

FERNSEH A.G.

HÄUSMITTEILUNGEN AUS FORSCHUNG UND BETRIEB DER FERNSEH AKTIENGESELLSCHAFT, BERLIN

1. BAND · HEFT 5 · AUGUST 1939

Inhalt:

		Seite
Rolf Möller und Georg Schubert	Die Weiterentwicklung unserer Empfangs- und Bildaufnahme- geräte im Jahre 1939	153
Georg Schubert, Wolfg. Dillenburger, Horst Zschau	Das Zwischenfilmverfahren	162
Wilhelm Reichel	Der Mehrfachzeilensprung	171
Kurt Brückersteinkuhl	Ueber das Nachleuchten von Phosphoren und seine Bedeutung für den Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre	179
Curt Hagen	Aufladungs- und Ermüdungserscheinungen von Leuchtsubstan- zen bei ruhendem Elektronenstrahl	187
Hans Werner Paehr	Zur Theorie der Braunschen Röhre	193

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 5

August 1939

Die Weiterentwicklung unserer Empfangs- und Bildaufnahme- geräte im Jahre 1939.

Von R. Möller und G. Schubert.

Die vor der Tür stehende Einführung des Fernsehroundfunks in Deutschland war für die im letzten Jahre geleistete Entwicklungsarbeit bestimmend. Sie erstreckte sich auf die Mitarbeit an der Schaffung des ersten deutschen Einheits-Fernsehempfängers, auf die Konstruktion von zwei weiteren Empfänger-typen, bei deren Planung auch die Forderung nach kleinsten Abmessungen, leichter Bedienbarkeit und geringem Preis bei möglichst bester technischer Leistung ausschlaggebend war, und bei der Bildauf-nahme auf die Anpassung der neuen Geräte an die Anforderungen des Fernsehroundfunkbetriebes.

A. Empfangsseite.

1. Einheitsempfänger E 1:

Der Einheitsempfänger (s. Abb. 1) ist das Ergebnis der Gemeinschaftsarbeit der fünf deutschen Fern-sehfirmen, von denen Telefunken und unsere Firma mit der Planung und der Konstruktion des Gerätes beauftragt wurden. Da an anderer Stelle (1) ausführlich darüber berichtet wird, mag hier nur gesagt sein, daß das sehr hand-liche formschöne Aeußere im wesentlichen durch die geringe Tiefenabmessung und die flache Form be-stimmt ist (was auch bereits bei unserem vorjähri-gen Modell DE 7 (2) an-genehm aufgefallen war). Ermöglicht wird dies durch eine Braunsche Röhre sehr kurzer Baulänge, deren Schirm außerdem Recht-eckform (3) besitzt. Die Kippgeräte und das Am-plitudensieb konnten im Rahmen dieser Gemein-schaftsarbeit wesentlich vereinfacht werden.

Während bei diesem Gerät die Bildzwischenfre-quenz auf 8,4 MHz fest-gelegt wurde, haben wir



Abb. 1: Einheitsempfänger E 1

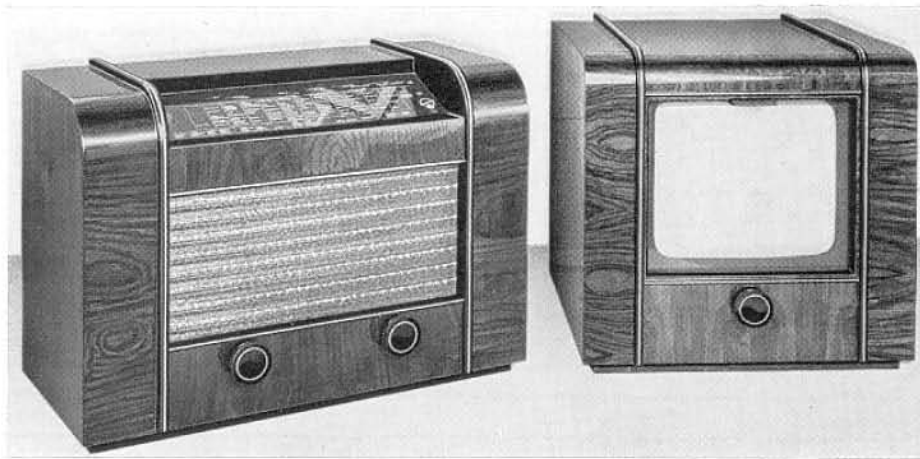


Abb. 2: Bildempfänger DE 9 mit Blaupunkt-Super 6 W 79

vorhandenen Rundfunksuperhets zusammen zu arbeiten und so die Anschaffung eines Fernsehgerätes gegebenenfalls zu verbilligen. Er besitzt ebenfalls eine Bildträgerfrequenz von 4,2 MHz und ist dadurch gleichermaßen für drahtlosen oder Fernsehfunkempfang geeignet. Zum Tonempfang wird im Falle drahtlosen Empfanges der Mittelwellenbereich, bei Fernsehdrahtfunk der Langwellenbereich des vorhandenen Superhets benutzt.

Bei sonst gleichen Tiefen- und Höhenabmessungen ist die Breite praktisch auf die Hälfte unseres früheren DE 7 gedrückt worden, da der Lautsprecher wegfällt. Abb. 2 zeigt diesen Empfänger in Kombination mit einem Superhet 6 W 79 der Firma Blaupunkt.

3. Fernsehempfänger DE 8 R:

Die Weiterentwicklung ging von der Forderung aus, die Bildfläche zu vergrößern, ohne die Gehäuseabmessungen, insbesondere die Tiefe des Gerätes wesentlich zu erhöhen. Dadurch war die Aufgabe gestellt, die Länge der Braunschen Röhre im Verhältnis noch stärker zu verkürzen, und es gelang in intensiver Kleinarbeit die Anforderungen, welche bezüglich Eckenschärfe (bei Auslenkung des Kathodenstrahls um $2 \times 40^\circ$) und Rastergeometrie (5) gestellt waren, zu erfüllen. Insbesondere waren die Anforderungen an die Divergenz des Kathodenstrahlbüschels (6) und an die sauber angepaßte Inhomogenität des Ablenkfeldes von ausschlaggebender Bedeutung. Die Verkleinerung des Halsdurchmessers der Braunschen Röhre gestattete es, trotz der abnorm großen Auslenkwinkel die Kippenergien in vernünftigen Grenzen zu halten und so abzugleichen, daß gleichzeitig dem Zeilenkippergerät die Anodenspannung der Braunschen Röhre von ca. 12000 V entnommen werden konnte (7).

Da die angestrebte Bildfelddiagonale mindestens 40 cm betragen sollte, erschien die Verwendung einer Braunschen Röhre mit rechteckigem Schirm besonders zweckmäßig, da in diesem Falle, wo das Volumen der Röhre einen bedeutenden Anteil des Gehäusevolumens ausmacht, sowohl die Breite als auch vor allem die Höhe des Gerätes verkleinert werden konnte, insbesondere die letztere aber den angestrebten Wert von 40 cm nicht überschritt. Abb. 3 zeigt die Ansicht einer solchen Röhre und gibt einen Begriff von den zu überwindenden glasbläserischen Schwierigkeiten. Die Länge der Röhre ist gleich der Schirmdiagonale (!), und zwar 42 cm, was einer Bildgröße von $31,5 \times 27,5$ entspricht. Dabei sind die äußeren Abmessungen ($70 \times 41 \times 38$ cm) des Empfängergehäuses gegenüber denen des Einheitsempfängers nur unwesentlich angewachsen, was besonders bemerkenswert ist, da dieser Empfänger außerdem einen Allwellen-Rundfunksuper enthält. Das gelang im wesentlichen durch die



Abb. 3: Weitwinkel-Empfangsröhre mit Rechteckschirm von 42 cm Diagonale

neuerdings auch ein gleiches Gerät mit 4,2 MHz entwickelt, welches wahlweise für drahtlosen Empfang oder Fernsehdrahtfunk verwendet werden kann.

2. Bildempfänger ohne Tonteil DE 9:

In Fortführung eines von anderer Seite beschrittenen Weges (4) wurde ein dem Einheitsempfänger ähnlicher Bildempfänger ohne Tonteil entwickelt, der dazu bestimmt ist, mit bereits

Verwendung der für den Ultrakurzwellentonempfang notwendigen Röhren gleichzeitig für den Rundfunkempfang, also nur durch den Zubau von Abstimmkreisen, die im Vorkreis und Oszillatorkreis in vier

Wellenbereichen und in den vier Zwischenfrequenzkreisen in zwei Wellenbereichen

(1,4 MHz und 468 kHz) umgeschaltet werden. Da die saubere Einstellung von Grundhelligkeit und Kontrastreichtum (die in der Bildwirkung miteinander verknüpft sind) dem Laien Bedienungsschwierigkeiten machen können,

wurde auch in diesem

Gerät, wie in unserem früheren Empfänger DE 7, eine Verkopplung dieser beiden Einstellungen vorgenommen, die in Verbindung mit einer vorhandenen automatischen Bildverstärkungskontrolle den Schwarzwert des Bildes konstant hält. So kommt nur ein einziger Knopf zu den beim Rundfunkempfänger notwendigen Einstellknöpfen hinzu. Als Bildträgerfrequenz des Empfängers wurden auch 4,2 MHz gewählt, und der zum Fernsehdrahtfunk gehörige Tonträger fällt wieder in den Rundfunklangwellenbereich. Das Äußere des Gerätes (Abb. 4) zeigt in anschaulicher Weise das erzielte günstige Verhältnis zwischen Bild- und Gerätegröße.

4. Heimprojektionsempfänger HPE 5 R:

In dieser Beziehung noch günstiger liegt prinzipiell der Heimprojektionsempfänger, da man sich bei der Projektion eines kleinen Originalbildes der Braunschen Röhre auf einen Projektionsschirm von der Beschränkung freimachen kann, daß die Bildgröße durch die Abmessungen der Braunschen Röhre zwangsläufig gegeben ist.

Gegenüber früheren Modellen (8) fällt unser neuer Empfänger (Abb. 5) durch die verkleinerten Gehäuseabmessungen auf. Es gelang, die Helligkeit des projizierten Bildes so zu steigern, daß seine Betrachtung selbst durch eine gewisse Raumbelichtung nicht beeinträchtigt wird. Dadurch ist ein wesentlicher Punkt, den man gegen

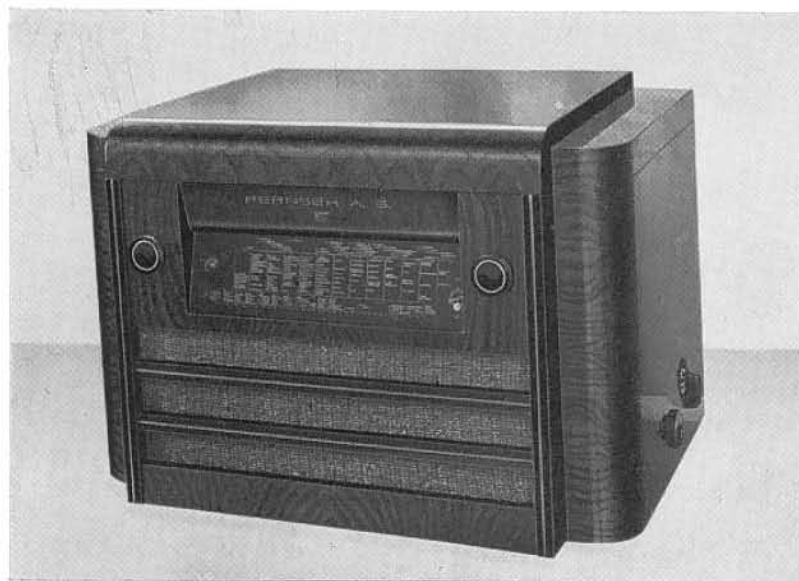


Abb. 5: Heimprojektionsempfänger HPE 5 R

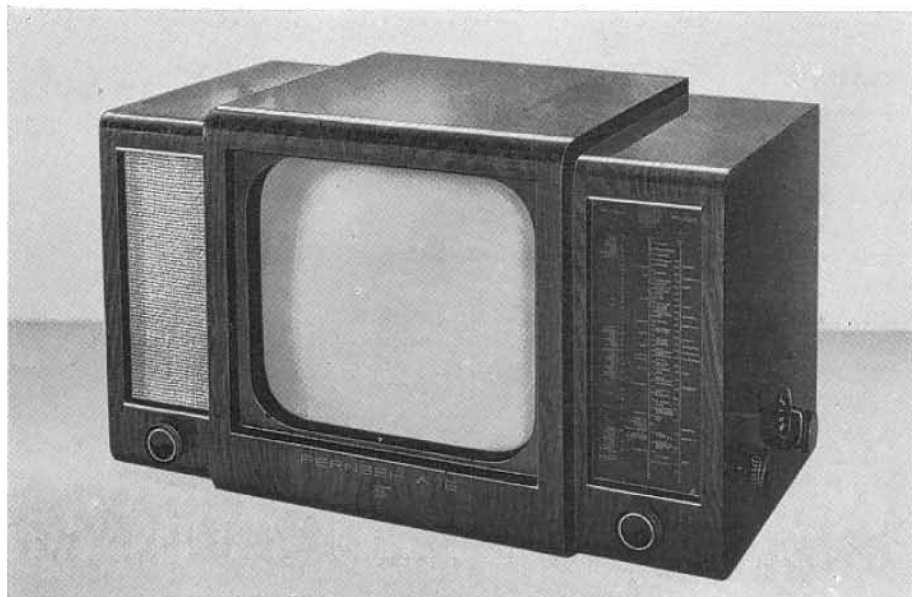


Abb. 4: Fernsehempfänger DE 8 R

den Projektionsempfänger bisher anführen konnte, gefallen. Das ausreichend helle Projektionsbild forderte allerdings bisher eine sehr lichtstarke und infolgedessen teure Projektionsoptik, welche dem Wunsch nach einem geringen Preis des Projektionsempfängers entgegenstand. Es ist daher besonders bemerkenswert, daß es in diesem Gerät trotz Verwendung einer billigen Optik gelungen ist, die Lichtfrage auf andere Weise zu lösen, nämlich 1. durch die Verwendung einer Braunschen Röhre sehr guten „lichtelektrischen“ Wirkungsgrades und 2. durch die Anwendung eines speziellen Linsenrasterschirms (9). Der Wunsch nach kleinen Projektionsobjektiven traf sehr glücklich mit der Forderung

nach geringen Gehäuseabmessungen, d. h. kurzem Strahlengang unter Ausschaltung von durch Spiegel bewirkten mehrfachen Knickungen desselben zusammen. So konnte durch Verwendung eines kurzbrennweitigen Objektivs (bei verhältnismäßig großem Bildwinkel) gleichzeitig die bei Schrägprojektion auf den Bildschirm entstehenden Verzerrungen ausgeglichen werden, da andererseits beim Bau der Braunschen Röhre gewisse Einschränkungen bezüglich der Anbringung des Strahlerzeugungssystems bestehen. Die Form dieser entwicklungs-technisch interessanten Braunschen Röhre zeigt die Abb. 6. Bemerkenswert ist einmal dabei ihre Kleinheit (vgl. die mitabgebildete Rundfunkempfangsröhre) und zweitens



Abb. 6: Kleinprojektionsröhre für Heimprojektionsempfänger (in Vorder- und Rückansicht)

daß der aus Metall hergestellte Fluoreszenzschirmträger gleichzeitig einen Teil des Vakuumgefäßes bildet.

Der zweite Faktor, der die Bildhelligkeit bestimmt, ist ein mattierter Zylinderlinsenrasterschirm, der den Hauptlichtstrom in waagerechter Richtung reflektiert, also den sich in dieser Ebene befindenden (sitzenden) Zuschauern das Bild mit maximaler Helligkeit darbietet, während der durch die Mattierung hervorgerufene „sanfte“ Helligkeitsabfall in der Senkrechten auch stehenden Zuschauern noch die Betrachtung des Bildes — wenn auch mit verminderter Helligkeit — gestattet. Außerdem wird der Einfluß von Störlicht (Raumbeleuchtung) durch die Verwendung eines solchen gerichtet strahlenden Projektionschirms wesentlich vermindert. Die gewählte Bildhöhe von 42 cm (bei einer Breite von 50 cm) bestimmt im wesentlichen die Gehäusetiefe, da der auf dem Inneren des aufklappbaren Deckels befindliche Schirm ja einen Bestandteil des Gehäuses bildet (Abb. 7). Die gewählte Bildhöhe von ca. 40 cm dürfte wohl einen günstigsten Wert darstellen, auch in Richtung noch größerer Bildhöhen, denn unter der Voraussetzung eines kleinsten Betrachtungsabstandes vom 5-fachen der Bildhöhe, d. h. in diesem Falle 2 m, dürfte er bei Heimempfang den normalen Zimmerabmessungen am günstigsten angepaßt sein.

Technisch dürfte noch interessieren, daß es gelungen ist, die Anodenspannung der Projektionsröhre von ca. 25 kV wieder aus dem Zeilenkiptransformator zu entnehmen. Die Bildendröhre liefert bei 2,5 MHz Bandbreite 120 V Steuerspannung. Im übrigen ist dieser Heimprojektionsempfänger wie der bereits beschriebene DE 8 R mit Allwellenrundfunksuperhet ausgestattet.

