Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 39 (1948)
Heft: 25

Artikel: Neue Methoden der Schnellbildtelegraphie
Autor: Schröter, Fritz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057977

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

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

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

Download PDF: 23.08.2025

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

39 année | N° 25 | Samedi, le 11 Décembre 1948

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Neue Methoden der Schnellbildtelegraphie

Von *Fritz Schröter* *)

621.397.3

Es wird ein Schnellbildtelegraph beschrieben, bei dem die Bildfeldzerleger an Stelle mechanischer Organe nach beiden Koordinatenrichtungen abgelenkte Kathodenstrahl-Lichtpunkte sind. Das Sendedokument steht still. Beim Geber wird Reflexionsabtastung benutzt. Die Kathodenstrahlröhren sind magnetisch fokussiert und abgelenkt; sie haben plane Schirme, beim Bildgeberrohr aus weitgehend nachleuchtfreiem Zinkoxyd, beim Bildschreibrohr, das speichernd wirken muss, aus stark nachleuchtfähigem Material oder vom Strahl blau verfärbtem Kaliumchlorid bestehend. Um die nötigen Anforderungen hinsichtlich Bildgeometrie und Bildpunktschärfe zu erfüllen, werden Kissenentzerrung, automatische Kompensation der Bildfeldwölbung und selbsttätig regelnde Scharfstellung der Lichtpunkte angewendet.

Die Abtastung konnte bis zu 2000 Bildzeilen bei 100 mm Rasterhöhe getrieben werden. Praktisch kommt man für alle Zwecke mit 1200 Zeilen für das zerlegte Bildfeld von 20 cm × 14 cm aus. Auf Breitbandkanälen (Hochfrequenzkabel, Dezimeterwellen-Netze) wurden Übertragungszeiten von der Grössenordnung 1 s erzielt; Bruchteile dieses Zeitbedarfs können bei Weiterentwicklung der Speichermittel als erreichbar gelten. Damit wird die Benutzung vorhandener Fernseh-Kanäle und -Anlagen für eine Bildtelegraphie von extremer Geschwindigkeit sinnvoll und die Einblendung solcher Übertragungen in Ferngespräche möglich.

L'auteur décrit un dispositif de téléphotographie ultrarapide, dans lequel l'exploration de l'image s'opère non pas mécaniquement, mais par balayage vertical et horizontal à l'aide de rayons cathodiques, tandis que le document à transmettre demeure immobile. A l'émetteur, l'exploration a lieu par réflexion. Les tubes à rayons cathodiques sont à focalisation et déflexion magnétiques; ils comportent un écran plan. Dans le tube émetteur, l'écran lumineux est recouvert d'oxyde de zinc, qui a très peu de rémanence, tandis que l'écran du tube récepteur est recouvert de matière fluorescente de forte rémanence ou de chlorure de potassium, qui prend une teinte bleue sous l'effet des rayons cathodiques. La fidélité et la netteté de l'image sont obtenues par compensation de la distorsion en coussin, compensation automatique de la courbure du champ et focalisation automatique des points lumineux.

L'exploration a pu être portée jusqu'à 2000 lignes par 100 mm de hauteur de la trame. En pratique, 1200 lignes sont suffisantes pour une image de 20 cm × 14 cm. Dans des canaux à larges bandes (câbles à haute fréquence, réseaux à ondes décimétriques), le temps de transmission est de l'ordre de 1 s. Ce temps pourra encore être réduit, lorsque des accumulateurs électroniques appropriés auront été mis au point.

Ces nouvelles méthodes permettent d'utiliser avantageusement les canaux et installations de télévision actuels pour une téléphotographie ultrarapide et d'incorporer de telles transmissions dans les circuits téléphoniques.

Der im folgenden beschriebene Schnellbildtelegraph ist im Laboratorium für Elektronenoptik der Telefunken-Gesellschaft in den Jahren 1941...1943 entstanden. Ihm liegen im wesentlichen fernsehtechnische Erfahrungen zugrunde. Die seine Entwicklung kennzeichnenden Merkmale und Absichten seien hier kurz zusammenfassend vorangestellt. Es sind:

1. Ersatz der teuren mechanischen Präzisionsteile hergebrachter Bildtelegraphen durch *elektronische* Bildfeldzerleger in Form von *Kathodenstrahlröhren*. Dies bedeutete die Verlegung der hohen Genauigkeitsanforderungen von der mechanischen auf die elektrische Seite. Der Stand der Elektronenoptik und der Schaltungstechnik (Ablenk- und Regelorgane) liess eine brauchbare Lösung erwarten [1]).

2. Reflexionsabtastung der Sendebildvorlage mit Hilfe eines deren Fläche in normaler Zeilenbewegung überstreichenden scharf fokussierten Lichtbündels, dessen zurückgestrahlter Anteil das Telegraphiersignal photoelektrisch auslöst. In Anbetracht der stark veränderlichen Lage des Reflexionspunktes erschienen für die Erzielung einer genügend ausgeglichenen Signalamplitude 2 symmetrisch zum abgetasteten Felde stehende, elektrisch parallelgeschaltete Photozellen unvermeidlich.

3. Inkaufnahme mässiger Wiedergabe von Halbtönen. Gute Gradation wird als eine für Schnellbildtelegraphie minder vitale Voraussetzung angesehen, da in erster Linie die Übermittlung von Schwarz-Weiss-Dokumenten in Frage kommt. Beim Erproben des Geräts zeigte sich aber, dass auch die Grauskala befriedigend übertragen wird. Eine vollwertige Reproduktion derselben ist durch die weiter unten kurz besprochene Vervollkommnung des Abtasters erreichbar.

4. Vermeidung von mechanischen Transportvorrichtungen und von Verbiegungen des Sendedokuments, z. B. durch Aufwickeln auf Zylinderflächen. Der Bildträger sollte also während der Übertragung stillstehen, und alle bildzerlegenden Funktionen waren ausschliesslich von den Elektronenstrahlen zu übernehmen, deren Bewegung daher eine nach *beiden* Koordinatenrichtungen jener der mechanischen Geräte äquivalente Genauigkeit der Bildpunktlage gewährleisten musste.

5. Möglichkeit *direkter Übertragung* von Bildern plastischer Gegenstände. Die Erfüllung der Vorschriften unter Punkt 4 erlaubte und bestätigte die Annahme, dass es innerhalb gewisser Grenzen des Tiefenunterschiedes gelingen werde, räumliche Gebilde ohne Anfertigung eines Photo-Zwischenklischees, also im Original, abzutasten.

*) Eingang des Manuskriptes: 21. November 1946.

[1]) Auf die durch Kathodenstrahlröhren grundsätzlich gebotenen Möglichkeiten zur Umstellung der Bildtelegraphie von der Mechanik auf die Elektronik hat der Verfasser erstmals in der Telefunken-Zeitung Nr. 71 (1935), S. 26, aufmerksam gemacht. Eine fortgeschrittene Behandlung des gleichen Problems erschien in den Telefunken-Mitteilungen Nr. 85 (1940), S. 20. Der dort abgedruckte Vortrag des Verfassers «Über Grenzgebiete der Fernsehforschung» war für die 2. Internationale Fernsehtagung in Zürich vorbereitet, deren Abhaltung im Herbst 1939 der Kriegsausbruch verhinderte. Mit den Kriegsereignissen hängt auch zusammen, dass das zitierte Heft Nr. 85 der Telefunken-Mitteilungen nur in wenigen Exemplaren verbreitet ist.

6. Praktisch vollkommene *Trägheitslosigkeit.* Die Verwendung rein elektronischer Mittel stellte von vornherein, bei Ausnutzung von Breitbandkanälen mit hinreichend kleiner oder fehlender Laufzeitdispersion (Hochfrequenzkabel, Dezimeterwellen-Netze, Ultrakurzwellen-Verbindungen), extrem hohe Übertragungsgeschwindigkeiten in Aussicht. Die Grenze schien unter dieser Bedingung grundsätzlich nur durch die verfügbaren Registriermethoden des Bildempfangs gegeben zu sein.

