeit wird berechnet, wobei die Phasenlaufzeit für den Niederfrequenzverstärker die

wichtigere ist. Das Zahlenbeispiel zeigt, daß die Phasenlaufzeit in dem genannten Bereich von 5 bis $5 \cdot 10^6$ Hz pro Stufe kleiner als 1 % der Schwingungsdauer ist, was für alle Zwecke ausreichend ist.

Schrifttum.

- Filipowski, Radio-Amateur, Wien. 16, 1939, 77.
Kleen, Telefunkenröhre, 11, 1937, 230.
S. W. Seeley, C. N. Kimball, RCA-Review. 2, 1933, 171.
F. Alton Everest, Electronics. 11, 1938, 24.
H. Pieplow, ENT. 14, 1937, 225.



Der unbestechlichste Prüfstein für neuartige technische Geräte, die das Laboratorium verlassen haben, ist die raue Betriebspraxis.

Als immer bereite Diener der Fernseh-Sendungen arbeiten die beiden Bildfang-Kameras seit vielen Monaten im Aufnahmerraum des Deutschlandhauses, Berlin-Charlottenburg.