5. Großprojektionsempfänger GPE 6: Die im letzten Jahr gebaute Großprojektionsanlage (10), die auf der Funkausstellung 1938 einen Bildschirm von 10 m² praktisch mit Kinohelligkeit auszu-



Abb. 7: Heimprojektionsempfänger mit aufgeklapptem Bildschirm

leuchten gestattete, führte zum Bau einer Betriebsapparatur im Auftrage der Deutschen Reichspost. Dieses in Abb. 8 dargestellte Gerät wird in Verbindung mit einem Linsenrasterschirm (10) von 3×3,6 m benutzt und arbeitet den Betriebsanforderungen angepaßt mit einem Bedienungspult (Abb. 9). Im Projektorgerät sind in Abweichung von der früheren Apparatur im unteren Teil die Kippgeräte, Netzanschlußgeräte für Hilfsspannungen und -ströme sowie

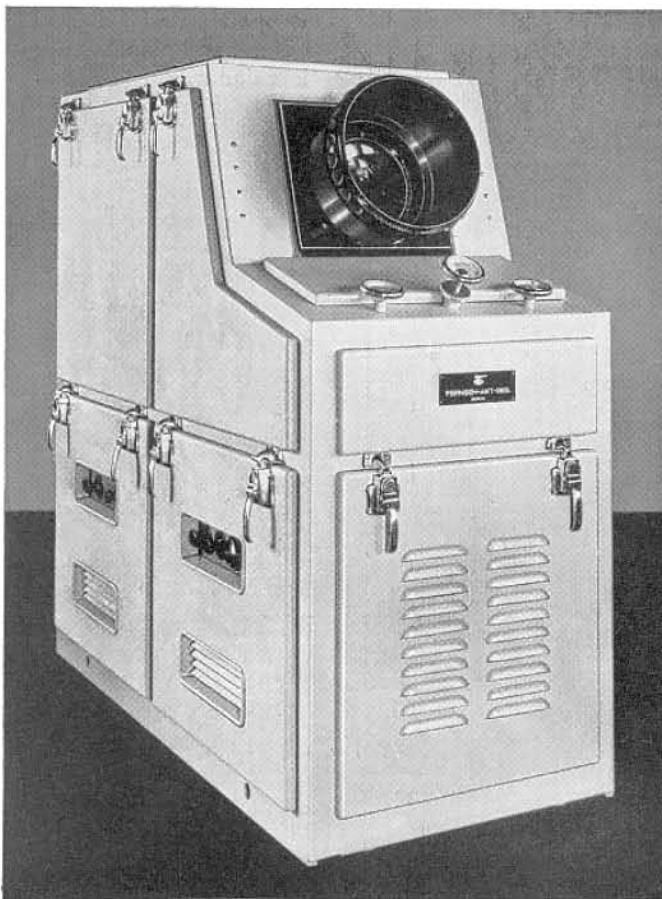


Abb. 8: Großprojektionsempfänger GPE 6

der Niederfrequenzverstärker, der bei einer Bandbreite von 3 MHz 500 V (!) Ausgangsspannung liefert, untergebracht. Die Projektionsröhre (11) trägt ihren Fluoreszenzschirm auf einer gekühlten Metallplatte; die zum Betrieb erforderliche Anodenspannung von 60–80 kV wird von einem getrennt aufgestellten Hochspannungsgerät erzeugt, und als Projektionsoptik dient ein Objektiv mit einem Oeffnungsverhältnis von 1 : 1,9 und einer Brennweite von ca. 40 cm. Vom Bedienungspult aus können alle zum Betrieb des Großprojektors erforderlichen Einstellungen vorgenommen werden. Außerdem enthält es neben Kontrollbild und Oszillographenröhre den Kabelverstärker (4,2 MHz). Falls die Modulation drahtlos empfangen wird, ist vorgesehen, den drahtlosen Empfänger getrennt aufzustellen und den Kabelverstärker als Zwischenfrequenzverstärker zu benutzen. Das Gerät ist also für wahlweisen Betrieb über Fernsehdrahtfunk oder Fernseh Rundfunk eingerichtet. Um dem Bedienungspersonal die Betrachtung des Bildes zu ermöglichen, wird eine Spiegelanordnung verwendet (Doppelspiegel), da der Linsenrasterschirm den ausgeleuchteten Raumwinkel sehr sauber begrenzt und die untere Begrenzungslinie desselben praktisch mit der ersten Zuschauerreihe zusammenfällt, während sich das Bedienungspult in einigem Abstand davor im Bedienungsraum befindet.

B. Bildaufnahme.

1. Mechanischer Filmabtaster in Zwillingausführung:

In Erkenntnis der Tatsache, daß auf mechanischem Wege gerasterte Fernsehbilder bezüglich Sauberkeit in der Geometrie bisher unerreicht sind, wurde in Anlehnung an frühere Entwicklungen für die Deutsche Reichspost ein mechanischer Filmabtaster gebaut, der die pausenlose Sendung, d. h. Ueberblendung zweier Filme, durch eine Zwillinganordnung, wie sie Abb. 10 zeigt, gestattet. Die auf beiden Seiten der Zerlegeranordnung angebrachten Filmvorschubwerke projizieren die mit Glühlampe ausgeleuchteten Filmfensterausschnitte auf zwei getrennte Spiralen einer Nipkowscheibe, die bei $\frac{3}{4}$ m Durchmesser im Vakuum mit 10 500 Touren umläuft. Da in den früheren Veröffentlichungen die Grundzüge eines derartigen Gerätes eingehend beschrieben worden sind (12), sei hier darauf verzichtet, und es soll auch davon abgesehen werden, auf die vielen technischen, der Betriebssicherheit und Einfachheit in der Bedienung dienenden Einzelheiten einzugehen.

Es soll nur gesagt werden, daß gewisse Ungenauigkeiten in der Herstellung der Synchronisiersignale durch eine optische Integrationsmethode, die später genauer bei dem mechanischen Abtaster (Punkt 5) beschrieben wird, kompensiert werden konnte. Die zu diesem Gerät gehörige in sogenannten stationären Einheiten untergebrachte Verstärkeranlage (von denen Abb. 10 zwei Einheiten zeigt) ist aus Gründen der Betriebssicherheit oder wenn es sich darum handelt, gleichzeitig zwei Programme zu fahren,

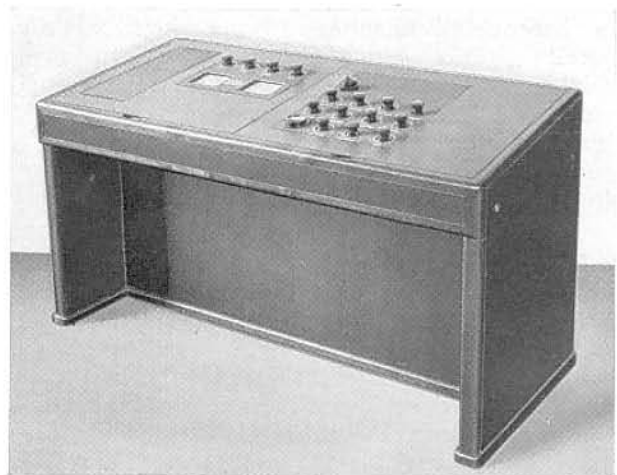


Abb. 9: Bedienungspult für Großprojektionsempfänger

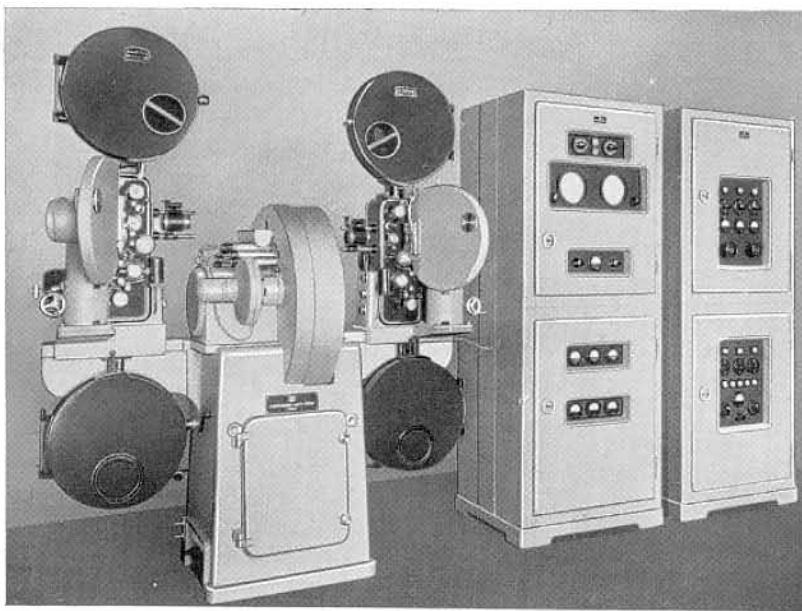


Abb. 10: Mechanischer Filmabtaster in Zwillingausführung

sein kann, Diapositive zu übertragen, die auch unter Umständen ein Bestandteil eines Vortrages sein können, wurde eine Betriebsausführung eines Diapositivabtasters gebaut, und zwar vorläufig für ein Bildformat von 24×28 mm (Contax-Leica-Format). Die Bildzerlegung erfolgt dabei mit einer Sondenröhre (13). In Abb. 11 ist das Gerät dargestellt, welches auch gleichzeitig die Kippgeräte, und den für Negativ- und Positivbilder umschaltbaren Verstärker und verschiedene elektrische Hilfsgeräte mitenthält. Das zugehörige Brückenmodulationsgerät sowie der Kontrolloszillograph sind getrennt untergebracht. Das Bildfenster, in welches Glasdiapositive oder Filmstreifen eingelegt werden können, wird von einer Glühlampe beleuchtet. Der bei der intensiven Ausleuchtung von Filmstreifen auftretenden Erwärmungs- und Brandgefahr wird durch Luftkühlung mit einem eingebauten Luftkompressor (Nonflam-Gebläse) begegnet.

Eine ähnliche Ausführung für Normaldiapositive (Vorträge) wurde ebenfalls gebaut.

3. Bildfängeranlage:

Für die Fernsehaufnahmeräume sind inzwischen zwei Bildfangkameras mit den dazugehörigen Verstärkereinheiten in Betrieb genommen worden, und die Abb. 12 zeigt eine solche Anlage, welche den auf einem schwenkbaren und fahrbaren Stativ montierten Kamerakopf in einer bereits früher beschriebenen Ausführung (8) zeigt. Die ortsfeste Verstärkeranlage enthält außer Verstärker- und Modulationsgeräten Kontrolleinrichtungen für Bild und Oszillogramm.

4. Neue Bildfängeranlage:

Wieweit es gelungen ist, auf die Betriebsanforderungen bezüglich Größe und Gewicht der Kamera und Umfang der Verstärkeranlage Rücksicht zu nehmen, zeigen die Abb. 13 und 14. In Abb. 13 ist der Kamerakopf auf einem Stativ aufgebaut, wie er für Ateliernaufnahmen benutzt werden soll; besonders jedoch dürfte sich diese Kameraform wegen ihrer erstaunlich kleinen Abmessungen und wegen des sehr geringen Gewichtes für Reportagen eignen. Das von einer zweiten Optik auf einer Mattscheibe projizierte

doppelt und außerdem mit einer kompletten Einkanalanordnung ausgeführt. Die dazu notwendigen Umschaltorgane sind gleichfalls eingebaut. Außerdem schließt die Verstärkeranlage die sog. Entkopplungsstelle ein, an die zur Entnahme von Synchronisierimpulsen und dgl. noch andere Geräte angeschlossen werden können.

2. Diapositivsender:

Ausgehend von der Tatsache, daß es für die Durchführung eines aktuellen Fernsehprogramms, insbesondere für die Zeitdienstsendung, notwendig

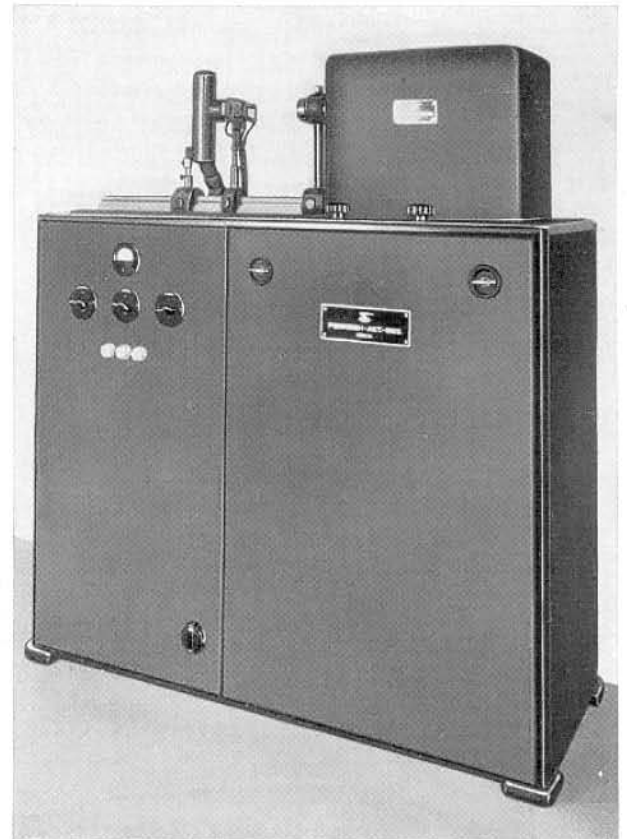


Abb. 11: Diapositivabtaster

Sucherbild ist mit einer Lupenvergrößerung ausgestattet, so daß sowohl Beleuchtung des richtigen Bildfeldausschnittes als auch die Schärfeneinstellung, welche durch den seitlich angebrachten Schwenkhebel bewirkt wird, sehr bequem ist. Sowohl Entfernungseinstellung als auch Blendeneinstellung des Objektivs können an zwei in der Mattscheibenebene des Sucherbildes angebrachten Skalen abgelesen werden. Der geringe Abstand der beiden Objektive macht einen Parallaxenausgleich unnötig. Der eingebaute Verstärker ist durch eine besondere Schaltung gegen akustische Einwirkungen unempfindlich gemacht. Der in Abb. 14 in offener Ausführung gezeigte Verstärker, der im übrigen außer den Netzanschlußgeräten die Kippgeräte, die Störkompensation usw. enthält, ist für Einbau in zwei transportable Einheiten für Reportagezwecke vorgesehen und gibt bei Vergleich mit Abb. 12 einen Begriff von dem bezüglich Raumersparnis inzwischen erreichten Fortschritt, wenn auch

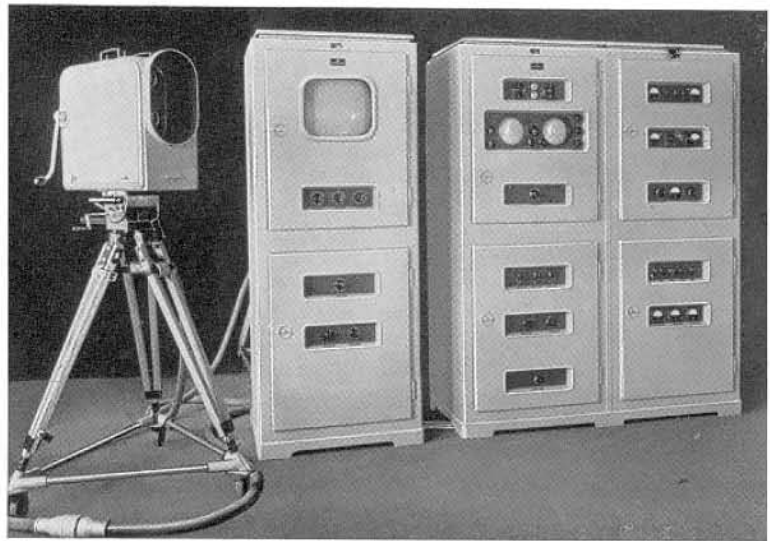


Abb. 12: Bildfängeranlage (alte Ausführung)

ein dritte transportable Einheit für das Modulationsgerät noch vorgesehen werden muß.

Inwieweit die Fernsichttechnik heute die Grundlagen beherrschen muß und sich mehr und mehr der Vervollkommnung der Betriebsseite zu widmen hat, mag Abb. 15 zeigen, in der für Reportagezwecke und dgl. der Einbau einer Verstärkereinheit in einen sog. Panzerkoffer dargestellt ist.

5. Mechanischer Taktgeber:

Eine sehr interessante Entwicklung war der Bau eines Gerätes, welches auf mechanischem Wege die durch die Abtastnorm vorgeschriebenen Zeilen- und Bildimpulse erzeugt, welche auf der Sendeseite die Abtastgeräte synchronisieren und gleichzeitig das mit der Bildmodulation ausgestrahlte Synchronisiergemisch erzeugen. Zwar gibt es elektrisch arbeitende Geräte, die durch Frequenzmultiplikation und Phasenvergleich zweier Frequenzen diese Synchronisiergemische erzeugen können, doch haben sie nicht immer die Betriebskonstanz, auf die es im vorliegenden Falle besonders ankommt.

Das Grundelement dieses mechanischen Taktgebers ist eine Scheibe, welche mit 1500 Touren (pro Bildabtastung eine Umdrehung) umläuft und auf drei Radien einmal 441 Schlitze für die Zeilenimpulse und andererseits 2×1 Schlitz für die Bildimpulse und einen dritten für den Trabanten (14) enthält. Die dadurch erzeugten Unterbrechungen eines Lichtstrahles sind selbst bei allergrößter Teilungsgenauigkeit (von 1—2") nicht ausreichend, um den zeitlich exakten Einsatz des Signals von 2×10^{-8} sec ($\frac{1}{10}$ Bildpunkt) zu garantieren. Das konnte erst erreicht werden durch Integration über eine größere Zahl von Zeilenschlitzen (15) (Ausmittlung des Teilungsfehlers), was durch gleichzeitige Beleuchtung von 40 Schlitzen erreicht

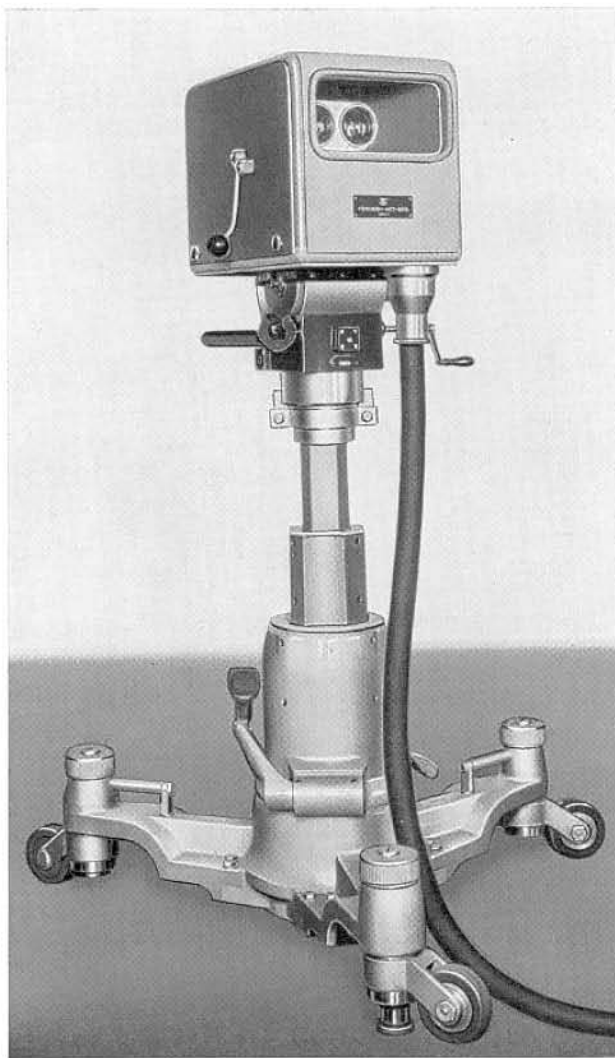


Abb. 13: Bildfängerkamera

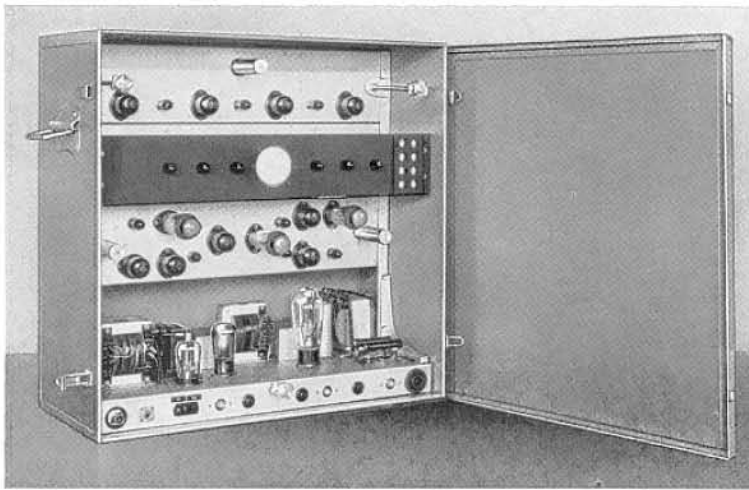


Abb. 15: Transportable Verstärkereinheit mit Panzerkoffergehäuse

heit. Die von der Fozelle gelieferten Impulse mit schräger Flanke werden mit einem Steilheitsverstärker auf eine Flankensteilheit von 2×10^{-7} sec gebracht. Die erzielten Genauigkeiten liegen oberhalb der Meßgenauigkeit und erreichen tatsächlich den Wert von $\frac{1}{10}$ Bildpunkt, und das entspricht auf dem Scheibenumfang einem scheinbaren Teilungsfehler von höchstens 3×10^{-4} (!) mm. Dabei sind Bild- und Zeilenimpulse absolut phasenstarr miteinander verkoppelt und können je nach Einstellung des Verstärkers mit verschiedener Impulsbreite erzeugt werden, wovon im vorliegenden Fall bei Anwendung von zwei Verstärkerausgängen Gebrauch gemacht wurde.