Bei Inanspruchnahme von Fernsehkanälen, unter Einbezug der für diese vorhandenen Bildverstärker und Ablenkschaltungen, musste es also im Prinzip möglich sein, die Übertragung des Bildtelegramms auf den Schirm einer Kathodenstrahlröhre in Bruchteilen einer Sekunde zu bewerkstelligen. Gelang dies, so war der Gedanke realisierbar, Schnell-Faksimilesendungen in Ferngespräche, die über den gleichen Kanal laufen, ohne fühlbare Störung derselben zeitlich *einzublenden.* Dieses Ergebnis würde nicht nur die Ausnutzung des Netzes steigern, sondern könnte auch dem Wesen des telephonischen Fernverkehrs ganz neue Züge verleihen. Zweifellos kann das durch das Bild ergänzte Telephongespräch für Behörden und Industriezwecke grosse Bedeutung erlangen.

7. Anwendung von Bildempfangspeichern. Aus dem angedeuteten Zweck ergab sich die Notwendigkeit, das blitzartig übermittelte Faksimiletelegramm optisch zu *speichern,* um seine Auswertung durch das Auge zu ermöglichen. Da die Photographie kein sofort lesbares Bild liefert, bestand die Aufgabe, andere Speicherverfahren zu entwickeln, die dies leisten. Für bestimmte Fälle bot ein lange nachleuchtender Phosphoreszenzschirm, der durch den bildübertragenden Kathodenstrahl unmittelbar, eventuell in einigen Wiederholungen, angeregt wird, gute Aussichten. Daneben interessierten die weiter unten besprochenen Wege.

8. Gleiche Auflösungsschärfe wie bei mechanischen Bildfeldzerlegern. Diese Forderung bedeutete eine Rasterung von 5 Zeilen/mm. Da jedoch mit optischer Vergrösserung eines primären Lichtpunktrasters zu rechnen war, um gängige Dokumentenformate mit feinsten Einzelheiten verarbeiten zu können, musste die elektronenoptische Schärfe auf dem Leuchtschirm der Geberröhre viel weiter gesteigert werden. So wurde die Grenze bei 2000 Zeilen auf etwa 100 mm Rasterhöhe, also 20 Zeilen/mm, festgelegt. Sie wurde tatsächlich erreicht [2]).

9. Verstellbarkeit des Auflösungsgrades. Es erschien für Spezialanwendungen geboten, das Gebergerät so einzurichten, dass bei einem gegebenen Übertragungsdokument einzelne, besonders interessierende Teile mit grösstmöglicher Feinheit des Rasters abgetastet werden können (z. B. Ausschnitte aus Landkarten). Diese Bedingung erforderte leichte Verstellbarkeit für das Objektiv, die Abtaströhre und die benutzten Photozellen. Sie wurde erzielt durch Kupplung der Verschiebung aller drei Teile, so dass die Grösse des projizierten Leuchtzeilenrasters auf der Sendevorlage mittels eines einzigen Hebels bei optimal bleibender Einstellschärfe kontinuierlich verändert werden kann und die Photozellen dabei stets in günstigster Lage relativ zum zerlegten Bildfelde zu stehen kommen.

Eine vereinfachte Anordnung wird weiter unten beschrieben. Photozellen und Abtaströhre brauchen dabei nicht bewegt zu werden.

Da es hier vor allem darauf ankommt, die Kunstgriffe und Methoden auseinanderzusetzen, mit denen bei Kathodenstrahlröhren Bildschärfe und Bildgeometrie bis zur völligen Gleichwertigkeit gegenüber jenen mechanischer Präzisionsgeräte gesteigert werden konnten, wollen wir diese Fragen in den Vordergrund stellen und das rein Konstruktive der Geräte, ebenso das Schaltungstechnische, soweit es aus der Fernsehtechnik bekannt ist, zurücktreten lassen [3]). Dementsprechend überwiegt in den Zeichnungen das grundsätzliche Schema.

Das Prinzip des Gebers

Fig. 1 veranschaulicht den bildtelegraphischen Geber für extreme Sendegeschwindigkeiten. Da seinerzeit keine der verschiedenen Arten von Bild-

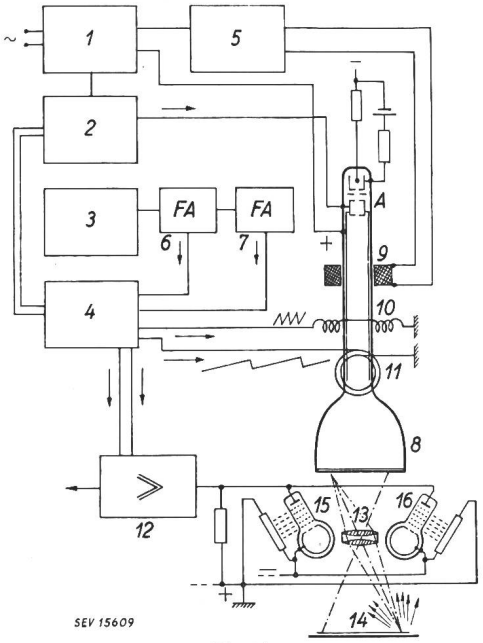

Fig. 1
Geber
1 Hochspannungsgerät; *2* Nachfokussierung; *3* Schwingquarz-Generator; *4* Ablenkgerät; *5* automatische Scharfeinstellung; *14* reflektiertes Licht
Nähere Erläuterungen im Text

fängerröhren des speichernden Typus (Ikonoskop und Nachfolger) die Auflösung von 2000 Zeilen in dem etwa 10 cm hohen Gesamtraster erlaubte, wurde dem Entwurf eine Leuchtschirm-Abtaströhre mit Spezialschirm («Grünlichtröhre»), Teil *8,* zugrundegelegt. Sie arbeitet mit 20 kV Gleichspannung, die in dem Gerät *1* erzeugt werden (Leistung ca. 1 W). Ihre Strahlstromstärke liegt in der Gegend von 25...50 μA. Der effektive Durchmesser ihres Abtastlichtflecks beträgt alsdann 0,06...0,07 mm. Durch die weiter unten besprochenen Massnahmen ist die Aufrechterhaltung dieser Punktschärfe bis an die Ränder des Bildfeldes gewährleistet. Mit Rücksicht auf die durch die Strahlablenkung hervorgerufenen elektronenoptischen Abbildungsfehler, in erster Linie *Astigmatismus,* mussten allerdings die Ablenk*winkel* in mässigen Grenzen gehalten werden; daher der sehr langgestreckte Bau der Röhre *8,* die in gleicher Weise für den Empfang ausgeführt ist. Die in Fig. 1 gezeichneten Lagen der Fokussierungsspule *9,* der Zeilenablenkspulen *10* und der Bildablenkspule *11* sind nur schematisch zu werten.

Der Leuchtschirm von *8* besteht aus besonders feinkristallinischem lumineszierendem Zinkoxyd in

[2]) Vgl. *M. Knoll,* Telegraphen-, Fernsprech- und Fernsehtechnik Bd. 31(1942), S. 213. Nach Messungen von *O. Hachenberg* im Telefunken-Laboratorium reduzierte die optische Streuung die Auflösung auf etwa 1500 Zeilen, doch ist dieses Ergebnis inzwischen durch bessere Leuchtschirme überholt.

[3]) Eine ausgezeichnete Übersicht der wichtigsten Schaltungsfragen des Fernsehens enthält der Aufsatz von *W. Amrein:* «Schaltungstechnische Probleme des Fernsehens», Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 25, S. 751...768.

praktisch strukturfreier Auftragung (gemessene Auflösung einige μm). Die Zeitkonstante der Abklingung dieses Spezialpräparates ist < 1 μs, so dass bei den gewählten Sendegeschwindigkeiten die durch Nachleuchten bedingte störende NF-Komponente von vornherein unerheblich ist und keine Schaltungsmassnahmen für ihre Aussiebung erforderlich sind. Das Spektrum der Kathodolumineszenz des Zinkoxydes reicht von etwa 450...560 nm [4]), mit dem Schwerpunkt bei 550 nm und schroffem Abfall der Emission nach den längeren Lichtwellen hin. Dieser Verlauf deckt sich recht gut mit dem der selektiven photoelektrischen Empfindlichkeit des in den Zellen *15, 16* benutzten, durch Cäsiumdämpfe aktivierten Antimons, woraus ein hoher Wirkungsgrad des optisch-elektrischen Umformungsprozesses resultiert. Die Grösse des Zeilenrasters auf dem Zinkoxydschirm betrug beim Gebrauch des Gerätes für die ersten Übertragungsversuche zumeist zirka 100 mm mal 130 mm, hin und wieder linear bis zu 20 % weniger.

Dieser primäre Raster wird durch das lichtstarke Objektiv *13* auf der stillstehenden Sendevorlage *14* abgebildet und ein ausreichender Teil des von *14* an der jeweiligen Auftreffstelle des Lichtkegels reflektierten, mit der Hell-Dunkel-Verteilung schwankenden Lichtstromes in den symmetrisch angeordneten Vervielfacher-Photozellen *15, 16* aufgefangen. Deren transparente Antimonkathoden geben eine entsprechende Menge von Elektronen ab, die im Übergang zu den Anoden eine Reihe von aktivierten, stark sekundäremissionsfähigen Prallgittern passieren und dabei in bekannter Weise zu einem hochgradig vorverstärkten Signalstrom anschwellen. Dessen Nachverstärkung erfolgt im Gerät *12*, dessen Ausgang auf das Hochfrequenzkabel bzw. auf den Modulator des Senders geschaltet ist [5]).

Das Gerät *2* dient der im Zusammenhang mit den Fig. 3...5 zu besprechenden «Nachfokussierung»; sein Ausgang führt zur statischen Vorabbildlinse der Röhre *8*. Der Taktgeber des Ablenkrhythmus der Bildfeldzerlegung ist ein Schwingquarz-Generator *3*. Durch Frequenzteilung (FA) werden in *6* und *7* die Zeilen- bzw. die Bildablenkfrequenz gewonnen. Die daraus abgeleiteten Rechteckimpulse steuern das Ablenkgerät *4*, das die sägezahnförmigen Ströme zur Erregung der Ablenkspulen *10* und *11* liefert. Wie ersichtlich, handelt es sich hier um die gleichen Mittel, die das Fernsehen erfordert, und deren Vorhandensein lässt sich daher gegebenenfalls ausnützen. Da sender- und empfängerseits die Ablenkschaltungen und -organe, und demgemäss die Strahlbewegungen, genau übereinstimmen, könnten *geringe* Nichtlinearitäten der Ablenkfunktionen $x = f(t)$ und $y = f'(t)$, wo x die Zeilen-, y die Bildkoordinate bedeutet, in Kauf genommen werden, denn infolge der beiderseitigen örtlichen Koinzidenz der bewegten Lichtpunkte bliebe die Geometrie unverzerrt, und es würden nur Auflösungsschärfe und Leuchtdichte sich mit dem Ort im Bildfelde *unerheblich* ändern. Praktisch arbeiten jedoch die modernen magnetischen Ablenkschaltungen der Fernseher unter raffinierter Verwendung des Gegenkopplungsprinzips — noch dazu mit einem Minimum an Röhrenaufwand und Ablenkleistung — so vorzüglich linear, dass schon das einzelne Ablenksystem für sich eine der mechanischen Zerlegung fast ebenbürtige Geometrie liefert. Es besteht daher doppelte Gewähr für koordinatengetreue Bildwiedergabe, soweit diese von den Zeitfunktionen abhängt.

Ausser der für ein Präzisionsgerät selbstverständlichen Stabilisierung aller Betriebsspannungen war hier noch die zusätzliche Bedingung automatischer Scharfeinstellung des bildabtastenden und des bildschreibenden Lichtpunktes zu erfüllen, weil bei der gewählten magnetischen Hauptlinse (für die vor allem die kleineren Öffnungsfehler im Vergleich mit der elektrostatischen Linse sprachen) der Spulenstrom sich mit der Temperatur der Wicklung ändert, und mit ihm die magnetische Feldstärke und Brennweite der Elektronenoptik. Diesem Zwecke dient in Fig. 1 das Gerät *5*. Sein Prinzip ist in Fig. 6 veranschaulicht und wird weiter unten im Zusammenhang mit dieser erklärt.

Die Abtastoptik

Um die Grösse des Zeilenrasters der des gegebenen Übertragungsdokuments anpassen zu können, ohne die primäre Auflösung auf dem Zinkoxydschirm der Abtaströhre zu verändern, wurde die erwähnte Verstellbarkeit der abbildenden Optik zwischen Leuchtschirm und Dokument vorgesehen. Soll diese Verstellbarkeit kontinuierlich sein und will man das Auswechseln des Objektivs vermeiden, so müssen bei feststehender Bildvorlage Röhre, Objektiv und Photozellen nach einem bestimmten Gesetz, das sich aus der Abbildungsformel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

(a Gegenstandsweite, b Bildweite, f Brennweite) ergibt, mit Hilfe eines von einer Kurvenscheibe oder in ähnlicher Weise gesteuerten Antriebes relativ zu einander und zur Abtastebene beweglich gemacht werden. Da dieses Erfordernis den Aufbau des Geräts kompliziert und dem Zwecke möglichst vollständiger Ausschaltung der mechanischen Präzisionsarbeit zuwiderläuft, empfiehlt sich die vereinfachte Ausführung der Zerlegeroptik nach Fig. 2. Ihr liegt die Überlegung zugrunde, dass man mit 2 oder 3 genormten Grössen des abgetasteten Feldes auskommt. Der Wechsel in der Rasterprojektion kann dann durch blosses *Umstecken* des bzw. der Objektive vorgenommen werden, während die Röhre, die Photozellen und das Übertragungsdokument stets in gleicher Lage verbleiben.

Nach Fig. 2 liegt die Sendevorlage auf einem ebenen [6]) Tische *T*, der lediglich Führungsleisten für ihre Ausrichtung sowie eine Möglichkeit zur Paral-

[4]) 1 nm (Nanometer) = 10^{-9} m.

[5]) Als Anode der Zellen *15, 16* diente in Wirklichkeit deren letztes Gitter, als letzte Prallfläche die im Schema der Fig. 1 als Anode geschaltete Scheibe.

[6]) Faltige oder zum Selbstaufrollen neigende Dokumente können durch Auflegen einer Glasplatte geebnet werden.

lelverschiebung nach beiden Koordinaten der Tischfläche besitzt, wodurch sich bei verkleinertem Abtastfeld der interessierende Ausschnitt in dieses

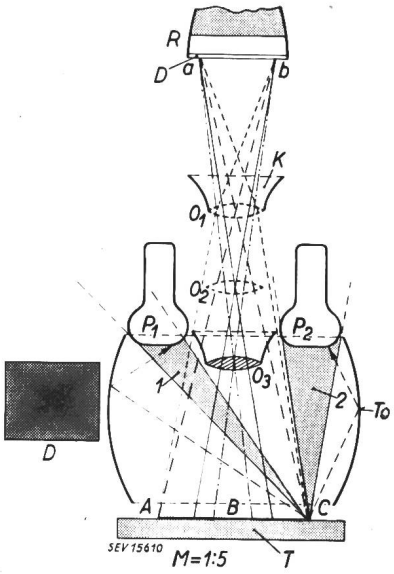

Fig. 2
Abtastoptik
f- Werte: O_1 133,3 mm; O_2 150,0 mm; O_3 133,3 mm; Die optische Durchlässigkeit des Transparentes D ist nach beiden Koordinatenrichtungen so abgetönt, dass für jeden Bildpunkt das Produkt aus σ und dem zugehörigen Wert aus Fig. 2a konstant ist. (Das im Bild D erscheinende Schattenkreuz beruht auf einem Fehler im Klischee; die Helligkeit nimmt von der Bildmitte aus nach den Rändern gleichmässig zu.)

hineinrücken lässt. R stellt den unteren Teil der Abtaströhre mit planer Leuchtschirmwand dar; die Zeile der Kathodenstrahlablenkung erstrecke sich von a bis b. Es sind hier 3 verschiedene Abbildungsverhältnisse angenommen, nämlich 1 : 2, 1 : 1 und 1 : 0,5, denen die Lagen O_1, O_2, O_3 des Objektivs entsprechen. Die Werte der Brennweite f sind in der Legende eingetragen; für O_1 und O_3 werden sie naturgemäss gleich, da ja in der Linsenformel a und b

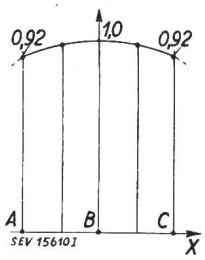

Fig. 2a
Aenderung der Summe der auf die beiden Photozellen fallenden Lichtströme in Funktion der Zellenkoordinate
(mittlere Zeile)

vertauschbar sind. Man benötigt also 2 Objektive bzw., sofern man sich mit den Verhältnissen 1 : 2 und 1 : 0,5 begnügen kann, nur eines.