Die vorstehende Uebersicht mußte sich auf den Teil der Entwicklung beschränken, soweit sie durch den Bau von fertigen Apparaturen als abgeschlossen zu betrachten ist. Es ist beabsichtigt, in den folgenden Heften unserer Hauszeitschrift in ausführlicheren technischen Aufsätzen über die einzelnen Geräte gesondert zu berichten.

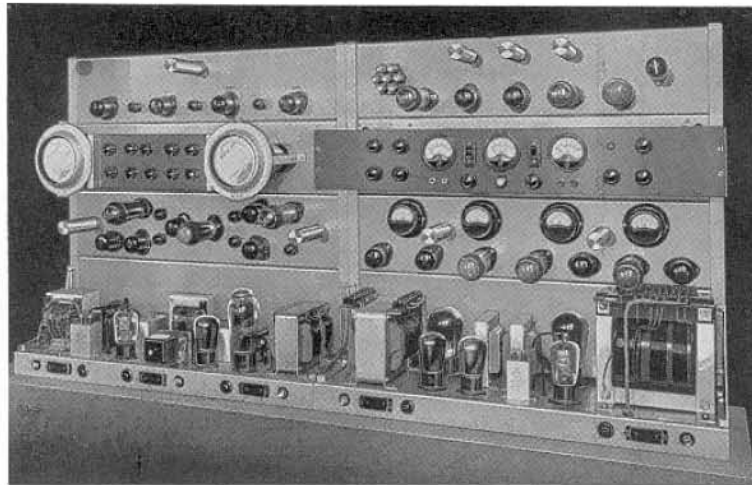


Abb. 14: Verstärkereinheiten für Bildfängeranlage

Schrifttum.

- (1) TFT, Juliheft 1939 (erscheint demnächst).
- (2) F. Rudert, TFT, 27 (1938), 506; Fernseh A. G. Hausm. 1, (1938), 37.
- (3) DRGM 1 245 254 (Rob. Bosch) vom 17. 11. 1931.
- (4) H. Hewel, TFT, 27 (1938), 509.
- (5) J. Günther, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1939), 88.
- (6) E. Schwartz, H. Strübig u. H. W. Paehr, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1938), 5.
- (7) Th. Mulert u. H. Bähring, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1939), 82.
- (8) G. Schubert, TFT, 27 (1938), 484.
- (9) R. Möller, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1939), 72.
- (10) R. Möller, TFT, 27 (1938) 516; Kinotechnik 21, (1939), 1.
- (11) E. Schwartz, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1939), 123
- (12) K. Thöm, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1938), 24, 42.
- (13) W. Hartmann, Fernseh A. G. Hausm. 1 (1939), 130.
- (14) D. v. Oettingen, R. Urtel u. G. Weiß, TFT, 27 (1938), 158.
- (15) auch Scophony gleicht bei einem mit Kapazitätsänderungen arbeitenden Taktgeber die Herstellungsgenauigkeiten durch eine Integration aus. Television 11 (1938), 605.

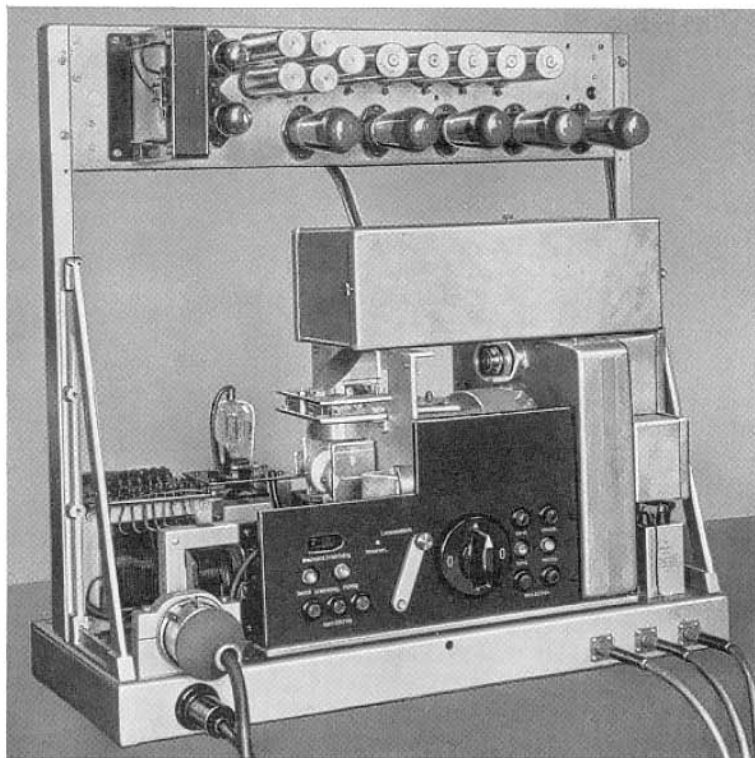


Abb. 16; Mechanischer Taktgeber

SUMMARY.

The development of Fernseh television receivers and pick up devices during the year 1939.

The introduction of regular public television broadcasts has influenced to a large extent the recent technical development work.

Fernseh A. G. has been selected by the authorities together with Telefunken to take care of the planning, lay out and construction of the new German television receiver E 1 (Einheitsempfänger). This receiver is a further step in the direction indicated by the Fernseh receiver DE 7 of 1938.

A television receiver without sound part (DE 9), a table receiver (DE 8 R) with an image diagonal of 16" (length of tube 17") including a complete all wave superhet and a home projection receiver (HPR 5 R) with

an image size of 17" to 20" on a directional screen represent a series of new home receivers.

The large projection receiver shown last year has been improved and can now be used in connection with television broadcast or wired television.

On the transmitting side the following devices have been developed:

1. A film scanner with Nipkow disc and continuous change-over from one film to another.
2. A scanner with dissector tube for still pictures (negatives or positives) of 24 to 28 mm.
3. Television camera of small dimensions with storage tube.
4. Mechanical-optical master impulse generator with multiple impulse generation.

The survey covers only types of commercial apparatus and does not include research work.

Das Zwischenfilmverfahren.

II. Teil.

Von G. Schubert, W. Dillenburger und H. Zschau.

Abtast- und Uebertragungstechnik bei Filmen.

Inhalt: Die zur Uebertragung von Negativen notwendige Verstärkerkennlinie wird unter Einbeziehung des Photographischen Prozesses abgeleitet. Die Realisierung der graphisch ermittelten Kennlinien wird an Hand von Beispielen besprochen und die notwendigen Aussteuerungsmaßnahmen werden beschrieben.

Grundsätzliche Betrachtungen über die bei der Abtastung und Uebertragung auftretenden Umwandlungen.

Der zur Abtastung gelangende Film wird mit Hilfe einer Projektionsoptik entweder auf die Photokathode einer Sondenröhre oder auf eine Nipkowscheibe abgebildet. In jedem Falle wird der durch das Filmbild hindurchgehende Lichtstrom in einen proportionalen Photostrom umgewandelt. Die den verschiedenen Transparenzen des Filmbildes entsprechenden Spannungen werden verstärkt, auf die Trägerfrequenz aufmoduliert und dem Sender zugeführt. Im Empfänger werden die ankommenden Signale verstärkt und dem Wehneltzylinder der Braunschen Röhre zugeführt. Auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre erscheint dann ein dem Film entsprechendes Bild. Wie die Umwandlungen im einzelnen vor sich gehen, sei an Hand einiger Kurven erläutert.

Abtastung von Positiven.

Für die nun folgenden Ueberlegungen diene als abzutastendes Objekt ein zehnstufiger Graukeil, dessen einzelne Schwärzungsstufen sich jeweils um 0,1 unterscheiden. Die hellste Stufe habe die Schwärzung 0,1, die dunkelste Stufe die Schwärzung 1,0. In Abb. 1a ist dieser Graukeil dargestellt. Ueber der Stufenzahl ist die Schwärzung aufgetragen. Man teilt das gesamte Schwärzungsintervall in drei Gruppen ein, deren Abgrenzung nicht festgelegt ist und in Abb. 1a willkürlich gewählt wurde. Die hellen Teile des Positivs bezeichnet man als Lichter, die dunklen Teile als Schatten und die dazwischen liegenden Stufen als Mitteltöne. Aus der Definition der Schwärzung (vergl. 1. Teil, Seite 66) folgt, daß die Lichtströme nicht der Schwärzung sondern der Transparenz proportional sind. Die zu den einzelnen Schwärzungen des Stufengraukeils gehörigen Transparenzwerte sind in Abb. 1b über der Stufenzahl aufgetragen. Die Ordinate zeigt deutlich die logarithmische Folge von Transparenzen bzw. Lichtströmen. Da nun der Photostrom dem Lichtstrom proportional ist, erhält man auch eine logarithmische Folge von Photoströmen bzw. Eingangsspannungen am Verstärker. Diese Eingangsspannung wird mit zunehmendem Lichtstrom negativer und

ist für das Beispiel in Abb. 1c auf der Abszisse aufgetragen. Es ergibt sich dann eine logarithmische Folge von Anodenströmen, bzw. Spannungen am Anodenwiderstand, mit denen der Wehneltzylinder der Braunschen Röhre moduliert werden kann. In Abb. 1d ist die Kennlinie einer Braunschen Röhre gezeigt, die zur Vereinfachung der Betrachtung nur in ihrem linearen Teil benutzt werden soll. Die Vorspannung am Wehneltzylinder wird so eingestellt, daß die mit „Grundschwarz“ bezeichnete Leuchtdichte auf dem Schirm entsteht. Von diesem Wert aus steuert man nun mit der logarithmischen Folge von Spannungen die Kennlinie nach oben aus,

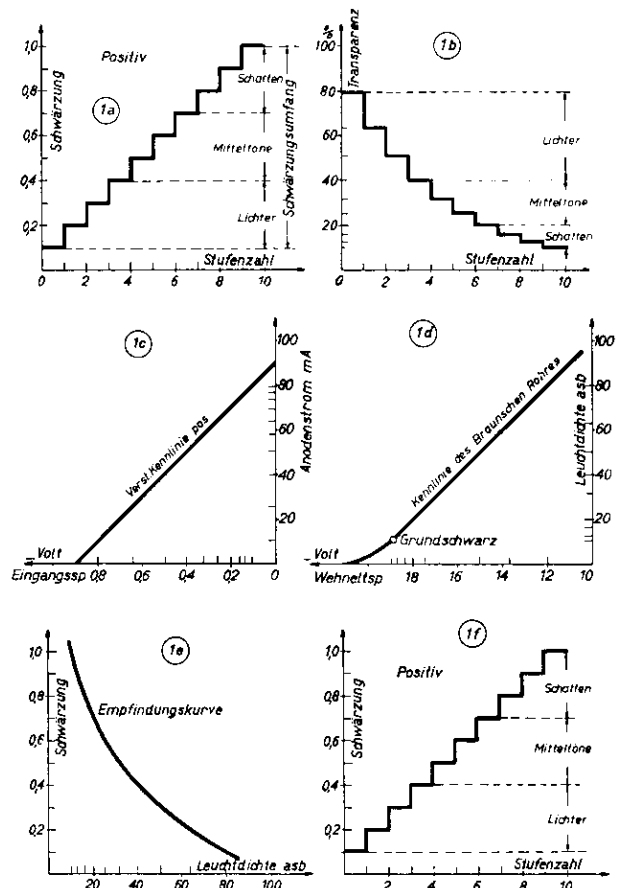


Abb. 1: Darstellung des Uebertragungsvorganges bei Positivfilm.

und erhält eine logarithmische Folge von Leuchtdichten auf dem Schirm der Braunschen Röhre. Diese Leuchtdichten empfindet man nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz, also nach einer logarithmischen Funktion, als gleichabständig. Das ist in Abb. 1e dargestellt, wobei die logarithmische Funktion als Empfindungskurve bezeichnet ist. Die Ordinate zeigt wieder die lineare Schwärzungsfolge, die in Abb. 1f aufgetragen ist. Das auf dem Schirm erscheinende Bild entspricht in seiner Schwärzungsverteilung dem in Abb. 1a dargestellten Original. Für die Abtastung und Uebertragung von Positiven müssen also die Kennlinie des Uebertragungskanals und die Kennlinie der Braunschen Röhre linear sein, wenn man eine originalgetreue Wiedergabe erreichen will.

Abtastung von Negativen.

Beim Zwischenfilmverfahren, bzw. bei der Schnellberichterstattung wird aus praktischen Gründen das Filmnegativ abgetastet und elektrisch in ein Positiv verwandelt. Die bei diesem Vorgang auftretenden Umwandlungen sollen nun betrachtet werden. Als Testobjekt diene wieder ein zehnstufiger Graukeil, dessen Schwärzungen sich um 0,1 pro Stufe unterscheiden. Hierbei sind jetzt die hohen Schwärzungen als Lichter und die geringen Schwärzungen als Schatten zu bezeichnen. In Abb. 2a ist dieser Graukeil dargestellt. Abb. 2b zeigt die logarithmische Folge von Transparenzen bzw. Lichtströmen. Mit Hilfe der Photokathode erhält man wie beim Positiv eine logarithmische Folge von Eingangsspannungen und am Anodenwiderstand eine logarithmische Folge positiver Spannungen, die um so größer werden, je größer der Lichtstrom wird. Durch eine weitere Verstärkerstufe, die man auch als Umkehrstufe bezeichnet, erzeugt man am Anodenwiderstand negative Spannungen, die mit zunehmendem Lichtstrom wachsen. Die beiden letzten Vorgänge sind in den Abb. 2c und d dargestellt. Die mit Hilfe der Umkehrstufe erzeugten negativen Spannungen werden zur Steuerung des Wehneltzylinders benutzt, wobei dessen Vorspannung so eingestellt ist, daß man die Leuchtdichte „Grundweiß“ erhält und die Kennlinie von oben nach unten durchsteuert. In Abb. 2e sieht man auf der Ordinate eine logarithmische Folge von Leuchtdichten, die in Abb. 2f über die Empfindungskurve in Schwärzungen umgewandelt worden sind. Trägt man diese Schwärzungen über der Stufenzahl des Keiles auf, so erhält man das in Abb. 2g dargestellte Bild, das zwar ein Positiv ist, aber in seiner Schwärzungsverteilung durchaus nicht dem Negativ entspricht. Die Lichter sind stark zusammengedrängt, während die Schatten entsprechend auseinandergezogen sind. Wie das entstehende Positiv eigentlich aussehen müßte, ist in Abb. 2g als gestrichelte Linie eingetragen.

Zur Erreichung der gewünschten Schwärzungsverteilung ist es notwendig, die logarithmische Folge von Spannungen, mit denen der Wehnelt-Zylinder

der Braunschen Röhre gesteuert wird, in eine umgekehrte logarithmische Folge zu verwandeln. Das kann man unter den gemachten Voraussetzungen mit Hilfe einer doppeltlogarithmischen Verstärkerkennlinie erreichen, wie sie in Abb. 3a dargestellt ist. Auf der Ordinate erscheint jetzt eine umgekehrte logarithmische Folge von Anodenströmen

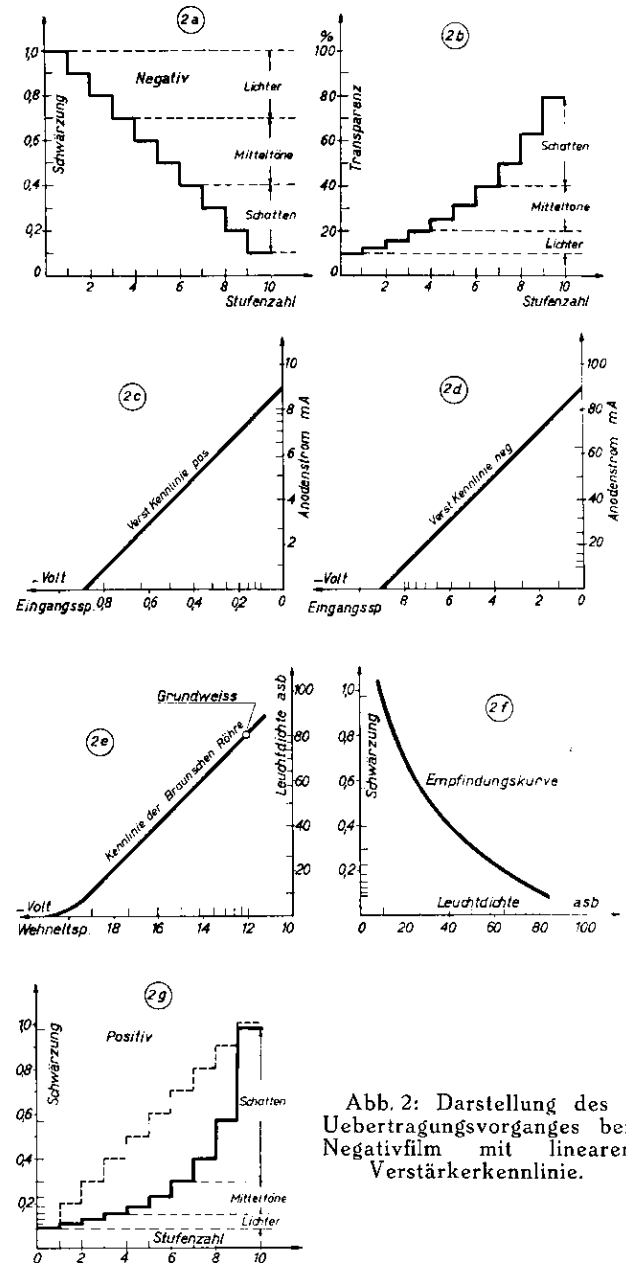


Abb. 2: Darstellung des Uebertragungsvorganges bei Negativfilm mit linearer Verstärkerkennlinie.

wie in Abb. 2d. Steuert man mit dieser Folge wie Abb. 3b zeigt, das Braunsche Rohr von „Grundweiß“ nach unten, so erhält man diesmal auf dem Schirm eine Leuchtdichteverteilung, die über die Empfindungskurve Abb. 3c eine lineare Schwärzungsfolge ergibt. Abb. 3d zeigt das gewünschte Positiv mit gleichabständigen Schwärzungsstufen. Bei der Abtastung von Negativen ist also nicht nur das Vor-

zeichen der Spannung umzukehren, und von „Grundweiß“ aus zu steuern, sondern es muß auch die logarithmische Folge umgekehrt werden, was mit Hilfe der doppelt logarithmischen Verstärkerkennlinie erreicht wird.

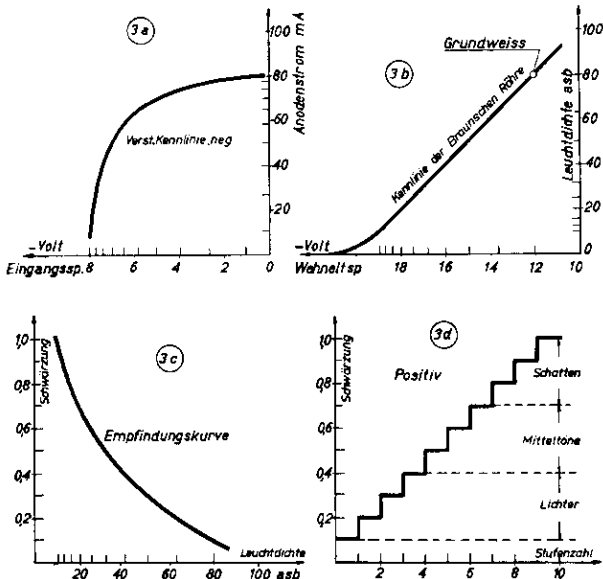


Abb. 3: Darstellung des Uebertragungsvorganges bei Negativfilm mit doppellogarithmischer Verstärkerkennlinie.

Belichtung und Einfluß auf die Wiedergabe.

Während es bei der Uebertragung von Positiven erlaubt ist, den Positivfilm als gegeben, bzw. dem dargestellten Objekt gleichwertig zu erachten, muß man bei der Betrachtung des Uebertragungsvorganges von Negativen von dem aufzunehmenden Objekt ausgehen. Es sind also die Schwarzungskurve (vergl. 1. Teil S. 66), die Belichtung und der Objekumfang (OU) zu berücksichtigen.

In Abb. 4 ist eine in der Praxis auftretende Schwarzungskurve dargestellt. Als aufzunehmendes

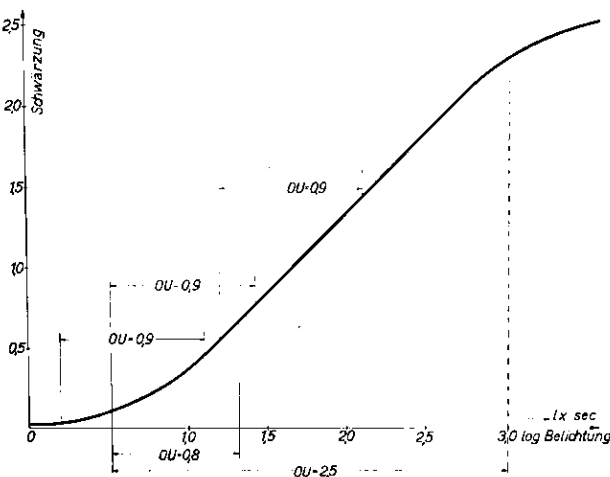


Abb. 4: Beispiel einer Schwarzungskurve. Es sind verschiedene Belichtungen eines Objektes $OU = 0,9$ und verschiedene Objekumfänge eingetragen.

Objekt diene ein aus neutralgrauen Papieren hergestellter zehnstufiger Keil, dessen Stufen sich jeweils um 0,1 in der Schwärzung unterscheiden. Es liegt also ein Aufnahmeobjekt mit dem Objekumfang $OU = 0,9$ vor. Man kann diesen Objekumfang, da er in logarithmischem Maß angegeben ist, direkt auf der Abszisse der Schwärzungskurve auftragen. Es soll nun die Belichtung bei der Aufnahme zunächst so gewählt werden, daß der gesamte Objekumfang auf dem Durchhang der Schwarzungskurve wiedergegeben wird. Die zu den einzelnen Stufen des Originals gehörigen Schwärzungen können auf der Ordinate abgelesen werden. Die hierbei ausgenutzte Krümmigkeit der Schwarzungskurve bedingt, daß die Kennlinie der Umkehrstufe wesentlich schwächer gekrümmt sein kann, als es in Abb. 3a gefordert wurde. Die für den angegebenen Fall notwendige Krümmung zeigt Abb. 5. Die Steilheitsänderung der Kurve beträgt nur noch 1 : 4 gegenüber 1 : 100 bei Abb. 3a.

Da man vom Kameramann nicht erwarten kann, daß er die Belichtung so genau trifft, daß der krummlinige Teil der Schwarzungskurve als genügender Ausgleich für die Umkehrung benutzt werden kann, sind zwei weitere Fälle verschiedener Belichtung in Abb. 4 eingetragen. Es wurde zunächst so belichtet, daß ein Teil des Objektes im Durchhang und ein Teil auf der Geraden der Schwarzungskurve wiedergegeben wird. Diese Art

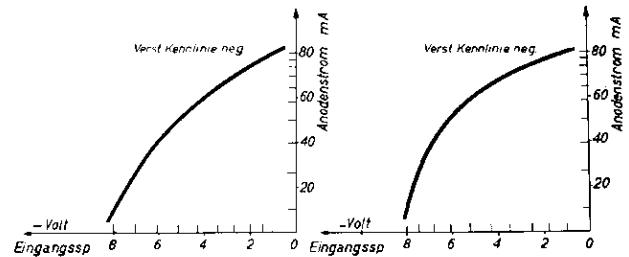


Abb. 5: Verstärkerkennlinie geringer Krümmung, Objekt liegt ganz im Durchhang der Schwarzungskurve.

Abb. 6: Verstärkerkennlinie mittlerer Krümmung, Objekt liegt teilweise im Durchhang, teilweise auf dem geraden Teil der Schwarzungskurve.

der Belichtung wird bei den meisten Zwischenfilmaufnahmen praktisch zustande kommen. In Abb. 6 ist die zu dieser Aufnahme passende Kennlinie der Umkehrstufe gezeigt. Die Steilheitsänderung beträgt 1 : 14.

Bei der dritten Aufnahme wurde die Belichtung so gewählt, daß der gesamte Objekumfang auf dem geraden Teil der Schwarzungskurve wiedergegeben wird. Hierbei tritt keine Entzerrung ein, es muß also die in Abb. 3a dargestellte doppelt-logarithmische Umkehrstufe benutzt werden.

Eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit tritt durch die eben beschriebene Variation der Belichtung auf. Durch die Verschiebung des Objekumfangs auf der Abszisse der Schwarzungskurve verschiebt und ändert sich auch der Schwärzungsumfang auf der Ordinate. Die zugehörigen Trans-

parenz- bzw. Photostromwerte unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Stufenverteilung, sondern auch hinsichtlich der Extremwerte. Diese Unterschiede müssen elektrisch so ausgeglichen werden, daß der jeweils maximale Lichtstrom dem Synchronisierungspegel, der minimale Lichtstrom der vollen Aussteuerung entspricht. Welche Schaltungsmaßnahmen dazu notwendig sind, wird weiter unten beschrieben.

Objektumfang.

Es ist weiter zu erwähnen, daß die Objektumfänge (siehe 1. Teil Seite 66) der aufzunehmenden Szenen außerordentlich schwanken. Nach Goldberg ergibt sich als subjektiver Objektumfang in logarithmischem Maß für

offene Landschaften mit Wolken	1,6—1,8
offene Landschaften ohne Wolken	0,8—1
menschlicher Kopf blond 1,0
menschlicher Kopf dunkel 2,0
Porträt	
mit weiß-schwarzer Kleidung	.. 2,0—2,5

In Abb. 4. ist sowohl ein Objektumfang von 0,8 als auch ein solcher von 2,5 eingetragen. Man sieht, daß bei hohen Objektumfängen die Schwärzungen der Lichter im Negativ ebenfalls sehr hoch und für die Abtastung ungeeignet werden. Es ist zweckmäßig, solche Aufnahmen zu einem niedrigeren Gamma als in Abb. 4 angegeben zu entwickeln. (Vergl. 1. Teil, Seite 66, Abb. 2). Bei zu reichlicher Belichtung kann es außerdem vorkommen, daß die Lichter in den oberen krummen Teil der Schwärzungskurve geraten. Hierbei wird die Wiedergabe der Lichter verschlechtert. Ein Ausgleich kann durch eine entsprechend stärkere Krümmung der Kennlinie der Umkehrstufe erreicht werden.

Lichttechnische Schwierigkeiten.

Anfärbung.

Die als Lichthofschutz bei Dünnschichtfilmen notwendige Anfärbung des Schichtträgers vermindert den auf die Kathode fallenden Lichtstrom unter Berücksichtigung ihrer spektralen Durchlässigkeit und der spektralen Empfindlichkeit der verwendeten Photokathoden um etwa 50%. Man hat also von vornherein nur die Hälfte des Lichtstromes, der bei der Abtastung von Positivfilm zur Verfügung steht.

Halbformat.

Bildet man das Halbformatnegativ auf die Photokathode eines Sondenrohres in gleicher Größe wie ein Normalformatbild ab, wie es praktisch meist geschieht, und setzt man die gleiche Leuchtdichte der Lichtquelle und die gleiche relative Öffnung der Optik voraus, so erhält man beim Normalformat den 2,5fachen Lichtstrom gegenüber dem bei Halbformat. Zusammen mit den Verlusten durch die Anfärbung bleiben bei Halbformat also nur 20% des bei Normalformat erreichbaren Lichtstromes übrig. Zwar läßt sich die Apertur des optischen Abbildungssystemes erhöhen, doch leidet darunter die Abbil-

dungsgüte in einem nicht zulässigen Maß. Der angegebene Lichtmangel macht sich im Bild durch erhöhten „Grieß“ (Schrot) bemerkbar.

Ausleuchtungsfehler.

Beim Zeilensprungverfahren wird jedes Filmbild zweimal abgetastet und die Teilbilder bei der Wiedergabe ineinander gefügt. Fehler von 5% in der Ausleuchtung der Teilbilder machen sich sowohl bei Positiv- wie bei Negativübertragung störend als Zwischenzeilenflimmern bemerkbar. Bei der Negativübertragung kommt außerdem hinzu, daß eine bei beiden Teilbildern nach dem Rande zu gleichmäßig abnehmende Ausleuchtung nach der Umkehrung und Wiedergabe als ein nach den Bildrändern zu immer mehr zunehmender weißer Schleier auftritt. Unterschiede von wenigen Prozenten wirken schon störend. Durch verschiebbare Blenden und Graufilter wird die Ausleuchtung möglichst gleichmäßig gemacht. Sie ist bei weitem gleichmäßiger als bei der Projektion von Kinofilmen.

Der elektrische Uebertragungskanal.

Aus obigen Betrachtungen ergeben sich einige Forderungen. Zum Ausgleich der verschiedenen Objektumfänge und Belichtungen muß nicht nur der Verstärkungsgrad, sondern auch die Krümmung der Kennlinie der Umkehrstufe zwischen den Steilheitsverhältnissen 1 : 1 und 1 : 100 automatisch oder von Hand regelbar sein. Die Aussteuerung muß sich an einem genügend großen Oszillogramm einwandfrei kontrollieren lassen, weil bei nicht völliger Aussteuerung der Schwarzwert des Bildes im Verhältnis zur eingestellten Grundhelligkeit des Empfängers zu hoch liegt. An die Empfindlichkeit und Schrottfreiheit der Photokathode werden wegen des geringen zur Verfügung stehenden Lichtstromes die höchsten Anforderungen gestellt. Die optische Abbildung des Filmbildes muß hinsichtlich Schärfe und Ausleuchtung hervorragend sein. Im folgenden sollen nun die Möglichkeiten erörtert werden, die die gestellten Bedingungen erfüllen.

Aenderung der Gradation auf elektrischem Wege.

Zunächst noch eine kurze Betrachtung über den Bildempfänger. In Heft 1 dieser Zeitschrift wurde auf Seite 32 schon auf Gradationsfragen beim Bildempfänger eingegangen. Infolge der Krümmung der Kennlinie der Braunschen Röhre wird hier die Gradation des Bildes verfälscht. Auf Korrekturmöglichkeiten wurde an dieser Stelle schon hingewiesen. Man könnte die Krümmung der Bildröhren-Kennlinie auch senderseitig berücksichtigen. Leider sind die Kennlinien der einzelnen Röhren recht verschieden, so daß man kaum zu einer eindeutigen senderseitigen Entzerrung gelangen kann. Es ist daher vom technischen Standpunkt aus richtig, die Entzerrung empfängerseitig vorzunehmen und den Sender so auszusteuern, als sei die Helligkeitskennlinie des Empfängers geradlinig, sofern man zu einer

wirklich richtigen Gradation gelangen will. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus ließe sich auch eine Kompromißlösung vertreten, da die Gradationsentzerrung im Empfänger einen unerwünschten Mehraufwand bedeutet. Man gelangt sicher schon zu Bildern besserer Schattengradation, wenn man die Schattenstufen entsprechend einer mittleren Kennlinienkrümmung der Bildröhre senderseitig auseinander zieht.

Verstärker für Positivsendung.

Wie oben gezeigt wird bei Positivsendung eine gerade Kennlinie des Verstärkers gefordert. Diese Bedingung ist normalerweise leicht zu erfüllen, wenn alle Verstärkerstufen nur im geradlinigen Teil der Kennlinie benutzt werden. Zudem kompensiert sich die Krümmung zweier aufeinanderfolgender Röhrenkennlinien mehr oder weniger. Etwas schwieriger ist es meist, auf einer sauber geradlinigen Modulationskennlinie zu arbeiten. Gerade in der Einstellung der Modulationsgeräte werden Fehler gemacht, die zu einer schlechten Schattengradation führen. Diese Kennlinien sind oft in ihrem unteren Teil weniger steil, während nach dem vorhergesagten das Umgekehrte wünschenswert wäre.

Verstärker für Negativsendung.

Entsprechend dem Schwärzungsumfang und der Lage desselben auf der Schwärzungskurve des Filmes muß, wie oben gezeigt, die Aussteuerungskennlinie des Verstärkers eine ganz bestimmte Krümmung aufweisen.

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, die Verstärkerkennlinie in ihrem Verlauf zu beeinflussen. Die verschiedenen Schaltmöglichkeiten haben ihre Vorteile und Nachteile. Je nach den Erfordernissen wird die eine oder andere gewählt.

Entzerrung mittels Röhrenkennlinien.

Die erste Forderung war eine Steilheitsänderung von 1 : 100, wobei der Kennlinienverlauf doppelt logarithmisch sein soll. Die Kennlinie der Röhre AF 3 ist ziemlich gut logarithmisch. Bei Anwendung zweier Stufen AF 3 ergibt sich die doppelt logarithmische Kennlinie. Bei Anwendung mehrerer Stufen müssen diese im gleichen Sinn gesteuert werden, also gerade oder ungerade Stufen des Verstärkers sein. Außerdem muß die Steuerspannung der beiden Röhren gleich groß sein, was durch eine dazwischen liegende geeignet verstärkende Umkehrstufe erreicht wird. Die Steuerung erfolgt so, daß der Lichtstrom O z. B. der Spannung 0,9 Volt, der maximale 16 Volt entspricht. Das Steilheitsverhältnis kann durch die Größe der Aussteuerung geändert werden. Bei der beschriebenen Anordnung ist die Kennlinie fest vorgegeben in ihrer Form.

Entzerrung mittels amplitudenabhängiger Widerstände.

Infolge zusätzlicher Krümmungen in der Schwärzungskurve bzw. der Helligkeitskurve des

Braunschen Rohres, sofern man letztere berücksichtigen will, kommt man zu anderen Kurven geringeren Steilheitsumfangs (Abb. 3, 5 und 6).

Mittels Dioden als Schalter für Widerstandskombinationen kann man sich jeder vorgegebenen Kurve beliebig annähern. In Heft 1 dieser Zeitschrift wurde über Anwendung in der einfachsten Form schon berichtet. Abb. 7 zeigt ein Schaltbeispiel mit zwei Dioden und einige mit den angegebenen Werten aufgenommene Kurven. Das maximale Steilheitsverhältnis wird durch das Verhältnis des Widerstandes R_a zu dem Widerstand, der sich bei Stromfluß durch alle Dioden ergibt, bestimmt. Bei $R_a = 200$ Ohm und einer Diode CY 1 ergibt sich ein Verhältnis 1 : 16. Durch Anwendung einer noch größeren Diodenzahl kann der Verlauf der Kurve beliebig gestaltet werden. Eine praktische Grenze setzt hier die Kapazität der Dioden.

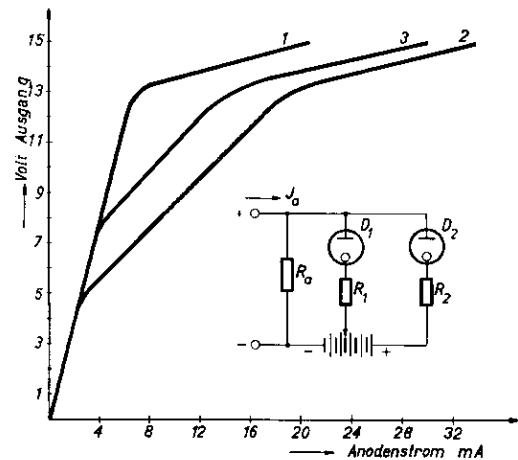


Abb. 7: Entzerrung mittels Diode.