Die von dem abgetasteten Bildelement, hier z. B. bei C, reflektierten Teilkegel *1*, *2* erreichen die Photozellen P_1, P_2. Diese sind so angeordnet, dass zwischen ihnen alle den verschiedenen Objektivstellungen entsprechenden abbildenden Strahlen unbehindert hindurchgelangen. Bei der stärksten Vergrösserung, die auf der Sendevorlage die Zeilenlänge AC ergibt (Objektiv in O_1), ist die Summe der Lumen, die (unter Voraussetzung gleichbleibenden Reflexionsvermögens) auf beide Photozellen fallen, während der Bewegung des Lichtpunktes von A nach C nicht mehr konstant. Sie ändert sich mit der Zeilen- und mit der Bildkoordinate. Für die mittlere Zeile ist die Schwankung im Diagramm Fig. 2a aufgetragen, wobei der Gesamtlichtstrom, den P_1 und P_2 in der zentralen Lichtpunktstellung bei B empfangen, gleich 1 gesetzt wurde. Der Abfall zum Bildrande hin beträgt 8 %. Dies macht bei reinen Schwarz-Weiss-Übertragungen mit Telegraphietastung nichts aus, zumal für den Ausgleich der zeitlichen Empfindlichkeitsschwankungen vervielfachender Photozellen ohnehin strombegrenzende Mittel am Platze sind. Für gute Wiedergabe von Halbtönen muss jedoch eine Korrektur stattfinden. Man erhält diese durch Auflegen eines dünnen, streuungsfreien, photographisch erzeugten Transparentes D auf die Leuchtschirmfläche der Abtaströhre R, wobei die optische Durchlässigkeit σ von D nach beiden Koordinatenrichtungen so abgetönt ist, dass für jede Lage des Lichtpunktes auf dem Leuchtschirm (der ja eine definierte Lage seiner Abbildung auf dem Sendedokument zugeordnet ist) das Produkt aus dem örtlichen σ und dem zugehörigen Wert der durch Fig. 2a dargestellten Funktion konstant wird. Die so entstehenden Lichtverluste sind tragbar. Für die Abbildungsverhältnisse 1 : 1 und 1 : 0,5 des Leuchtschirmrasters ist ein entsprechender Ausgleich nach Fig. 2a überflüssig.

Nach der beschriebenen Methode kann jede beliebige, aus der gegebenen festen Position der Photozellen entspringende Schwankungsfunktion des nutzbaren Reflexionslichtstromes kompensiert werden.

Ein für einwandfreie Halbtonwiedergabe genügender Ausgleich der örtlichen Schwankungen des ausgenutzten Reflexionsanteils lässt sich bei gleichzeitiger erheblicher Steigerung des optisch-elektrischen Wirkungsgrades auch dadurch bewirken, dass die Wandung To des Abtastergehäuses nach Fig. 2 tonnenartig ausgebildet und auf der Innenseite möglichst vollkommen reflektierend gemacht wird. Ferner kann das umsteckbare Objektiv $O_1 = O_3$ mit einem spiegelnden Kragen K versehen werden. In der Position O_3, die dem schwächsten zum Sendedokument gelangenden Lichtstrom entspricht, vergrössert dieser Kragen den die Photozellen P_1, P_2 erreichenden zurückgestrahlten Betrag noch merklich.

Bei der ohne die Teile To und K ausgeführten Abtastoptik nach Fig. 2 beträgt für 1 W Strahlleistung der von den Photozellen umgesetzte Lichtstrom, je nach der Stellung des Objektivs, $0{,}75 \cdot 10^{-3}$... $3 \cdot 10^{-3}$ lm. Da die Emission des Zinkoxydschirmes der lichtelektrischen Empfindlichkeitscharakteristik des durch Cäsium aktivierten Antimons vorzüglich angepasst ist, wird dieser Lichtstrom optimal ausgenützt. Wir können deshalb mit einem sehr hohen Wirkungsgrade, etwa 75...100 μA/lm, rechnen. Wegen der mehrstufigen Vervielfachung durch Sekundärelektronenauslösung in den Photozellen lässt sich dann der Anteil des Rauschens im Bildsignal nach *W. Amrein* [3]) ausdrücken durch:

$$p = \frac{\text{mittl. Rauschspannung}}{\text{Signalspannung}} = Z \sqrt{\frac{2 e \Delta f}{\Phi \cdot S}}$$

(Z = Zworykin-Faktor = 1,5; e Elektronenladung = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; Δf Frequenzbandbreite; Φ Lichtstrom in Lumen; S Empfindlichkeit der Photokathode in A/lm). Mit $\Delta f = 2$ MHz; $\Phi = 1 \cdot 10^{-3}$ lm und $S = 80$ μA/lm wird

$$\underline{p \simeq 0{,}43 \cdot 10^{-2}}$$

was für die Praxis völlig ausreicht (Signalamplitude zirka 250mal grösser als der Rauschpegel).

Entzerrung, Nachfokussierung, Scharfeinstellung

Die geometrisch genaue Wiedergabe eines rechteckigen Bildfeldes ist nur mit *ebenen* Leuchtschirmen möglich. Deswegen kamen ausschliesslich Kathodenstrahlröhren mit eingeschmolzener, plangeschliffener Glasplatte als Träger der Phosphorschicht in Frage. Die so hergestellten Schirmflächen genügen den lichtoptischen Anforderungen, vergrössern aber die elektronenoptischen Schwierigkeiten, die sich aus dem Mechanismus der Strahlablenkung ergeben, und zwingen zu entzerrenden Massnahmen.

Mit den *Zeitfunktionen* $x = f(t)$, $y = f'(t)$, wo $f(t)$, $f'(t)$ die zeitlich sägezahnförmig verlaufenden Ablenkfelder darstellen, haben wir uns bereits befasst. Eine Verzerrung der Bildkoordinaten x, y durch nichtlineare Glieder der $f(t)$, $f'(t)$ ist wegen der vom Synchronismus gesteuerten Kongruenz der beiderseitigen Lichtpunkte ausgeschlossen, und die von jenen Gliedern herrührenden Inhomogenitäten der Auflösung und Leuchtdichte fallen bei der heute erreichten Gradlinigkeit des Sägezahnanstieges unter die Beobachtungsgrenze. Es sind also nur die reinen *Ortsfunktionen,* die besondere Korrekturen nötig machen.