Entzerrung mittels amplitudenabhängiger Gegenkopplung.

Zur Erzielung einer Kennlinienkrümmung kann man eine amplitudenabhängige Gegenkopplung anwenden. Abb. 8 zeigt ein Schaltbeispiel. Einer Hexode wird am ersten Steuergitter die Bildmodulation zugeführt. Parallel dazu erzeugt eine zweite Röhre in Abhängigkeit der Signalamplitude, d. h. sobald letztere einen gewissen Wert übersteigt, eine zusätzliche Modulationsspannung, die dem Verteilungsgitter der Hexode zugeführt wird. Je nach Größe der zugeführten Spannung tritt eine mehr oder weniger starke Gegenkopplung ein, so daß die Aussteuerungskennlinie umbiegt. Das Steilheitsverhältnis kann sehr groß gemacht werden. Die Gegenkopplung kann durch Anwendung eines geeigneten Parallelverstärkers in ihrer Größe amplitudenabhängig gemacht werden, so daß der Steilheitsübergang allmählich erfolgt. Die Amplitudenabhängigkeit wird wieder durch Anwendung einer Diode erreicht. Noch einfacher könnte die Begrenzung der Gegenkopplung durch den unteren Kennlinienknick der Parallelverstärkerröhre erfolgen. Statt einer Gegensteuerung kann auch eine zusätzliche Steuerung in

dem Beispiel erfolgen. Der Parallelverstärker wäre nur entsprechend anders auszubilden.

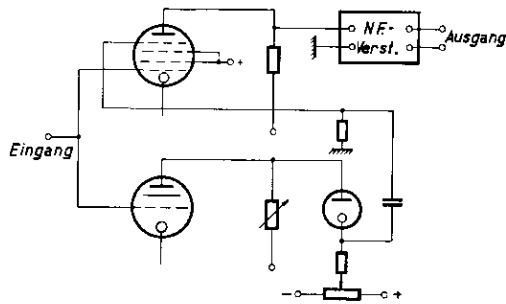


Abb. 8: Amplitudenabhängige Gegenkopplung.

Entzerrung durch parallele Kennlinien verschiedenen Verlaufs.

Zwei Hexoden werden derart parallel geschaltet, daß die erste Röhre auf einer Kennlinie veränderlicher positiver Steilheit arbeitet, die andere auf einer Kennlinie negativer Steilheit, die nicht veränderlich zu sein braucht.

Abb. 9 zeigt ein Schaltbild mit den zugehörigen Kennlinien. Die resultierende Steilheit wird 0, wenn die positive und negative gleich groß werden. Dies ist bei ca. 2,8 Volt Gittervorspannung der Fall. Das erreichbare Steilheitsverhältnis ist daher praktisch beliebig groß, die Kennlinienform durch Verschieben der Einzelkennlinien gegeneinander zu verändern. Die Schaltung kann verschieden variiert werden. Z. B. könnte man das Verteilungsgitter der ersten Röhre mitsteuern. Ebenso läßt sich die Schaltung zur Phasenumkehr abhängig von einer Regelspannung am ersten Verteilungsgitter verwenden, was bei automatischer Umschaltung von Positiv- auf Negativabtastung Bedeutung hat. Hierbei ist Vor-

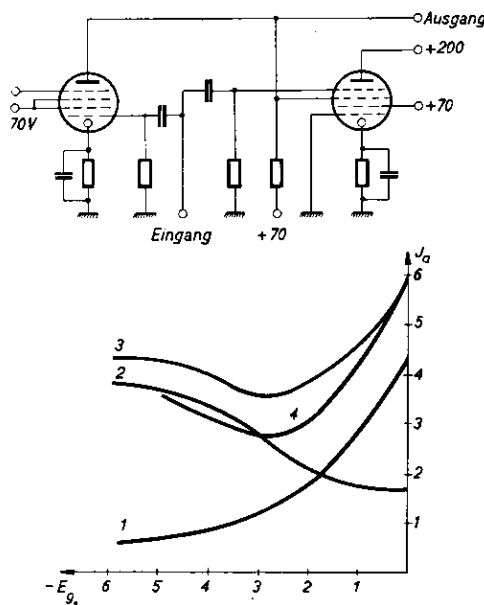


Abb. 9: Entzerrung durch Parallelschaltung verschiedener Kennlinien.

setzung, daß die geregelte Steilheit über einen gewissen Bereich größer ist als die z. B. negative Steilheit der anderen Röhre. Diese Bedingung wird durch zwei Röhren AH 1 erfüllt.

Entzerrung durch Aufteilung der Steuerkennlinie.

Abb. 10 zeigt das Prinzip. Die ursprüngliche gerade Kennlinie wird durch amplitudenabhängige Schaltelemente in beispielweise drei Abschnitte zerlegt. Jeder Teil dieser Kennlinie erhält einen besonderen Verstärker. Die Ausgangsspannungen der drei Verstärker ergeben eine resultierende Kennlinie 2. Durch den Verstärkungsgrad der einzelnen Verstärker wird die Steilheit des betreffenden Kennlinienabschnitts bestimmt. Die einzelnen Steilheiten können ganz beliebig gewählt werden. Ebenso kann die Unterteilung beliebig groß z. B. gleich der Graustufenzahl gemacht werden. Diese Anordnung erlaubt jede beliebige Kennlinienform herzustellen, ist aber andererseits wohl die komplizierteste Methode. Im einfachsten Fall bestehen die einzelnen Verstärker aus Röhren verschiedener Steilheit.

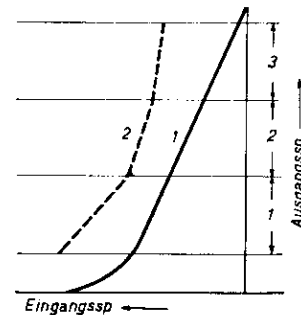


Abb. 10: Entzerrung durch Aufteilung der Kennlinie.

Aussteuerungsfragen.

In Abb. 11 sind zwei Diagramme gezeichnet. Das erste stellt die dem eigentlichen Sender bei Positiv-Abtastung aufmodulierte Spannungen dar, Synchronisierzeichen und Bildmodulation, wie sie sich bei Positivabtastung ergibt, das zweite das gleiche Diagramm für Negativabtastung. Die Richtung der Zunahme des Lichtstromes also der Photozellenspannung ist durch den Pfeil angedeutet. Hierbei soll der Synchronisierpegel dem dunkelsten Punkt des Bildes entsprechen. Der hellste Punkt soll den Sender auf 100% aussteuern.

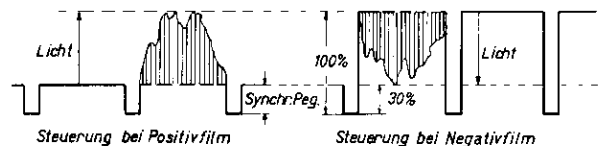


Abb. 11: Aussteuerungsdiagramm.

Stufenzahl der Bildwiedergabe.

Die Stufenzahl, die das Braunsche Rohr wiederzugeben vermag, hängt zunächst von dessen Betriebs-

daten und Eigenschaften ab. Bei Messungen ergab sich bei einer 40 cm Bildröhre bei 12 000 Volt Anodenspannung, wenn man in den hellsten Stellen eine leichte Zeilenunschärfe bereits zuläßt, eine meist gut wiederzugebende Stufenzahl von 10, bei sorgfältigster Anpassung der Gradationskurve 15. Das ist verhältnismäßig sehr wenig. Es läßt sich daher wohl rechtfertigen, den Gesamtschwärzungsumfang des Bildes vollständig in das volle Aussteuerintervall also 30% — 100% zu legen. Praktisch wird auch so immer ausgesteuert.

Die nachfolgenden Betrachtungen sind daher ganz auf dieses Ziel gerichtet.

Verstärkung mittels Gleichstromverstärker.

Die Aussteuerungsbetrachtung soll unter folgenden Voraussetzungen geschehen:

Die Schwärzungskurve soll geradlinig sein. Jedem Lichtstrom entspricht ein bestimmter Aussteuerungswert des Senders, insbesondere der Lichtstrom 0 bei Positivsendung 30%, bei Negativsendung 100%.

Positivsendung.

Für Positivabtastung soll bei Lichtstrom 0 der Verstärker gerade eine solche Spannung abgeben, daß der Sender 30% ausstrahlt. Der dunkelste Bildpunkt entspricht normalerweise einem geringen Lichtstrom. Die Verstärkung wird soweit aufgedreht, daß der hellste Bildpunkt gerade 100% aussteuert. Die Differenz zwischen Lichtstrom 0 und dem kleinsten vorkommenden Lichtstrom geht also für die Wiedergabe verloren, sofern die Schwarz-einstellung unverändert bleibt. Sie vergrößert unnötig den Synchronisierpegel. Dieser Gleichstromwert kann nun durch Verändern des Arbeitspunktes des Modulationsgerätes z. B. kompensiert werden. Arbeitspunkt und Verstärkung können leicht so eingestellt werden, daß der gesamte Modulationsbereich ausgenutzt wird. Gewisse Unterschiede in den dunkelsten Stellen verschiedener Bilder bedingen nur kleine Spannungsunterschiede, so daß bei konstanter Arbeitspunkteinstellung der Schwarzwert verschiedener Bilder nur wenig schwankt. Die eben genannte Differenz bleibt vorhanden, wenn während des Bild- und Zeilenrücklaufs die Photozelle auf 0 getastet wird, da der Synchronisierpegel bei Positivabtastung stets beim geringsten vorkommenden Photostrom vorhanden sein muß. Wie weit sich bei einem gut zu übertragenden Negativ 0 Wert und geringster vom Bild herrührender Photostrom unterscheiden, wurde an einigen Messungen für zwei Diapositive festgestellt.

Schwärzungsumfang: 1,32 — 0,1 — 1,22
 1 — 0,05 = 0,95

Stromumfang: 16 — 770 μ A
 44 — 950 μ A

Differenz 16 μ A also 1,6%
 44 μ A 4,4%

der Aussteuerung bei maximalem Lichtstrom.

Wie zu erkennen ist, ist der Verlust an der Senderaussteuerung nicht so groß, daß man unbedingt eine besondere Korrektorschaltung sogenannte Grausteuerung anwenden müßte.

Negativsendung.

Bei Negativsendung liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter. Zur Forderung einer richtigen Aussteuerung tritt die der Entzerrung. An Hand der doppelt logarithmischen Kennlinie sollen die Aussteuerungsfragen untersucht werden.

In Abb. 12 ist die Steilheits- und Anodenstromkennlinie einer AF 3 sowie die Steilheitskennlinie über zwei Stufen gezeichnet. Der Schwärzungsumfang von 0,9 soll zwischen 0,1 — 1,0 liegen. Der Schwärzung 0 soll ein Kathodenstrom von 1000 Microamp. entsprechen. Dann entspricht 0,1 800,1 100 und 2 10 Microamp. Der Steilheitsunterschied muß nach oben gesagtem 1:100 sein. Das ist für zwei Stufen AF 3 bei gleicher Steuerspannung zwischen 2,4 und 13,2 Volt Gittervorspannung der Fall. Daraus ergibt sich für den Maximalen Lichtstrom eine Spannung von 15,9 Volt, für den Lichtstrom 0 eine solche von 0,9 Volt.

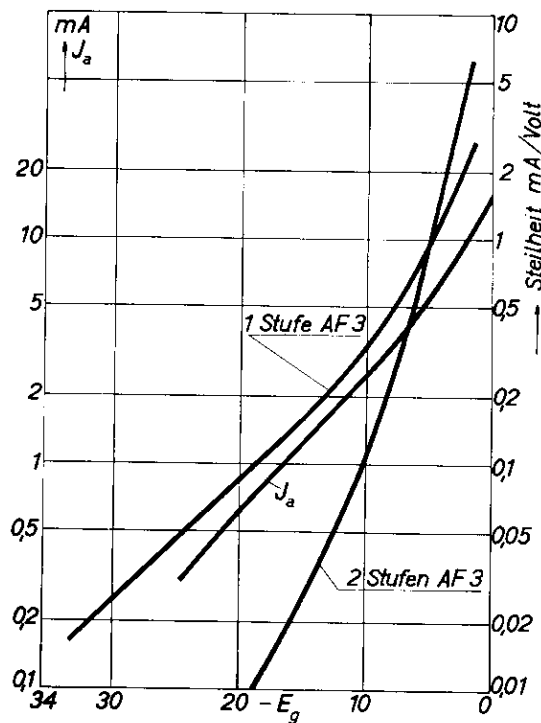


Abb. 12: Steilheits- und Anodenstromkennlinie der AF 3.

Durch stärkere Belichtung des Films soll nun der Schwärzungsumfang von 0,9 auf 0,5 — 1,4 verschoben werden. Diese Werte ergeben Steuerspannungen von 0,6 — 4,8 Volt. Verstärkt man jetzt um den Faktor 2,5 mehr, so bekommt man dieselben Spannungen wie im ersten Fall. Praktisch kommen solche Verschiebungen auf der Schwärzungskurve häufig vor. Den richtigen Aussteuerungsgrad des Senders würde man also im betrach-

teten Beispiel immer durch Verstärkungsänderung erreichen, sofern der Schwärzungsumfang konstant bleibt, und niemals ein hellerer oder dunklerer Punkt abgetastet wird, als dem Schwärzungsumfang des eigentlichen Bildes entspricht (Sendung feststehender Bilder). Normalerweise wird nun der Bildstrich des Films mit abgetastet. Dieser kann eine geringere Schwärzung als der hellste Bildpunkt haben. Praktisch ist sie gleich dem Schleier des Filmes. Der Sender muß so eingestellt sein, daß der Synchronisierpegel bei Abtastung des hellsten Bildpunktes vorhanden ist. Es wäre also bei einer Verschiebung der Schwärzungen des eigentlichen Bildes zu höheren Werten nicht möglich, die Verstärkung aufzudrehen, da ja die Schwärzung des Bildstriches dieselbe geblieben ist und infolgedessen der Sender während dessen Abtastung viel zu weit, d. h. unter den Synchronisierpegel gesteuert würde, was Gleichlaufstörungen beim Empfänger zur Folge hätte. Es geht daher ähnlich wie beim Positivfilm, jedoch in stärkerem Maße ein Teil des Steuerbereiches nutzlos verloren. Dies zu vermeiden kann man verschiedene Wege einschlagen.

Verstärker für Negativabtastung.

Die Verhältnisse wurden bisher an einem Gleichstromverstärker erläutert. Praktisch ist ein solcher über mehr als eine Stufe aus Stabilitätsgründen nicht verwendbar. An seine Stelle tritt der RC-Verstärker mit Schwarzsteuerung. Das Prinzip der Schwarzsteuerung liegt bekanntlich darin, am Ende jeder Zeile einen sogenannten Schwarzimpuls zu geben, der mindestens so schwarz wie der schwärzeste Bildpunkt sein muß, und diesen Wert spannungsmäßig auf der Kennlinie des Modulationsgerätes z. B. durch geeignete Schaltmittel festzuhalten.

Diesen Schwarzsteuerimpuls kann man verschieden erzeugen. Man hat zunächst versucht, ihn gleich bei der Abtastung zu gewinnen, indem man einen unbelichteten weißen Zeilenrand mit abtastet. Der dieser Schwärzung zugehörige Spannungswert entspricht dem Synchronisierpegel des Senders. Das ergibt genau die gleichen Verhältnisse wie beim Gleichstromverstärker geschildert.

Grausteuern.

Zur Vermeidung des ungenutzten Steuerbereiches bei zu hoher Mindestschwärzung des Bildinhalts hat man eine Anordnung getroffen, diesen Steuerbereich im Verstärker durch einen künstlich herbeigeführten Kennlinienknick, dessen Lage von Hand einstellbar ist, zusammenzudrängen. Durch nachfolgende Mehrverstärkung wird dann die richtige Aussteuerung erreicht. Praktisch wird der in Frage kommende Steuerbereich durch eine Diode kurzgeschlossen. Die Einstellung erfolgt nach dem Aussteuerdiagramm. Die Anordnung wurde nach Abb. 7 mit einer Diode ausgeführt. Von einer bestimmten Amplitude an wird der Diodenwiderstand — dem Ausgangswiderstand einer Verstärkerstufe parallel geschaltet. (Kurve 1 der Abb.) Ein noch besseres

Zusammendrängen bis auf 0 erreicht man durch Anwendung der oben beschriebenen Gegenkopplung.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, das Modulationsgerät, sobald die Steuerspannung vom Verstärker zu groß wird, also in den 30% Pegel hineinsteuern würde, durch eine Diode abzuschalten. Solche Anordnungen sind auch verwendet worden. Dabei liegt die Diode als amplitudenabhängiges galvanisches Kopplungsglied zwischen dem Verstärker und dem Modulationsgerät. Schließlich ist noch eine träger- oder niederfrequenzzeitige Austastung der Bildmodulation während der Dauer des Bildstriches möglich.

Elektrischer Aussteuerimpuls.

Aus dem oben gesagten geht hervor, daß es besser erscheinen muß, möglichst keine helleren Spannungsimpulse bei der Abtastung zu haben, als die des hellsten Punktes im Negativ. Durch Austasten der Photozelle während der Rücklaufzeiten wird dies erreicht. Der Bezugswert für den Schwarzpegel wird dann durch ein elektrisches Signal gegeben. Dazu kann das Zeilensignal benutzt werden. In Abb. 11 ist in der zweiten gezeichneten Zeile nur dieses Signal vorhanden. Es muß so groß sein, daß der Sender gerade 100% ausgesteuert ist, und kann irgendwo im Verstärker eingetastet werden. Zu dem Signal addieren sich die vom Lichtstrom herrührenden Spannungen. Macht man nun unabhängig von der Signalstärke die Modulationsspannungen regelbar, so kann man durch geeignete Einstellung der Verstärkung, beispielsweise der Photozelle, den Sender unabhängig von der Lage des Schwärzungsumfanges auf der Kennlinie bis auf 30% heruntersteuern. Man umgeht damit die etwas schwierige Einstellung der Grausteuern. Gegenüber der Erzeugung eines optischen Schwarzsteuerimpulses hat der elektrisch erzeugte den Vorteil der absoluten Sauberkeit, was für ein einwandfreies Arbeiten der Schwarzsteuerung unbedingt notwendig ist. Vor allem wirkt sich bei Erzeugung des optischen Impulses eine Ungleichmäßigkeit in der Ausleuchtung der Teilbilder oder innerhalb des weißen Randes eines Teilbildes als starkes Flimmern aus.

Automatische Aussteuerung.

Die Tatsache, daß eine zu große Modulationsspannung in den Synchronisierpegel steuert, erfordert größte Aufmerksamkeit des Bedienungspersonals. Einmal kann man, um dies zu vermeiden, die vorher erwähnte Abschaltung des Modulationsgerätes vorsehen. Eleganter ist die Einführung einer automatischen Regelung. Die Regelung ist verzögert und kann z. B. bei Erreichen einer 35%igen Senderaussteuerung einsetzen. Die Regelung muß dann so steil erfolgen, daß auch bei größeren Schwankungen des maximalen Lichtstroms höchstens der 30% Pegel erreicht wird. Dies ist durch geeignete Wahl der Verstärkungsziffer des Steuerverstärkers leicht zu erreichen.

Gegen eine automatische Steuerung ließe sich ganz allgemein einwenden, daß Bilder geringen

Schwärzungsumfanges auf den gleichen Umfang gebracht werden, wie ein Bild großen Schwärzungsumfanges. Mit Rücksicht auf die geringe wiederzugebende Stufenzahl erscheint das aber, wie schon bei der Bildröhrenbetrachtung erwähnt, gerechtfertigt.

guter Gradation, wenn man sich einer elektrischen Regelmöglichkeit derselben bedient.

Zum Schluß noch ein Schema einer Verstärkeranlage für Negativabtastung, wie es auf Grund der vorangegangenen Erörterungen als zweckmäßig erscheint (Abb. 13).

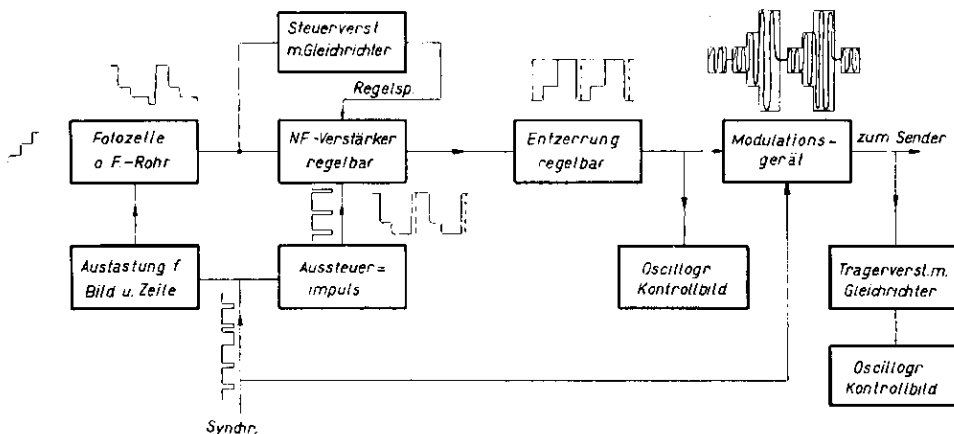


Abb. 13: Schema einer Uebertragungsanlage für Negativabtastung.

Wirkung der Krümmung der Schwärzungskurve des Films.

Zu Anfang dieser Arbeit wurde gezeigt, welche Verstärkerkennlinien praktisch in Frage kommen, wenn man teilweise oder ganz im gekrümmten Teil der Schwärzungskurve arbeitet.

Die notwendigen Krümmungen der Verstärkerkennlinie werden geringer und zeigen einen anderen Verlauf. Die sich daraus ergebenden Einstellnotwendigkeiten des Verstärkers sind dann nicht mehr so einfach zu übersehen wie im idealen Fall der völlig geradlinigen Schwärzungskurve. Die verschiedenen Möglichkeiten bei der photographischen Aufnahme erfordern praktisch ein während der Sendung regelbares Steilheitsverhältnis. Bei Anwendung der AF 3 zur Entzerrung kann das durch Aenderung der Steuerspannung oder des Arbeitspunktes der Röhre erreicht werden, wenn man gleichzeitig dafür sorgt, daß die Ausgangsamplitude stets konstant bleibt. Es tritt also bei automatischer Aussteuerung an Stelle des Aussteuerreglers der Gradationsregler, der bei einiger Uebung von dem bedienenden Personal auf günstigste Gradation eingestellt werden kann.

Ursprünglich hat man die Notwendigkeit einer gekrümmten Verstärkerkennlinie bei Negativabtastung noch nicht erkannt und eine geradlinige angewendet. Wenn sich dabei vielfach doch brauchbare Bilder ergaben, so ist der Grund darin zu suchen, daß der gerade verwendete Film, die gewählte geringe Belichtung und die angewandte Entwicklungsart senderseitig in Verbindung mit einer Kennlinienkrümmung der Braunschen Röhre empfängerseitig die Gradationsentzerrung mehr oder weniger gut bewirkten. Weit unabhängiger von diesen Faktoren gelangt man immer zu einem Bild

Zusammenfassung.

Es wird gezeigt, welche Forderungen bei der Abtastung von Negativfilm zur Erlangung einer in der Gradation richtigen Wiedergabe an den Verstärker gestellt werden müssen. Abhängig von der Schwärzungskurve des Films ergeben sich verschiedene Steuerkurven mit einem Steilheitsverhältnis von 1:100 bis 1:4. Dies wird an drei Beispielen abgeleitet. Im Idealfall einer geraden Schwärzungskurve wird die Form der Kennlinie doppelt logarithmisch. Verschiedene Wege zur Kennlinienkrümmung in Verstärkern werden angegeben: Logarithmische Röhrenkennlinie, amplitudenabhängige Widerstände, Parallelschalten positiver und negativer Kennlinien, amplitudenabhängige Gegenkopplung, Aufteilung des Steuerbereichs in Einzelkennlinien verschiedener Neigung. Eine regelbare Entzerrung wird gefordert.

Die Aussteuerungsverhältnisse bei Positivabtastung werden kurz untersucht und diesen die bei Negativabtastung sich ergebenden Forderungen gegenübergestellt. Die notwendigen besonderen Schaltmaßnahmen werden erörtert.

Die Erzeugung von Schwarzsteuersignalen auf optischem und elektrischem Weg wird diskutiert. Die konstante Gesamtaussteuerung mittels eines elektrischen Signals erscheint am zweckmäßigsten, wobei die eigentliche Modulation am besten automatisch so geregelt wird, daß ihre Spannungsamplitude gerade maximal die des Signals erreicht. Aufsatz Schubert, Dillenburger, Zschau.

SUMMARY.

Intermediate film television.

The first part of this paper (Vol. 1, No. 3, Page 65) commences with a definition of the basic photographic factors involved, such as sensitivity, transparency, opa-

city, black value, gradation, exposure etc. The influence of the separate steps of the photographic process upon the properties of the film as a means for forming an intermediate record for subsequent scanning are discussed. By making use of the possibilities of rapid development, of experience with thin layers of emulsion as a means for shortening the time of fixing and of experiments regarding different methods of washing, hardening and drying, a negative with a black of 0,8 — 1,4 can be produced within 75 secs. This time can be further shortened by using pretreated films, by using a combined fixing and developing agent or by drying with alcohol.

The second part of the paper (in this issue) deals with the requirements for obtaining a picture of correct gradation at the receiver when negative or positive films are used for the transmission.

If negatives are employed it is necessary to consider the relations between the exposure, the brightness

values of the object, the optical properties of the film and the electrical reversal of the brightness values. A correct positive at the receiving side is obtained from a negative film with linear gradation if the transmission channel has a characteristic curve of double logarithmic curvature. It is necessary to control the amplification factor and the curvature of the characteristic curve of the reversing stage. The possibilities of using tubes with suitable characteristic curve, of using elements having amplitude limiting properties and several other methods of influencing the characteristic curve of the channel are described. The transmission of negatives is compared with that of a positive film. A linear characteristic curve of the transmission channel and of the braun tube is recommended in the latter instance. The requirements for the modulating stage are treated for both positive and negative film, in connection with automatic level control and impulse injection. Finally the influence of a curved gradation of the film is considered.

Der Mehrfachzeilensprung.

Von Wilhelm Reichel.

Inhalt: Anknüpfend an die übersichtliche Arbeit von F. Raeck (40) über die geschichtliche Entwicklung des Zeilensprungverfahrens gibt die vorliegende Arbeit nur einen kurzen ergänzenden Ueberblick über die Entwicklung von 1930 an bis zur Einführung der Fernsehsendenorm im Jahre 1937 und befaßt sich dann mit einer Systematik der verschiedenen Arten des Zeilensprunges unter ausführlicher Darstellung des mehrfachen Zeilensprunges und des Zeilensprunges in Zusammenhang mit mehrfarbigen Fernsehübertragungen.

Bemerkungen zur geschichtlichen Entwicklung.

Die Grundfragen, die von dem heute geläufigen Begriff des Zeilensprungverfahrens umfaßt werden, sind von den Fernseherfindern schon frühzeitig und in ihren Grundzügen vollständig bis zum Jahre 1930 etwa gelöst worden. Die Ansichten über die technische Brauchbarkeit und Zweckmäßigkeit des Zeilensprungverfahrens haben jedoch noch nach diesem Zeitpunkt von vollständiger Ablehnung bis zur hartnäckigen Verfechtung in allen Abstufungen geschwankt, bis durch die Einführung der Sendenorm im Jahre 1937 die Diskussion in ruhigere Bahnen gelenkt wurde. Nur die auf anderen Gebieten des Fernsehens weitergehende Entwicklung, z. B. die Lichtspeicherung auf der Empfangsseite könnte Anlaß geben, daß das Verfahren wieder an Bedeutung verliert. Die Kombination mit dem Farbenfernsehen jedoch oder der Uebergang zu Bildern größerer Auflösung wird zum weiteren Ausbau des Verfahrens führen.

Der Streit über die Zweckmäßigkeit und Brauchbarkeit des Verfahrens wird Ende 1930 eingeleitet durch eine ablehnende Beurteilung auf Grund von Versuchen, die mit niedrigen Zeilenzahlen durchgeführt wurden (4). Es wurde damals nicht erkannt, daß das störende Zeilenflimmern bei genügender Erhöhung der Zeilenzahl nicht mehr in Erscheinung tritt.

Etwa zur gleichen Zeit beschäftigten sich von Ardenne (7), (8) und Hudec (5), (6) mit der Frage, wie der Zeilensprung erzeugt werden soll, wenn man nicht mit mechanischem, sondern mit elektrischem Bildaufbau arbeitet. Während von Ardenne vorschlägt, daß die Zeilenfrequenz ein ungerades Vielfaches der Bildfrequenz sein soll und später vorschreibt, daß sie ein nicht ganzzahliges Vielfaches betragen soll, also mit Zeilenbruchstücken am Zeilenzugende arbeitet, beschäftigt sich Hudec mit Verfahren, bei denen eine Verschiebung des Gesamtrasters (Hilfshub) erfolgt. Diese zusätzliche Ver-

schiebung wird dabei entweder durch ungerade Zeilenzahl oder durch einen Hilfshub am Ende der ersten Zeile des zweiten Zeilenzuges bewirkt.

Einen neuen Anstoß für die Beschäftigung mit diesen Fragen geben 1931 die Vorführungen von Sanabria (3), (9), (11) in Amerika, deren günstiger Eindruck in der Fachpresse (12) dem Umstand zugeschrieben wird, daß hier ein Zeilensprung angewendet wurde. In diese Zeit fällt auch die systematische Zusammenfassung von Baird (14). Der Amerikaner R. C. Ballard (16) bringt ein ausführliches System mit mechanischem Sender und Kathodenstrahlempfänger. Er benutzt den von Ardenne veröffentlichten Gedanken, daß die Zeilenfrequenz kein ganzzahliges Vielfaches der Bildwechselfrequenz ist. Schröter (18) beurteilt um diese Zeit die Aussichten des Zeilensprungverfahrens ungünstig wegen der störenden Auszackung bewegter senkrechter Kanten und wegen des Zeilenflimmerns. Trotzdem wird das Verfahren zunächst in den Laboratorien immer weiter durchentwickelt. Dabei werden eine Reihe von technischen Sonderaufgaben gelöst, die gerade durch den Zeilensprung bedingt sind. Die Schwierigkeiten bei der Abtastung von Filmen (24), (32), (34), der Uebergang von einem Zeilenzug auf den nächsten, die Vermeidung von paarigen Zeilen, die Gleichartigkeit der beiden Zeilenzüge in bezug auf Helligkeit, Inhalt, Form und Lage, die Verkettung von Zeilenfrequenz und Zeilenzugfrequenz und ihre Ableitung von einer Taktgeberfrequenz, die Form, Erzeugung und Trennung der Synchronisierimpulse — die eingehende Behandlung all dieser Fragen ermöglicht es, daß nach einer versuchsweisen Sendung im Jahre 1934 mit 405-zeiligen Bildern in England eine Reihe deutscher Firmen (27) auf der Funkausstellung 1935 Bilder nach diesem Verfahren zeigte. Die im Sommer 1936 auf der Großen Deutschen Funkausstellung (33) ausgeführten Uebertragungen mit 375 Zeilen stellen eine Zwischenstufe für die im Jahre 1937 festgelegte Fernsehsendernorm (36) mit 441 Zeilen dar.

Systematische Darstellung der verschiedenen Zeilensprungverfahren.

Zweifacher Zeilensprung.

Eine zusammenfassende Darstellung des zweifachen Zeilensprunges, darunter auch der heutigen Sendernorm, ist Ende 1936 von Urtel (35) gegeben worden. Diese Darstellung beschränkt sich auf Verfahren, bei denen die örtliche Verschiebung, die die Versetzung der Zeilenzüge gegeneinander bewirkt, gleichzeitig mit dem Uebergang von einem Zeilenzug auf den nächsten erfolgt. Darüber hinausgehend sind jedoch eine große Anzahl von Verfahren möglich, bei denen die örtliche Verschiebung zu einem anderen Zeitpunkt erfolgt als der Zeilenzugwechsel. Da diese Verfahren zusammenfassend bisher nicht beschrieben worden sind, ihre Kenntnis aber bei der Besprechung des mehrfachen

Zeilensprunges wichtig ist, wird an dieser Stelle näher darauf eingegangen.

Zwei Verfahren dieser Gruppe sind in Abb. 1 gezeigt, die zwei aufeinanderfolgende Zeilenzüge von je 6 Zeilen nebeneinander wiedergibt. Der Uebergang von einem Zeilenzug zum nächsten findet an den Stellen a und b statt. Die Verschiebung der örtlichen Lage des Rasters erfolgt dagegen an den

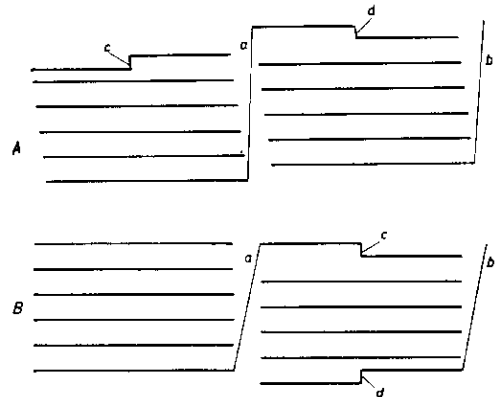


Abb. 1: Zeilensprung mit sprunghafter Fortschaltung in Bildrichtung.

Stellen c und d, d. h. z. B. während der ersten oder letzten Zeile eines Zeilenzuges. Je nachdem ob der Lagenwechsel in jedem Zeilenzug an der gleichen Stelle stattfindet (Abb. 1A) oder bereits in ein und demselben Zeilenzug wieder rückgängig gemacht wird (Abb. 1B), kann man wieder zwei Hauptfälle unterscheiden. Es wird dabei meistens zweckmäßig sein, den Lagenwechsel innerhalb der ersten oder letzten Zeile eines Zeilenzuges und nicht mitten im Bild durchzuführen, um die Rasterfläche selbst nicht zu stören. Eine Störung wird überhaupt nicht eintreten, wenn diejenigen Zeilen, innerhalb deren der Lagenwechsel erfolgt, bei der Wiedergabe unterdrückt werden. Beide Arten der Rasterung lassen sich z. B. mit denjenigen mechanischen und auch elektrischen Geräten durchführen, bei denen eine zusätzliche Bewegungskomponente (Hilfshub) benutzt wird. Der Vorteil des Verfahrens ist, daß eine genaue zeitliche Uebereinstimmung zwischen den Zeilenzugwechseln a, b und den Lagenwechseln c, d nicht eingehalten zu werden braucht.

Die in Abb. 1 dargestellten Verfahren setzen eine sprunghafte Fortschaltung der Zeilen voraus, die bei mechanischen (umlaufenden) Zerlegern in der Regel vorhanden ist, bei Kathodenstrahlgeräten jedoch nur bei Anwendung von Kippschwingungen mit treppenförmigem Kurvenverlauf. Arbeitet man nach Abb. 2 mit stetigem Vorschub in Bildrichtung, so läßt sich die örtliche Verschiebung außer durch zusätzliche Ablenkung (Abb. 2A) auch durch verschiedene Zeilenlänge erreichen. Dies ist für den Fall, daß beide Verschiebungen innerhalb eines Zeilenzuges liegen, in Abb. 2B angedeutet. Ein Verfahren dieser Art wurde von Barthélémy (40) vorgeschlagen und erprobt. Sämtliche Verfahren dieser Gruppe haben den Vorteil, daß es möglich

ist, die Verhältnisse beim Uebergang von einem Zeilenzug zum nächsten völlig gleichartig zu gestalten und diesen Vorgang bei durch die Zahl der Zeilenzüge teilbarer Zeilenzahl als rein periodischen

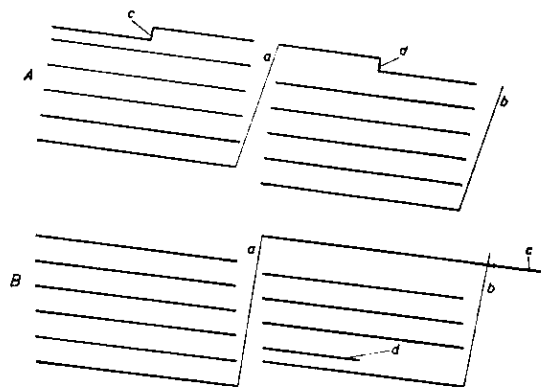


Abb. 2: Zeilensprung mit stetigem Vorschub in Bildrichtung.

Vorgang vor sich gehen zu lassen. Außerdem ist es nicht notwendig, auf eine genaue zeitliche Uebereinstimmung des Lagenwechsels auf Send- und Empfangsseite zu achten, da von Fehlern, die hieraus entstehen, nur eine vernachlässigbar kleine Randpartie der Bildfläche betroffen wird.