Unter der zulässigen Annahme, dass beide Ablenkfelder auf die gleiche *x, y-Ebene* reduziert werden können, wirkt der Strahl wie ein Hebel mit festem Drehpunkt in grösserem Abstande vom Leuchtschirm. Ist dieser nun eben, so ändert sich die Länge des Hebelarmes mit dem Ort seiner Auftreffstelle im Bildfelde erheblich. Ein Hebelarm konstanter Länge würde unter dem Einfluss der ebenfalls konstanten Ablenkströme eine Fläche beschreiben, die von einer mit ihrer Spitze im Drehpunkt liegenden, zur Röhrenachse symmetrischen Rechteckpyramide aus einer Kugel vom Radius 1 herausgeschnitten zu denken ist. Was wir in Wirklichkeit bei Fortsetzung aller Strahllagen bis zu dem planen Leuchtschirm auf diesem erblicken, ist *nicht* die Zentralprojektion jenes Kugelausschnittes auf die Bildebene, sondern die Gestalt eines *Kissens.*

Die Kompensation dieser geometrischen Verzeichnung gelang *W. Schröder* [7]) durch entgegenwirkende *tonnen*förmige Verzerrung der ablenkenden Magnetfelder, unter Aufrechterhaltung ihrer anastigmatischen Eigenschaft, d. h. der Verschmelzung der beiden getrennten, gekreuzten Brennlinien in einen kreisrunden, an jeder Stelle der Ablenkung formbeständigen Bündelquerschnitt.

Innerhalb des so entzerrten ebenen Rechtecks ist jedoch trotz planmässig geringer Strahlapertur der Lichtpunkt nicht ohne weiteres überall gleich scharf. Stellt man die Brennweite der Elektronenlinse so ein, dass der Zeilenraster im Bildzentrum optimale Schärfe aufweist, so fällt diese nach aussen stark ab. Die Ursache dafür ist folgende: Der von den konvergierenden Kathodenstrahlen erzeugte «Bildpunkt», die Stelle engster Einschnürung, beschreibt bei der Ablenkung des Bündels eine ausgesprochen gekrümmte, achsensymmetrische Rotationsfläche, die, anders ausgedrückt, der geometrische Ort scharfer Abbildung der Elektronenquelle ist. Jede zur Ablenkung taugliche Magnetspule, auch die im Sinne des Vorstehenden anastigmatische, liefert eine solche für sie charakteristische «Bildfeldwölbung». Im Laboratorium von Telefunken sind die einschlägigen Verhältnisse näher untersucht worden [8]). Zu ihrer Veranschaulichung zeigt Fig. 3 den Querschnitt einer Röhre mit den

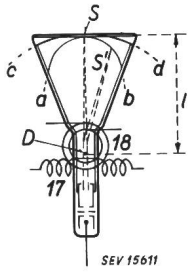

Fig. 3
Bildfeldwölbung

Ablenkspulen *17, 18. D* ist der in der Ablenk-Hauptebene gedachte Drehpunkt des Elektronenbündels, *S* ist der Mittelstrahl, *S'* ein maximal ausgelenkter Strahl. Die dicht vor der Kathode liegende Überkreuzungsstelle der Glühelektronen wird durch *S* scharf auf dem Leuchtschirm abgebildet. Als Hebelarm konstanter Länge 1 würde der Strahl bei seiner zweidimensionalen Ablenkung eine Kugelfläche beschreiben, die durch Rotation des Kreisbogens *c...d* um die Mittelachse der Röhre entstände. Die Summe der Durchdringungspunkte aller verlängerten Strahlen auf der Leuchtschirmebene wäre dann die erwähnte kissenförmige Figur, die, wie gesagt, bei gesetzmässiger Vorverzerrung der Felder von *17* und *18* in ein unverzerrtes Rechteck übergeht. Die Bildfeldwölbung dagegen ist eine Schalenfläche, die durch Umlaufen der im Vergleich mit *c...d* sehr viel stärker gekrümmten Linie *a...b* um *S* als Drehachse resultiert. Auf ihr liegt der Ort der engsten Einschnürung des abgelenkten Bündels *S'*, das gegen den Leuchtschirm hin dann wieder divergiert und so erhebliche Randunschärfe im Bildfelde hervorruft.

Um diesen Fehler zu beseitigen (der in identischer Weise bei vielzeiligen Fernsehbildern stört, zumal bei den für diese benutzten Röhren wesentlich grössere Ablenkwinkel in Kauf genommen werden müssen), entwickelte *W. Schröder* [7]) die selbsttätige «Nachfokussierung». Die Brennweite der Elektronenlinse wird durch im Takte beider Ablenkfrequenzen erfolgende Strom- bzw. Spannungsänderung (hier des Potentials von A in Fig. 1) so nachkorrigiert, dass bei jeder Lage des Strahles

[7]) Vgl. *M. Knoll,* Telefunken-Hausmitteilungen Nr. 81 (1939), S. 65.

[8]) Vgl. *H. Marschall* und *W. Schröder,* Zeitschrift für techn. Physik Bd. 23(1942), S. 297. Bei ideal anastigmatischen Ablenkspulen verschwinden die «tangentiale» und die «sagittale» Bildfeldwölbung; es bleibt aber die dazwischen liegende mittlere Bildfeldwölbung bestehen. Diese galt es zu kompensieren.

der Lichtpunkt in der Leuchtschirmebene scharf bleibt. Die dafür nötigen, mit ihren Steuereffekten zusammenzusetzenden Spannungskurven lassen sich aus den Sägezahnströmen beider Ablenkspulen durch einfache Röhrenschaltungen ableiten.

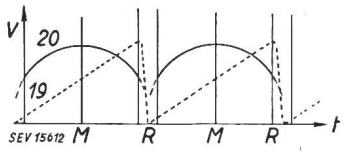

Fig. 4
Nachfokussierspannung

Wie Fig. 4 zeigt, müssen diese Spannungskurven *20* symmetrisch zum Zeitpunkt *M* der Zentralstellung des Strahles, d. h. zur Mitte des Sägezahnanstiegs *19*, liegen. *R* ist der Sägezahn-Rücklauf.

Eine sehr genau arbeitende und wenig Aufwand erfordernde Anordnung zur automatisch phasenrichtigen Erzeugung der fertigen Nachfokussierungsspannung ist in Fig. 5 veranschaulicht. Wie

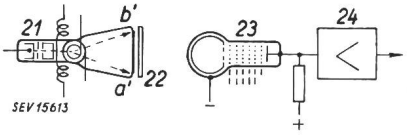

Fig. 5
Nachfokussiergerät

bei der beschriebenen gleitenden Korrektur der Lichtpunkthelligkeit zum Zwecke exakter Halbtonwiedergabe (siehe die Erklärung von Fig. 2) wird auch hier von der Methode des Diaphragmas mit veränderlicher Transparenz Gebrauch gemacht. Die Ablenkspulen einer kleinen Hilfs-Kathodenstrahlröhre *21*, deren Anodenspannung dem Gerät *1* in Fig. 1 über ein Potentiometer entnommen wird, liegen in Reihenschaltung mit denen der Hauptröhre *8*. Die beiden Endlagen in einer Zeile seien *a'*, *b'*. Eine transparente Platte *22* von entsprechenden Abmessungen hat nun eine solche nach *x* und *y* veränderliche Durchlässigkeit, dass auf die Vervielfacher-Photozelle *23* jeweils der richtig dosierte Lichtstrom trifft, der die der momentanen Strahllage entsprechende Korrekturspannung für die Vorlinse der Abtaströhre direkt am Ausgangswiderstande von *23* abzunehmen gestattet. Die Schaltung nach Fig. 5 ist im Gerät *2* in Fig. 1 untergebracht. Im Verstärker *24* ist, da die statische Linse keine Leistung erfordert, lediglich eine einzige spannungsverstärkende Triode vonnöten, deren starke Gitterabriegelung den konstanten Gleichstromanteil des Photozellenstromes, soweit erforderlich, unterdrückt. Beim Empfänger ist zur Nachfokussierung der Bildschreibröhre die gleiche Anordnung getroffen.

Die dritte Notwendigkeit besteht in der Eliminierung von Schwankungen der Betriebsgrössen (Strahlspannung, Spulenstrom in *9*, Fig. 1). Da das hiefür zweckmässigste Prinzip unabhängig vom Telefunken-Laboratorium bereits bei dem Fernseh-Grossbildprojektor von *F. Fischer* benützt und von *W. Amrein* beschrieben worden ist [9]), sei hier nur kurz auf die etwas unterschiedliche Methodik seiner Durchführung hingewiesen, ohne einzelne Kunstgriffe zu schildern, die zusätzlich zur Anwendung kamen.

Die magnetische Feldstärke H einer Spule ist unterhalb der Sättigung dem sie durchfliessenden Strome i proportional. Macht man von dieser Beziehung Gebrauch, so werden die Brennweite der Magnetlinse und das «Ablenkvermögen» einer Ablenkspule Funktionen von i und U_a, wenn U_a die Strahlspannung bedeutet, und es besteht für beide Grössen die Invarianzbedingung:

$$\frac{i^2}{U_a} = \text{konst.} \qquad \text{(I)}$$

Für den elektrischen Ablenkkondensator mit der Potentialdifferenz $2U_k$ seiner Platten lautet die entsprechende Relation:

$$\frac{U_k}{U_a} = \text{konst.} \qquad \text{(II)}$$

Gewinnt man also U_k aus U_a durch Spannungsteilung, so ist nach II eine Schwankung von U_a ohne Einfluss auf den Betrag der statischen Auslenkung des Strahles, wogegen sich nach I, da i^2 gewöhnlich nicht $\approx U_a$ ist, die Brennweite und der magnetische Ausschlag mit U_a ändern müssen. Um diese Änderung zu kompensieren, ist dann eine entsprechende, durch I gegebene Korrektur von i erforderlich. Anderseits soll bei spontanen Änderungen von i der Regelmechanismus so arbeiten, dass derartige Schwankungen des Spulenstromes von selber und ohne Trägheit verschwinden. Die Einstellung des Lichtpunktes auf dem Leuchtschirm bleibt scharf genug, solange der Wert des Quotienten i^2/U_a und mit ihm die Brennweite der Fokussierungsspule auf einige Prozent konstant gehalten werden.

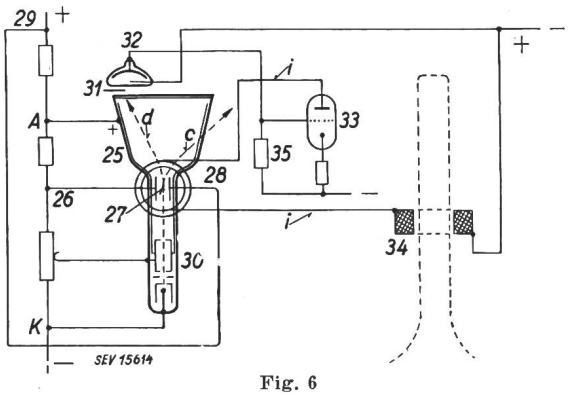

Fig. 6
Regler für die Fleckschärfe

Im Schema Fig. 6 sehen wir eine kleine Hilfs-Oszillographenröhre *25* mit dem Ablenkplattenpaar *27* und der gleichsinnig wirkenden Ablenkspule *28*. Diese liegt in Reihe mit der Fokussierungsspule *34* des Abtastrohres im Anodenkreis der Verstärkerröhre *33*. Zwischen den Klemmen *A* und *K* herrscht die Potentialdifferenz U_a, während bestimmte Bruchteile derselben durch Spannungsteilung dem Kondensator *27* und der Voranode *30* zugeführt sind. Da die rechte Platte von *27* an den Pluspol *29*,

[9]) Vgl. *W. Amrein*, Schaltungstechnische Probleme des Fernsehens [3]), S. 764...767.

die linke an die viel stärker negative Abzweigung *26* gelegt ist, erfährt der Kathodenstrahl zur positiven Seite hin eine beträchtliche Vorablenkung (Lage *c*), die von U_a unabhängig bleibt. Das vom Fokussierungsstrom in der Spule *28* erzeugte Magnetfeld biegt aber den Strahl in die Stellung *d* zurück. Durch diesen Kunstgriff wird die Empfindlichkeit des Reglers gegen geringe Schwankungen von U_a und i bedeutend gesteigert, und man kommt mit einer kleinen Hilfsröhre *25* aus. Solange nun der Quotient i^2/U_a den der gewünschten Lichtpunktschärfe des Abtastrohres entsprechenden Betrag beibehält, wird sich auch der durch die gleiche Relation definierte Ort des Lichtpunktes auf dem Leuchtschirm von *25* nicht ändern. Seine Verlagerung dagegen wird durch ihren Richtungssinn *eindeutig* die Zu- oder Abnahme einer der beiden massgebenden Grössen anzeigen. Es muss dann sofort der Regelvorgang einsetzen, der das Verhältnis i^2/U_a (innerhalb des zulässigen Spielraumes) nachzukorrigieren sucht.

Zu diesem Zweck ist vor dem Leuchtschirm von *25* die Photozelle *32* angebracht. Ihr Entladungsstrom steuert über den Widerstand *35* die Verstärkerröhre *33*. Die Justierung der verschiebbaren Blende *31* ist richtig, wenn *32* vom Lichtpunkt gerade einen solchen Bruchteil seiner Strahlung empfängt, dass der von *33* gelieferte Fokussierungsstrom i bei dem gegebenen U_a die optimale Schärfe des Abtastrasters erzeugt. Sinkt nun z. B. U_a, so ändert sich in *25 nur die magnetische* Ablenkung durch Spule *28*, und zwar wird sie grösser. Der Lichtpunkt tritt etwas mehr hinter die Blende *31*, der Photostrom nimmt ab, mit ihm i. Dadurch nähert sich die Ablenkung wieder dem Anfangswert, um bei Erfüllung gewisser Zusatzbedingungen eine stabile Endlage anzunehmen, die von der ursprünglichen Stellung nur um einen Bruchteil der Lichtpunktbreite verschieden sein kann. Hierbei hilft der Einfluss des veränderten U_a auf die Lichtpunkt*helligkeit* wirksam mit, die Abweichung klein zu halten und das Einspielen auf die neue Gleichgewichtslage zu beschleunigen. Dank der durch die weite Vorablenkung des Strahls in *25* erzielten Empfindlichkeit wird die Regelung von i^2/U_a auf einige Prozent genau. Es ist nach diesem Beispiel ohne weiteres klar, dass die Reaktion des Systems bei steigendem U_a umgekehrt verlaufen und ebenso auf einen stabilen Endzustand der Strahleinstellung nahe bei der Anfangslage führen muss. Schwankt nicht U_a, sondern i (Temperatur der Magnetlinse!), so folgt die magnetische Ablenkung durch *28* gleichsinnig, und es tritt dadurch eine solche Änderung des die Photozelle *32* treffenden Lichtstromes ein, dass auf dem Wege über *33* i und mit ihm i^2/U_a wieder den alten Wert annehmen.

Sämtliche regelnden Strahllagen bewegen sich in einem schmalen Bereich an der Kante der Abdeckblende *31*, die stets einen grösseren oder kleineren Teil des Lichtpunktes von der Zelle *32* abschirmen muss. Daher ist die Genauigkeit des Reglers auch eine Funktion der Schärfe und der Formbeständigkeit des elektronischen Brennflecks von *25*, und es mussten Massnahmen getroffen werden, um in dieser Hinsicht befriedigende Daten zu erzielen.

Die gleiche Anordnung, wie die für den Geber beschriebene, dient auf der Empfangsseite zur automatischen Scharfeinstellung des bildschreibenden Lichtpunktes. Sie hat sich ausgezeichnet bewährt. Übertragungsproben sind in einer Arbeit von *M. Knoll* [10]) veröffentlicht, geben aber die ausserordentliche Qualität der erzielten Fernbilder nicht annähernd wieder, weil durch die Klischierung für den Druck ein grosser Teil der im Empfangsoriginal enthaltenen Feinheiten verlorenging. Aus diesem Grunde wird hier auf die Wiedergabe derartiger Proben verzichtet.