Einen Sonderfall dieser Verfahren bildet das Zusammentreffen der örtlichen Verschiebung mit einem Zeilenwechsel. Diesen in Abb. 3 gezeigten Fall kann man beispielsweise nach einem von Hudec (5) (6) angegebenen Verfahren mit treppenförmigem Spannungsanstieg durch Veränderung der Höhe der Treppenstufe zwischen der ersten und zweiten Zeile jedes Zeilenzuges ausführen. Hudec schlägt vor, die Fortschaltung der Zeilen durch sprunghafte Spannungsänderungen am Ende jeder Zeile, z. B. durch stoßweise Aufladung eines Kondensators hervorzurufen. Die erste Aufladung wird

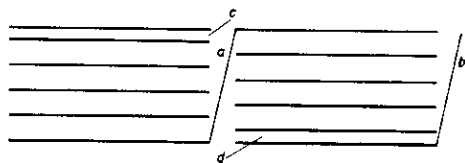


Abb. 3: Rasterverschiebung am Ende der ersten bzw. vorletzten Zeile.

abwechselnd bei jedem Zeilenzug verschieden groß gemacht, so daß die zweite Zeile jedes Zeilenzuges abwechselnd eine verschiedene Lage einnimmt. Das Verfahren hat den grundsätzlichen Nachteil, daß sich Fehler bei der sprunghaften Aufladung über die ganze Bildfläche hin addieren.

Bei sämtlichen bisher beschriebenen Verfahren lassen sich weitere Varianten bilden, wenn man die örtliche Verschiebung nicht sprunghaft, sondern allmählich, z. B. während der Dauer einer oder mehrerer Zeilen ausführt. In Abb. 4 ist ein solches Verfahren in Anlehnung an eine von M. Geiger (35)

vorgeschlagene Darstellungsweise wiedergegeben. Bei stetigem Vorschub in Bildrichtung (senkrechte Komponente) schließen zeitlich aufeinanderfolgende Zeilen sich zu einer zusammenhängenden Linie zusammen. Beim ruckweisen Vorschub in Bildrichtung ergeben sich Zeilenlagen nach Abb. 4B, bei denen die einzelnen Zeilen durch waagerechte Linienstücke angedeutet sind.

Ein Vergleich der bisher beschriebenen Verfahren zeigt, daß die Verfahren nach Abb. 1 und 2 durchlaufende Zeilen und gleich hohe Rückläufe

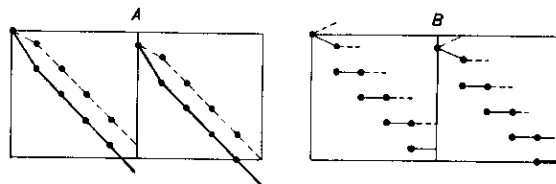


Abb. 4: Zeilensprung mit Rasterverschiebung während der ersten Zeile.

haben, aber keinen gleichen Spannungsanschlag. Dieser läßt sich nach Abb. 2A erzielen, wenn die Rückverschiebung c in die letzte Zeile des zweiten Zeilenzuges verlegt wird. Dieselben Bedingungen erfüllt das Verfahren nach Abb. 3.

Zu der Arbeit von Urteil ist ferner zu bemerken, daß beim Uebergang zu Verfahren mit sprunghaftem Vorschub in Bildrichtung die diskutierten Eigenschaften nicht die gleichen bleiben, wie dies in einem Beispiel in Abb. 5 gezeigt ist. Diese Abbildung läßt erkennen, daß die Höhe des Bildrücklaufs zwar bei stetigem Vorschub (Abb. 5A) in beiden

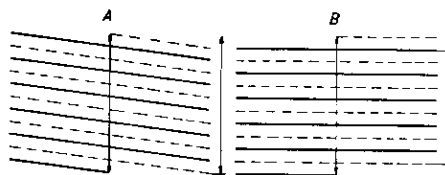


Abb. 5: Verschiedene Höhe des Bildrücklaufs bei stetigem und sprunghaftem Vorschub in Bildrichtung.

Zeilenzügen gleich ist, bei sprunghaftem Vorschub (Abb. 5B) jedoch bei sonst gleicher Zeilenzahl verschiedene Länge aufweist. Dies hat seinen Grund darin, daß der letzte sprunghafte Vorschub in Bildrichtung entgegengesetzt verläuft wie der ebenfalls sprunghaft verlaufende Rücklauf, so daß der zweite Rücklauf um einen doppelten Zeilenabstand kleiner ist als der erste Rücklauf. Dieser Unterschied wird immer dann eintreten, wenn der eine der beiden Rückläufe nicht am Ende der Zeile, sondern in der Mitte der Zeile stattfindet, während der andere Rücklauf am Ende der Zeile liegt.

Mehrfacher Zeilensprung.

Beim Uebergang auf den Zeilensprung höherer Ordnung, zunächst auf den dreifachen Zeilensprung ist eine weitere charakteristische Eigenschaft zu beachten; es muß nämlich festgestellt werden, ob

es sich um einen aufsteigenden oder absteigenden Zeilensprung handelt (Abb. 6). Bei Anwendung des dreifachen Zeilensprunges muß daher, um Unschärfen im Bild zu vermeiden, auf Sende- und Empfangsseite die gleiche Form des Zeilensprunges, also entweder ein aufsteigender oder ein absteigender Zeilensprung benutzt werden.

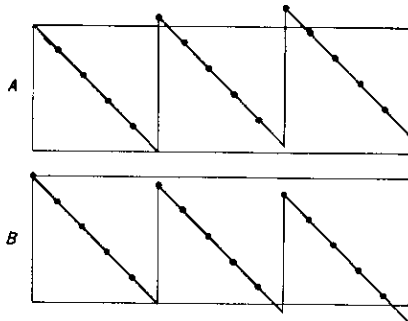


Abb. 6: Aufsteigender und absteigender dreifacher Zeilensprung.

Von größerem Interesse als der dreifache Zeilensprung erscheint jedoch der vierfache Sprung, weil hier eine Reihe von neuen Merkmalen besonders deutlich in Erscheinung tritt und weil auch hierin die sinngemäße Fortentwicklung des heute benutzten Verfahrens zu erblicken ist. In Abb. 7A und B sind die beiden Hauptgruppen, die entsprechend dem zweifachen Zeilensprung nach Abb. 1 und Abb. 5 entwickelt sind, dargestellt. Bei Abb. 7A findet die örtliche Verschiebung während der ersten Zeile jedes Zeilenzuges statt, während nach Abb. 7B die örtliche Verschiebung mit dem Zeilenzugwechsel zusammenfällt. Der vierfache Zeilensprung gibt nun die Möglichkeit, diese beiden Verfahren zu kombinieren, z. B. derart, wie dies Abb. 8 zeigt, wo der erste und dritte Zeilenzugwechsel nach Art der Fig. 7B und der zweite und vierte Zeilenzugwechsel nach Art der Fig. 7A vor sich geht.

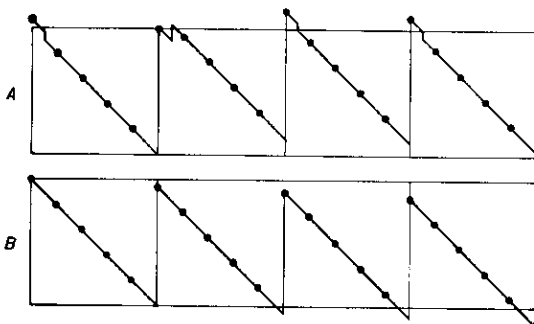


Abb. 7: Vierfacher Zeilensprung.

Die wichtigste Form des vierfachen Zeilensprunges bildet jedoch dasjenige Verfahren, bei dem der normale zweifache Zeilensprung mit einem Hilfshub nach je zwei Zeilenzügen kombiniert ist und die Zeilen die halbe Breite der normalen Zeilen haben. Es wird also beispielsweise das erste Bild

in $\frac{1}{50}$ Sekunde, und zwar in zwei Zeilenzügen von je $220\frac{1}{2}$ Zeilen und $\frac{1}{50}$ Sekunde Dauer abgetastet. Die Abtastung des zweiten Bildes erfolgt nach Verschiebung des Gesamtrasters um eine Zeilenbreite, so daß die Zeilen des zweiten Bildes in der Mitte zwischen den Zeilen des ersten Bildes liegen. Das zweite Bild wird dabei ebenfalls mit zwei Zeilenzügen zu je $220\frac{1}{2}$ Zeilen übertragen. Ein solches Verfahren stellt in Wirklichkeit einen vierfachen Zeilensprung dar, bei dem die Gesamtzeilenzahl 882 Zeilen beträgt und bei dem $12\frac{1}{2}$ Bilder pro Sekunde mit je 4 Zeilenzügen übertragen werden. Hat der Bildpunkt längs der Zeile eine Ausdehnung, die einer Auflösung von 441 Zeilen entspricht, so benötigt eine derartige Uebertragung genau dasselbe Frequenzband, wie eine Sendung mit zweifachem Zeilensprung und 441 Zeilen, gibt aber in senkrechter Richtung (quer zur Zeile) eine doppelt so große Auflösung. Da die Bildfläche fünfzigmal pro Sekunde von dem aufzuzeichnenden Strahl der ganzen Höhe nach überstrichen wird, tritt kein Bildflimmern auf. Ob das Sprungzeilenflimmern und die Auszackung bewegter Kanten stört, läßt sich erst durch praktische Versuche feststellen.

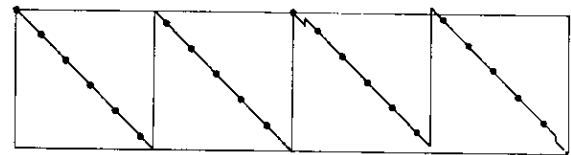


Abb. 8: Kombiniertes vierfaches Zeilensprung.

Die zusätzliche Verschiebung jedes zweiten Bildes bedingt auf der Sendeseite eine Verkleinerung der Abtastblendenöffnung in der Richtung senkrecht zur Zeile. Da aber die Lichtfrage heute nicht mehr ausschlaggebend ist, kann diese Verkleinerung der Abtastblendenöffnung gegebenenfalls in Kauf genommen werden. Auf der Empfangsseite kann die zusätzliche Verschiebung bewirkt werden, ohne daß besondere Impulse hierfür übertragen zu werden brauchen, da der Zeitpunkt der zusätzlichen Verschiebung nicht genau mit dem Zeilenzugwechsel übereinzustimmen braucht. Die Uebertragung eines zusätzlichen Impulses nach Ablauf von je zwei Zeilenzügen würde außerdem keine Schwierigkeiten bereiten. Eine derartige Ausführung des vierfachen Zeilensprunges ist deswegen besonders interessant, weil neben einfachen Empfängern mit zweifachem Zeilensprung ohne weiteres für die Großbildprojektion hochwertige Empfänger mit der erhöhten Rasterfeinheit vom selben Sender aus betrieben werden können (20). Stellen mit Großbildempfang können eine derartige Sendung mit voller Auflösung, d. h. unter Wiedergabe von 882 Zeilen empfangen, während die Mehrzahl der Heimempfänger dieselbe Sendung mit nur zweifachem Zeilensprung empfängt, wobei die ersten beiden Zeilenzüge und der dritte und vierte Zeilenzug auf dem Empfänger zur Deckung gebracht werden, obwohl sich dem Bildinhalt nach diese beiden Zeilenzüge voneinander

geringfügig unterscheiden. Unter Beachtung der weiter unten angegebenen, für diesen Fall wichtigen Regeln läßt sich jedoch auch dieser Fehler auf ein Mindestmaß bringen.

Bei einer derartigen Uebertragung muß auf folgende Eigenschaften des vierfachen Zeilensprunges geachtet werden. Es gibt sechs verschiedene Reihenfolgen für den Beginn der Zeilenzüge beim vierfachen Zeilensprung (Abb. 9). In dieser Abbildung sind die Zeilen durch waagerechte Striche angedeutet und von oben nach unten entsprechend ihrer

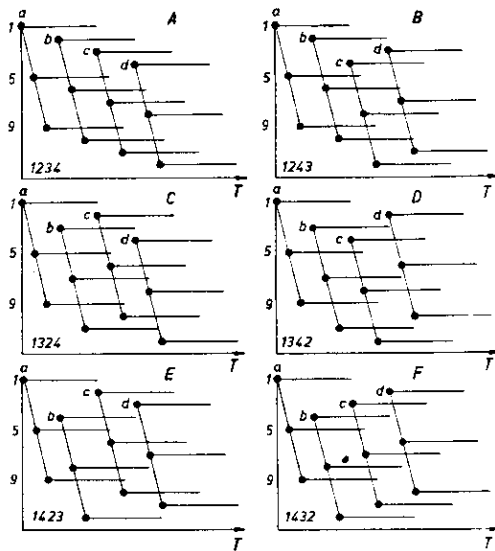


Abb 9: 6 verschiedene Reihenfolgen des vierfachen Zeilensprunges.

örtlichen Lage durchnumeriert. Die Zeilen jedes Zeilenzuges sind durch eine gestrichelte Linie miteinander verbunden und mit den Buchstaben a, b, c und d bezeichnet. Es ergibt sich, daß der Zeilenzug b entweder mit der Zeile 2, mit Zeile 3 oder mit Zeile 4 beginnen kann, und daß im ganzen sechs verschiedene Reihenfolgen für die ersten Zeilen der Zeilenzüge möglich sind, die im folgenden als die 6 verschiedenen „Ordnungszahlen“ des vierfachen Zeilensprunges bezeichnet werden. Die Reihenfolge der Ziffern gibt die Reihenfolge an, in der die ersten Zeilen 1—4 der Zeilenzüge a—d durchlaufen werden. Bei jedem Raster ist die dazugehörige Ordnungszahl angegeben. Von den 6 Typen der Abb. 9A—9F beansprucht besonderes Interesse der stetig fortschreitende Zeilensprung 9A (er entspricht dem Verfahren der Abb. 7) und der einfache verschränkte Zeilensprung 9C. Es zeigt sich, daß bei Sendungen, wie sie oben als Weiterbildung der heutigen Sendenorm erwähnt wurden und die sowohl mit zweifachem als auch mit vierfachem Zeilensprung empfangen werden sollen, das Verfahren nach Abb. 9C und 9E den Vorteil hat, daß beim Empfang als Zweifach - Zeilensprung diejenigen Zeilen miteinander zur Deckung kommen, die einander unmittelbar benachbarte Bildinhalte aufweisen, während bei allen anderen Verfahren Zeilen

zur Deckung kommen würden, deren Bildinhalte um mindestens einen Zeilenabstand voneinander getrennt sind. Die Verfahren nach Abb. 9C und E werden daher beim Empfang als Zweifach - Zeilensprung-Bilder die geringsten Unschärfen ergeben.

Für jedes dieser 6 Verfahren lassen sich wieder die oben angegebenen Betrachtungen durchführen. Es lassen sich die Fälle mit $4n$, $4n + 1$, $4n + 2$ und $4n + 3$ Zeilen pro Bild unterscheiden, wobei wiederum das Verfahren mit $4n + 2$ Zeilen (Abb. 8) eine gewisse Sonderstellung einnimmt.

Zeilensprung und Farbwechsel.

Farbensprung bei glatter Abtastung.

Bei der Untersuchung über die Verhältnisse bei der Uebertragung farbiger Bilder werden im folgenden stets Uebertragungen von drei Farbkomponenten der Betrachtung zugrunde gelegt; außerdem werden nur Einkanalübertragungen behandelt, bei denen ein zeitlicher Wechsel der Farbe, d. h. ein Farbsprung stattfindet. Besteht beispielsweise bei glatter Abtastung ein Bild aus einem Zeilenzug von n Zeilen (Abb. 10), so kann bei Voraussetzung einer praktisch trägheitsfreien Farbsteuerung die Häufigkeit der Farbwechsel von der Bildwechselzahl aufwärts bis zur Zeilenwechselzahl und darüber hinaus bis zur Bildpunktzahl gesteigert werden. Dabei tritt

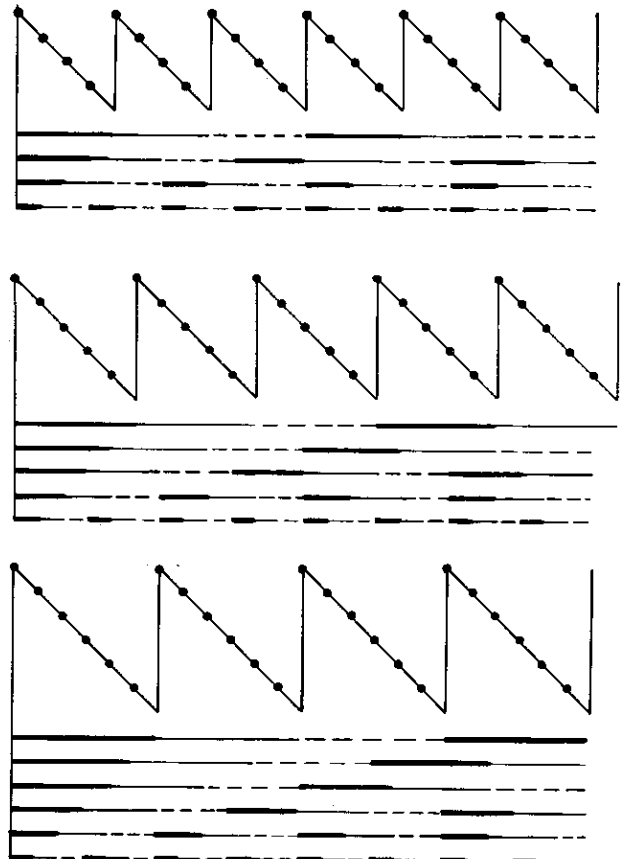


Abb. 10: Farbsprung bei glatter Abtastung für n , $n + 1$ und $n + 2$ Zeilen.

die Farbverschmelzung schon bei ziemlich niedrigen Frequenzen ein, es sind jedoch eine Reihe anderer Gründe vorhanden, die es ratsam erscheinen lassen, für die Farbwechsel ganz bestimmte von den übrigen Merkmalen der Rasterung abhängige Werte zu wählen.