Übertragung und Bildspeicherung

Die Übertragungstechnik ist weitgehend identisch mit der bekannten des Fernsehens. Ausser den Helligkeitswerten der abgetasteten Bildpunkte werden Gleichlaufimpulse zum Empfänger gesandt (vgl. Schaltung Fig. 1). Sie werden von den Impulsgeneratoren der Ablenkschaltungen geliefert und phasenrichtig in die Folge der Bildzeichen eingetastet. Zweckmässig hält man die Erzeugung beider Ablenksägezähne ständig im Betrieb. Es sind nun zwei Fälle zu unterscheiden:

I. Der Raster wird nur *einmal* übertragen. Durch ein Verzögerungsorgan wird der Elektronenstrahl der Geberröhre *8* erst in dem Augenblick entriegelt, wo ein Bildrücklauf beendet ist, also die oberste Zeile beginnt. Der nächste, auf die unterste Zeile folgende Bildrücklauf sperrt den Strahl wieder.

II. Der Raster wird *n mal* (genau deckend) geschrieben. Auch in diesem Falle muss für zeitlich richtiges Ein- und Aussetzen des Strahles, wie unter I, gesorgt sein, d. h. die Sperrung erfolgt beim *n*-ten Bildrücklauf.

Fall I ist gegeben, wenn die Wahl der Steuerfrequenzen freisteht und lediglich das Maximaltempo der speichernden Bildschrift die Übertragungsdauer bestimmt. Fall II liegt vor, wenn das Frequenzband und die üblichen Ablenkmittel usw. eines Fernsehkanals ausgenutzt werden sollen.

Wie eingangs gesagt, ist das beschriebene Gerät für Breitbandlinien, vor allem für Dezimeterwellen-Netze gedacht. Dabei kann sein Gebrauch verschiedenen Wünschen unterworfen sein. Ist $t_ü$ die Zeitdauer für die Inanspruchnahme des Fernübertragungskanals und t_e der Zeitbedarf für den Umsatz der im Empfänger gespeicherten Bildpunktfolge in ein lesbares Dokument (wobei etwa bei photographischer Registrierung t_e die Dauer des Entwickelns und Fixierens wäre), so sind folgende Aufgabenstellungen denkbar:

a) $t_ü$ minimal. t_e beliebig: wirtschaftliche Kanalausnutzung.

b) $t_ü$ und t_e minimal: Einblendung in Ferngespräche.

c) $t_ü$ beliebig (innerhalb gewisser Grenzen), t_e minimal: direkteste Registrierung massgebend.

d) $t_ü$ und t_e beliebig (innerhalb gewisser Grenzen).

[10]) Vgl. *M. Knoll*, Telegraphen-, Fernsprech- und Fernsehtechnik Bd. 31(1942), S. 213.

Da d) unproblematisch ist, wollen wir nur a) bis c) berücksichtigen. Die ideale Lösung für a) läge vor, wenn in einem Fernsehkanal *einmalige* Übertragung des Zeilenrasters genügte, um im Empfangsspeicher die für die Bildwiedergabe erforderlichen Wirkungen zu hinterlassen. Nehmen wir als Fernsehnorm rund 600 Bildzeilen und 25 Bilder/s an, so würde ein Feld von doppelter Zeilenzahl mit den vorhandenen Steuergeräten, die lediglich einen Zusatz zur Halbierung der Bildablenkfrequenz erhalten müssten, in $^2/_{25} = {}^1/_{12,5}$ s übermittelt werden. Das primäre Leuchtschirmbildformat der Geberröhre sei in der Abtastebene auf etwa 200 mm mal 140 mm vergrössert, so dass praktisch eine halbe Schreibmaschinenseite normaler Abmessungen ausgeleuchtet wird. Deren Auflösung mit insgesamt 1200 Zeilen entspricht rund $8^1/_2$ Zeilen/mm und gewährleistet die Reproduktion aller Einzelheiten. Bei dem Optimalwert $t_{ü} = {}^1/_{12,5}$ s kämen wir so zu Telegraphiergeschwindigkeiten der Grössenordnung 4000 Wörter pro Sekunde, volle Ausnutzung der Fläche und der Abtastfeinheit vorausgesetzt.

Dieser hohen Leistung genügt aber zurzeit noch keines der bekannten Speicherverfahren. Direktes Photographieren des Leuchtschirmes einer Braunschen Röhre würde grundsätzlich der Aufgabe a) entsprechen, jedoch für $t_{ü} = {}^1/_{12,5}$ s so übermässige Lichtströme, d. h. Strahlstromstärken, erfordern, dass die angenommene Rasterfeinheit verlorenginge. Eine der Photographie im Prinzip überlegene, von *G. Krawinkel* erfundene Methode [11]) ist noch nicht ausreichend entwickelt. Sie beruht auf den Erscheinungen der Sekundärelektronenemission. Auf einer Photokathode sind mikroskopisch kleine isolierende Sperrpartikel verteilt, die vom bildschreibenden Kathodenstrahl bei höherer Anodenspannung mehr oder weniger *negativ* geladen werden und nun auf die bei UV-Belichtung austretenden Photoelektronen wie punktförmige Steuergitter einer Verstärkerröhre wirken. Bildet man diese Speicherfläche durch eine Bildwandler-Optik auf einem Leuchtschirm ab, so erscheint ein Negativ der übertragenen Vorlage. Es ist bei gutem Vakuum beliebig haltbar. Zur Löschung bestreicht man die Sperrzellen mit einem Strahl niedriger Spannung, so dass die Zahl der abgegebenen sekundären Elektronen die der auftreffenden primären überwiegt und die Teilchen, positiver werdend, Kathodenpotential ($\cong$ Potential der Strahlanode) annehmen. Nach diesem Verfahren ist es denkbar, über Fernsehkanäle mit $t_{ü} = {}^1/_{12,5}$ s zu arbeiten, falls eine technisch brauchbare Röhrenform gefunden wird, die Raster hinreichender Feinheit wiedergibt. Da sich dann t_e auf die Dauer eines Umschaltgriffes reduzieren würde, das Fernbild also praktisch sofort wahrnehmbar ist, wären neben a) auch die Aufgaben b) und c) bis zur idealen Grenze gelöst.

Die heute beherrschten Mittel der Bildspeicherung bedingen eine radikale, jedoch die Anwendung des beschriebenen Gerätes nicht in Frage stellende Ermässigung der Forderungen hinsichtlich $t_{ü}$, während sie bezüglich unmittelbarer Lesbarkeit des Bildtelegrammes allen Ansprüchen gerecht werden. Es sind:

1. lange nachleuchtende Schirme,
2. sog. Blauschriftschirme [12]).

In beiden Fällen fungiert der modulierte Kathodenstrahl direkt als Bildschreiber, so dass Aufbau und Betrieb der benutzten Röhren im wesentlichen dem der Geberseite gleichen konnten, einschliesslich der besprochenen Mittel zur selbständigen Korrektur der Geometrie und Punktschärfe.

Als Nachleuchtphosphor wurde ein in ziemlich grossen Kristallen anfallendes kupferaktiviertes Zinksulfid besonderer Präparation (ähnlich dem «Clarophan» der Auergesellschaft) verwendet, das bei einer Geschwindigkeit von 1000 Zeilen/s und 20 kV Strahlspannung ein mit ausgeruhtem Auge in verdunkeltem Zimmer 20...30 s lang lesbares Bildtelegramm lieferte. Um Blendung durch den erregenden Lichtpunkt zu verhindern, wurde vor dem Schirm eine die jeweils geschriebene Zeile verdeckende Blende mechanisch mitbewegt. Über den Verlust an Bildschärfe durch Lichtstreuung beim dichtesten Raster (2000 Zeilen auf 100 mm Höhe) siehe weiter vorn. Besonders langes Nachleuchten ergibt, allerdings mit fühlbarer Einbusse in der Auflösung, ein zweischichtiger Schirm, dessen vom Kathodenstrahl getroffene obere Lage eine starke UV-Emission zeigt, während die untere, dem Beschauer zugewandte Schicht durch diese Emission *optisch* angeregt wird. Hier erwies sich die Kombination von reinstem Zinksulfid (oben) mit Zinkkadmiumsulfiden verschiedener Zusammensetzung (unten) als recht günstig, ohne dass dieses Resultat als abschliessend zu werten wäre. Die Zahl der erfolgversprechenden Stoffpaare ist erheblich, und es wird zweifellos möglich sein, auf eine nutzbare Dauer des abklingenden Nachleuchtens von 1 min oder mehr zu kommen. Für das Löschen des Bildes ist Infrarotbestrahlung des Schirmes (Kohlefadenlampe) ein sehr einfaches und wirksames Mittel.

Die Blauschriftmethode bedient sich, wie der Name besagt, der mit dem weissen Untergrund kontrastierenden blauen Verfärbung einer etwa 10 μm dicken, auf eine transparente Metallhaut aufgedampften Kaliumchloridschicht durch den Kathodenstrahl. Das Oszillogramm ist bei Zimmertemperatur tage-, ja monatelang haltbar, kann aber durch Erwärmen der leitenden Unterlage durch Stromdurchgang binnen weniger Sekunden gelöscht werden. Der Schirm gestattet Hunderte von Speicherungen ohne merkliche Abnutzung; er tritt in der Kathodenstrahlröhre an die Stelle des Leuchtphosphorüberzuges. Verschiedene Typen von Blauschriftröhren zur Registrierung schneller Vorgänge sind bei Telefunken von *B. Bartels* durchgebildet worden. Bei 15 kV Strahlspannung wurden Schreibgeschwindigkeiten von 20....30 m/s erreicht, mit höheren Spannungen bis zu 100 m/s. Die erstaunliche Schärfe

[11]) Deutsche Patentanmeldung, bisher nicht veröffentlicht.

[12]) Die Verfärbung von Alkalisalzen durch Kathodenstrahlen wurde schon 1894 von *E. Goldstein* beobachtet, die Anwendung dieser Erscheinung in der Bildübertragungstechnik geht auf die Patente von *Rosenthal* in England zurück.

der *sofort sichtbaren* blauen Farbspur lässt auch bei den hier interessierenden Zeilenzahlen relativ kleine Schirme (etwa 80×60 mm) zu. Man kann das gespeicherte Bild dann durch eine Lupe vergrössern oder, bei einigem optischen Aufwand, episkopisch auf etwa 1 m² projizieren (mit mindestens 50 Apostilb).

Ein Raster von 1200 Zeilen zu je 80 mm Länge bedeutet rund 100 m Gesamtstrecke der Registrierung und könnte im Grenzfalle in 1 s übertragen werden. Zur Erhöhung des Kontrastes der Blauschrift empfiehlt sich jedoch beim derzeitigen Stand der Technik eine mehrfach langsamere Abtastung, etwa 300 Zeilen/s, entsprechend einer Schreibgeschwindigkeit von 24 m/s, die bei 20 kV und 10 μA Strahlleistung bequem erhältlich ist. Das genormte Bildfeld von 1200 Zeilen würde dann 4 s erfordern. Weitere Forschung wird diesen Zeitaufwand wahrscheinlich auf weniger als 1 s reduzieren.

Bei beiden vorstehend besprochenen Speichermethoden — Nachleuchten und Blauschrift — treten, wie ersichtlich, im Vergleich zur Fernsehnormung stark verminderte Zeilen- und Bildablenkfrequenzen auf. Erzeugung langer Bildperioden über elektrische Zeitkonstanten ist, da es sich um 1 Hz und Bruchteile davon handelt, wegen des grossen Aufwandes für die nötigen $R \cdot C$ bzw. L/R-Werte misslich. Mechanische und thermische Zeitkonstanten passender Dimensionierung sind leicht herstellbar, die darauf gegründeten Schaltungen aber bezüglich der Fernsynchronisierung problematisch. Sofern daher nicht die weiter unten angegebene Lösung bevorzugt wird (die allerdings entsprechende Frequenzbandbreite des Übertragungskanals voraussetzt), empfehlen sich *Tröpfelmethoden*, d. h. die Akkumulierung periodisch aufgedrückter konstanter Elektrizitätsquanten in einem die Bildablenkung steuernden Speicher. Als Tröpfelfrequenz dient die Zeilenfrequenz. Im Bereich $R_i \cong \infty$ einer Pentode arbeitend, lassen wir einen im Anodenkreise liegenden Kondensator bei jedem Zeilenimpuls sich um ein gleiches ΔU_c aufladen, indem dieser Impuls das Steuergitter während einer definierten Zeit auf ein bestimmtes Potential bringt. Dadurch ergibt sich eine weitgehend lineare Bildablenkung, weil U_c = konst. $\cdot\, t$ wird.

Das Problem der Ablenkschaltungen niedrigster Periodenzahl wird beseitigt durch sukzessive Übertragung *mehrerer* (N) Raster mit proportional vergrösserter Abtastgeschwindigkeit, so dass $t_{ü}$ unverändert bleibt. Die genaue Deckung der im Empfänger aufeinanderfallenden N Zeilenfelder gewährleistet, dass die Endintensität des gespeicherten Bildpunktes eine Funktion seiner *integralen* Anregungsdauer wird, denn die Entstehung der Nachleucht- wie der Blauschriftzentren ist ein in weiten Grenzen kumulativer Effekt. Leuchtkraft (bzw. Kontrast) und Schärfe des Fernbildes erreichen daher die gleichen Werte wie bei einmaliger, entsprechend langsamerer Übermittlung. Die Frequenzbandbreite ist freilich N mal grösser geworden, und damit wächst *im einzelnen Raster* der Rauschpegel. Bei der optischen Integration über N Raster hebt sich dieser Einfluss aber zum Teil auf. Der grosse Vorteil der Methode besteht darin, dass die Bildablenkfrequenz nunmehr in einem technisch vollkommen beherrschten Bereiche liegt. Ein Idealfall wäre, wie erwähnt, die Verwendung von für Fernsehsendungen vorhandenen Steuergeräten, lediglich mit dem Zusatz einer Stufe zur Verkleinerung der genormten Rasterfrequenz (n) im Verhältnis der Zeilenzahlen des Fernseh- und des Faksimilebildes (im betrachteten Falle wie 600 : 1200, also auf die Hälfte). Die *Zeilenfrequenz* der Fernsehzerleger sollte zum Zwecke voller Auswertung der von ihr abhängigen Frequenzbandbreite des Kanals unverändert benutzt werden. Würde z. B. für $t_{ü}$ rund $^1/_2$ s zugestanden, so hiesse dies, dass bei n = 25 das 1200zeilige Bildfeld N = 6mal nacheinander abgetastet und im Empfänger deckend geschrieben werden könnte. Bei Nachleuchtspeicherung mit rund 1 s Übertragungsdauer würde jeder registrierte Bildpunkt N = 12mal angeregt werden, bei Blauschrift gemäss den gemachten Angaben häufiger.

Ausser den behandelten Speicherverfahren für Feinstrukturen sind weitere Gegenstand der Bildfängerröhren-Forschung in den Fernsehlaboratorien. Einige dieser Verfahren erscheinen grundsätzlich für die hier in Rede stehende Anwendung geeignet, vor allem ihrer Trägheitslosigkeit halber, die sehr hohe Registriergeschwindigkeiten, also kleine $t_{ü}$-Werte, bei sofortiger Lesbarkeit des Bildtelegrammes in Aussicht stellt. Die Versuche sind jedoch noch nicht genügend fortgeschritten, als dass hier bereits auf solche Möglichkeiten eingegangen werden könnte.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *Fritz Schröter*, Château de Corbeville sur Orsay, Seine et Oise (France).

Appareils de mesure pour tableaux

Par *R. Grezet*, Zurich

621.317.7 : 621.311.176

L'article traite de l'évolution des appareils de mesure électriques pour salles de commande et décrit quelques exécutions modernes.

Es wird über die Entwicklung von elektrischen Schalttafel-Messinstrumenten berichtet und auf einige moderne Ausführungen hingewiesen.

La salle de commande d'une centrale ou d'un poste de transformation n'est pas réalisée sur la base de normes rigoureuses; la disposition générale, l'éclairage, le choix des teintes laissent au maître d'œuvre une certaine latitude, dont il profite volontiers pour donner à cette partie la plus en vue de l'installation un cachet inédit; en particulier l'aménagement et le choix de l'équipement des tableaux