Als Beispiel sind in Abb. 10 drei Bildreihen mit 4, 5 und 6 Zeilen pro Bild gezeichnet. Die Farbwechsel verschiedener Häufigkeit sind als waagerechte Linien darunter aufgetragen, wobei die Farbe 1 durch einen starken Strich, die Farbe 2 durch einen dünnen Strich und die Farbe 3 gestrichelt angedeutet ist. Eine für alle Zeilen gleichmäßige Farbmischung ergibt z. B. der triviale Fall, daß bei jedem Bildwechsel auch ein Farbensprung stattfindet. Dieses von der Zeilenzahl unabhängige Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß die Farbwechsel zu langsam erfolgen. Bei schnell bewegten Objekten ergeben sich farbige Ränder, und es ist zu erwarten, daß ein ziemlich starkes Farbenflimmern auftritt, da die einzelnen Farbkomponentenbilder in der Helligkeit meist stark voneinander abweichen werden. Es erscheint daher zweckmäßig, den Farbwechsel mit größerer Häufigkeit durchzuführen. Abb. 10 läßt erkennen, daß nicht alle nach einer beliebigen Anzahl Zeilen einsetzenden Farbwechsel eine gleichmäßige Ueberdeckung des Bildes ergeben. Ob dies der Fall ist, hängt davon ab, in welchem Verhältnis die Zahl der gleichfarbig übertragenen Zeilen zur Gesamtzahl der Zeilen pro Bild steht. Ist die Zeilenzahl pro Bild durch die Zahl der ohne Unterbrechung gleichfarbig übertragenen Zeilen ohne Rest teilbar, so ergibt sich eine regelmäßige Ueberdeckung des ganzen Bildes mit Ausnahme des Falles, daß die sich ergebende Zahl durch 3 teilbar ist. Eine vollständige Uebertragung der Bildfläche mit allen Farben ist dabei immer erst nach drei Bildwechseln beendet.

Will man die Zeit zur Wiedergabe oder Zerlegung eines ganzen mehrfarbigen Bildes verkürzen, so kann man durch Vergrößerung der Zeilenbreite und Ueberlappung der Zeilen außer der zeitlichen Mischung der Farben eine örtliche Mischung vornehmen. Ein anderer Weg besteht darin, daß man die Frequenz der Farbwechsel soweit erhöht, daß die nebeneinander liegenden verschiedenfarbigen Punkte des Bildes für das Auge verschmelzen, daß also die Farbwechselfrequenz in der Größenordnung der Bildpunktfrequenz liegt. Dieser Weg stellt aber an die Trägheitsfreiheit und Präzision der Farbsteuerung heute nicht erfüllbare Anforderungen. Die erste Möglichkeit ist in Abb. 11 schematisch dargestellt. In dieser Abbildung ist jede Zeile durch einen schräg von links oben nach rechts unten verlaufenden Strich gekennzeichnet, der gleichzeitig die Farbe der Zeile angibt.

Die Breite der Zeilen ist für eine der Farben, und zwar die Farbe 1' durch die Höhe der schraffierten Flächen angedeutet. Abb. 11A unterscheidet sich von Abb. 11B nur dadurch, daß die Breite der Zeilen im Falle der Abb. 11A gleich dem Zeilenab-

stand a ist, während sie in Abb. 11B den dreifachen Zeilenabstand beträgt. Der Abb. 11A läßt sich entnehmen, daß eine vollständige Ueberstreichung der

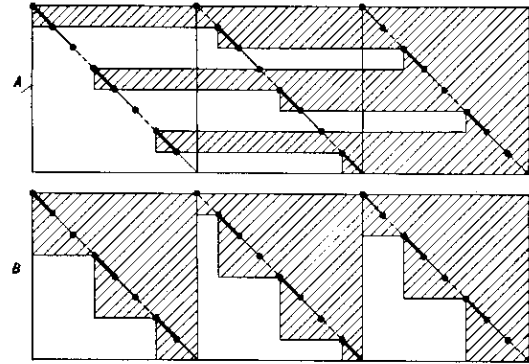


Abb. 11: Farbsprungübertragungen mit einfacher und dreifacher Zeilenbreite.

gesamten Bildfläche mit der Farbe 1' erst nach drei Bildwechseln eintritt, während bei dem Verfahren der Abb. 11B die gesamte Bildfläche bereits während eines Bildwechsels von einer Farbe vollständig überstrichen ist.

Verfahren, bei denen ein Farbenwechsel innerhalb jeder Zeile oder auch nach einer Anzahl ganzer Zeilen plus einem Zeilenbruchstück stattfindet, erscheinen ungünstig, weil eine übergangslose Umschaltung der Farbe schwierig ist und daher ein Farbwechsel innerhalb der Zeilen immer von Störungen begleitet sein wird. Es bleibt daher als günstigster Fall der übrig, bei dem der Farbenwechsel mit dem Zeilenwechsel nach jeder oder einer geringen Anzahl von Zeilen stattfindet, wobei Zeilenzahlen des Gesamtbildes, die ein Vielfaches von 3 sind, ausgeschlossen sind.

Farbsprung und Zweifach-Zeilensprung.

Geht man zum Zeilensprung über, so treten eine Reihe weiterer einschränkender Bedingungen hinzu, es ergeben sich aber auch bei Beschränkung auf den Fall, daß die Farbenwechsel mit den Zeilenwechseln übereinstimmen, eine große Zahl von Möglichkeiten. Der Zeilensprung kann so ausgeführt werden, daß jede Zeile für sich in allen drei Farben geschrieben wird, bevor die nächste Zeile daran-

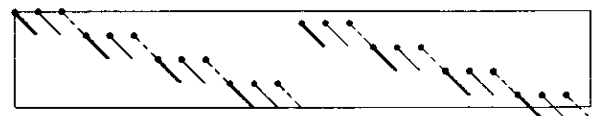


Abb. 12: Farbsprung mit Zeilenwiederholung.

kommt (Abb. 12). Dies Verfahren erfordert eine zusätzliche Steuerung, da eine Fortschaltung der Zeilen nur nach jeder dritten Zeile vorgenommen werden darf. Die dieses Schema ergebende Bewegung kann auch nach einem Vorschlag von M. v. Ardenne durch eine regelmäßige die Vorschubbe-

wegung in Bildrichtung für die Dauer von drei Zeilen kompensierende Bewegung erzielt werden. Für diese Art der Farbenübertragung eignen sich sämtliche der oben angegebenen Zeilensprungverfahren, sofern sie eine durchlaufende Zeilenphase haben. Diese Bedingung wird gestellt, um für die Farbsteuerung einen rein periodischen Vorgang zu erhalten, und soll auch bei den nun folgenden Verfahren eingehalten werden, die mit stetig weiterlaufenden Zeilen arbeiten.

Ordnet man bei einem der Verfahren nach Abb. 4 oder der von Urteil (35) beschriebenen Verfahren jeder Zeile nacheinander einen Farbwert 1', 2' und 3' zu, und gibt man dabei den Zeilen ihre normale Breite (Zeilenbreite b – Zeilenabstand a), so erhält man beispielsweise nach Abb. 13 eine vollständige Ueberstreichung der Bildfläche mit jeder Farbe nach Ablauf von drei Bildern. Die Zeilenzahl z kann dabei gerade (Abb. 13A) oder ungerade (Abb. 13B) sein, sie darf aber kein Vielfaches von 3 sein.

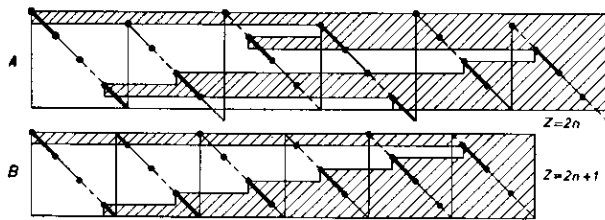


Abb. 13: Farbsprung und zweifacher Zeilensprung.

Eine schnellere Uebertragung der ganzen Bildfläche in allen Farben läßt sich auch hier wie in Abb. 11B erreichen, wenn man die Zeilenbreite entsprechend vergrößert (Abb. 14). Bei einer Verdreifachung auf den Wert $b = 3a$ läßt sich eine vollständige Abtastung der Bildfläche schon nach 2 Zeilenzügen durchführen. Bedingung ist dabei, daß jede Farbe für sich betrachtet einen einwandfreien Zeilensprung ausführt. Dies wird sowohl bei gerader als auch bei ungerader Zeilenzahl des Gesamtbildes dann erreicht, wenn diejenige Zeile des zweiten Zeilenzuges, die um einen Zeilenabstand a unterhalb der ersten Zeile des ersten Zeilenzuges ein-

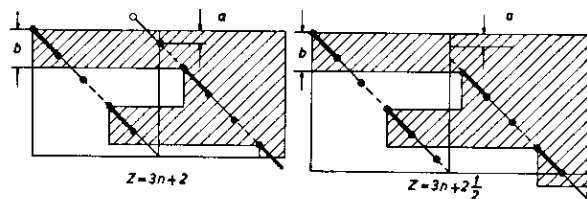


Abb. 14: Farbsprung und zweifacher Zeilensprung mit vergrößerter Zeilenbreite.

setzt, d. h. die Lage der Zeile 2 einnimmt, die Farbe 3' aufweist. Hierdurch ergibt sich zwangsläufig die Höhe des Bildrücklaufs für jede Zeilenzahl. Vergleicht man die Verhältnisse, die bei $3n + 1$, $3n + 1\frac{1}{2}$, $3n + 2$ und $3n + 2\frac{1}{2}$ Zeilen pro Zeilenzug auftreten, so ergibt sich, daß nur für die Zeilenzahl

$3n + 1\frac{1}{2}$ pro Zeilenzug die Sprunghöhe für beide Zeilenzüge gleich ist und auch ein Spannungsanschlag in beiden Zeilenzügen vorhanden ist. Man wird daher die Gesamtzeilenzahl beim Farbenfernsehen mit zweifachem Zeilensprung so wählen, daß sie der Formel $3n + 1\frac{1}{2}$ entspricht. Die heute genormte Zeilenzahl von 441 erfüllt diese Bedingung.

Farbsprung und Dreifach-Zeilensprung.

Beim dreifachen Zeilensprung ist bei ganzzahliger gleicher Zeilenzahl in jedem Zeilenzug ein Farbsprung nicht durchführbar, weil nach jedem dritten Zeilenzug eine Wiederholung eintritt, ohne daß die ganze Bildfläche von jeder Farbe vollständig überstrichen worden ist. Verbreitert man die Zeilen entsprechend Abb. 14 auf $b = 3a$, so erhält man ebenfalls kein brauchbares Verfahren, weil die Zeilen nicht aneinanderschließen.

Geht man zu Verfahren über, bei denen die Zeilenzahl nicht durch drei teilbar ist, so läßt sich ein Farbsprung durchführen, und zwar derart, daß nach 9 Zeilenzügen die Bildfläche einmal vollständig abgetastet ist. Die Zeilenbreite ist dabei $b = a$, und es ergibt sich z. B. bei absteigendem Zeilensprung das Schema der Abb. 15.

Man kann prinzipiell die Zeilen bei einem derartigen Verfahren auch breiter machen; macht man sie beispielsweise doppelt so breit wie in Abb. 15, so wird in den 9 Zeilenzügen die Bildfläche zweimal abgetastet. Die Wiederholung jeder Farbe ist jedoch für jede Zeile zeitlich verschieden, so daß hierdurch u. U. Ungleichmäßigkeiten in der Farbwiedergabe

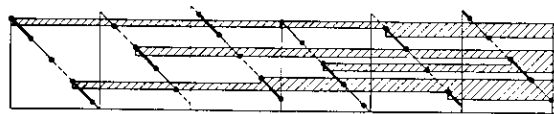


Abb. 15: Farbsprung und dreifacher Zeilensprung.

eintreten. Bei genügend hoher Bild- und Zeilenzahl wirken diese Fehler jedoch voraussichtlich nicht störend.

Farbsprung und Vierfach-Zeilensprung.

Beim vierfachen Zeilensprung ergeben sich in Kombination mit dem Farbwechsel einige besonders interessante Verfahren. Auch hier hat man die Wahl zwischen einer vollständigen Uebertragung der Bildfläche mit schmalen Zeilen in 12 Zeilenzügen, oder mit breiten Zeilen in 4 Zeilenzügen. Im zweiten Fall macht man die Zeilenbreite $b = 3a$, und es muß wie beim zweifachen Zeilensprung auf einen geordneten Zeilensprung der einzelnen Farbkomponenten geachtet werden. Da die Zeile, die als zweite geschrieben wird, in der örtlichen Lage die vierte Zeile ist, verbleibt zwischen der ersten Zeile mit der Farbe 1' und der unmittelbar danach geschriebenen Zeile mit der Farbe 2' ein Zwischenraum von der Größe a , so daß $b = \frac{3}{4}$ des Abstandes

d ist. Da ein vierfacher Zeilensprung nach Abb. 9 sechs verschiedene Ordnungen aufweist, sind auch die für den zweifachen Sprung abgeleiteten Regeln hier entsprechend zu ergänzen. Je nach der Lage der ersten Zeilen in jedem Zeilenzug ist die Farbe dieser ersten Zeile und die Zahl der Zeilen im Zug zu wählen. Bei einem Zeilensprung mit der Ordnung 1 2 3 4 (Abb. 16) muß die Zeile 1 des ersten und die Zeile 4 des vierten Zeilenzuges die Farbe 1', die Zeile 2 des zweiten Zeilenzuges die Farbe 2' und

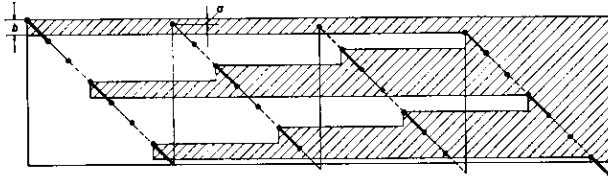


Abb. 16: Farbsprung und vierfacher Zeilensprung.

die Zeile 3 des dritten Zeilenzuges die Farbe 3' haben. Es müssen allgemein die Farbnummern der ersten Zeilen jedes Zeilenzuges gleich der Ordnungsnummer der benutzten Zeilenanordnung sein, d. h. der Zeilenzug, der mit Zeile 2 beginnt, muß auch mit Farbe 2' beginnen, der Zeilenzug mit Zeile 3 mit Farbe 3' und der Zeilenzug mit Zeile 4 wieder mit Farbe 1'. Setzt man, um praktisch brauchbare Verfahren zu erhalten, voraus, daß die Zeilenzahlen der einzelnen Züge sich um nicht mehr als eine Zeile voneinander unterscheiden sollen, so ergeben sich für jede der 6 verschiedenen Ordnungen des vierfachen Zeilensprungs ganz bestimmte Zeilenzahlen pro Bild. Enthält der erste Zeilenzug $3n$ Zeilen, so muß die Ordnung nach Abb. 9E und F benutzt werden. Enthält der erste Zeilenzug $3n + 1$ Zeile, so ist nur die Ordnung nach Fig. 9A und B brauchbar. Enthält schließlich der erste Zeilenzug $3n + 2$ Zeilen, so muß die Ordnung der Fig. 9C und D verwendet werden. Welche der beiden Ordnungen jeweils Anwendung findet, hängt davon ab, wieviel Zeilen im zweiten Zeilenzug vorhanden sind.

Ganz ähnliche Verhältnisse ergeben sich, wenn pro Zeilenzug nicht eine ganze Anzahl von Zeilen vorhanden ist, sondern wenn Bruchstücke von Zeilen am Ende des Zeilenzuges auftreten.

Zusammenfassung.

Nach einem kurzen Rückblick auf den Gang der Entwicklung werden zwei Hauptgruppen von Zeilensprungverfahren einander gegenübergestellt. Es sind dies

1. diejenigen Verfahren, bei denen die örtliche Verschiebung der Raster zu einem anderen Zeitpunkt stattfindet als der Zeilenzugwechsel und
2. diejenigen Verfahren, bei denen diese beiden Vorgänge zeitlich zusammenfallen.

Bei der Behandlung des vierfachen Zeilensprungs wird festgestellt, daß es spezielle Verfahren gibt, die wahlweise nebeneinander den Empfang als zweifachen oder vierfachen Zeilensprung gestatten.

Anschließend wird untersucht, welche Bedingungen einzuhalten sind, wenn außer dem Zeilensprung noch ein Farbsprung bei Uebertragung mehrfarbiger Bilder benutzt wird. Hier erscheint besonders ein Verfahren aussichtsreich, bei dem die Zeilenbreite gleich dem dreifachen Zeilenabstand ist und jede Farbkomponente für sich betrachtet einen ordnungsgemäßen Zeilensprung ausführt.

Schrifttum.

- (1) J. L. Baird, Brit. Pat. 321 389 (5. 6. 28).
- (2) V. Bush, U. S. Pat. 1 897 236 (6. 11. 28).
- (3) U. A. Sanabria, U. S. Pat. 1 805 848 (7. 6. 29).
- (4) Perchermeier, Fernsehen Bd. 1, 515 (15. 11. 30).
- (5) E. Hudec, DRP.-Anmeldung H 432.30 (11. 11. 30) und H 482.30 (6. 12. 30).
- (6) E. Hudec, Elektr. Nachr. Techn. (1931), 229 (8. 12. 30).
- (7) M. v. Ardenne, Brit. Pat. 387 087 (22. 12. 30).
- (8) M. v. Ardenne, Fernsehen (1931), 70 (15. 4. 31).
- (9) U. A. Sanabria, Television News (1931), 127 (15. 4. 31).
- (10) G. G. Reißaus, Fernsehen (1931), 187—89 (15. 7. 31).
- (11) U. A. Sanabria, Television News (Juli-Aug. 31), 168 u. 169.
- (12) A. Dinsdale, Fernsehen (1931), S. 268—274 (Okt. 31).
- (13) F. Kirschstein, Fernsehen (1932), 75—78 (April 32).
- (14) J. L. Baird, Brit. Pat. 381 898 (30. 5. 32).
- (15) J. L. Baird, Fernsehen (1932), 180 (Juli 32).
- (16) R. C. Ballard, Brit. Pat. 420 391 (19. 7. 32).
- (17) R. Thun, Fernsehen (1932), 247 (Okt. 32).
- (18) F. Schröter, Handbuch, 111, 145, 440 (1932).
- (19) J. L. Baird, Brit. Pat. 423 101 (21. 7. 33).
- (20) J. L. Baird, Brit. Pat. 434 527 (28. 11. 33).
- (21) J. L. Baird, Brit. Pat. 431 339 (3. 1. 34).
- (22) J. L. Baird, Brit. Pat. 431 458 (3. 1. 34).
- (23) Ph. T. Farnsworth, Franz. Pat. 797 332 (5. 11. 34).
- (24) R. Möller, Franz. Pat. 46 830 (Zusatz) (12. 12. 34).
- (25) M. v. Ardenne, Fernsehen (1935), 30 (Mai 35).
- (26) Marconi, Fernsehen (1935), 51 (Juli 35).
- (27) Funkausstellungsbericht Fernsehen (1935), 61—68 (Sept. 35).
- (28) Ph. T. Farnsworth, Television (1935), 528 (Sept. 35).
- (29) EIAR, Fernsehen (1935), 92 (Dez. 35).
- (30) Britische Norm, Fernsehen (1936), 21—23 (März 36).
- (31) R. D. Kell, A. V. Bedford, M. A. Trainer, Proc. J. R. E. Vol. 24, 559—576 (April 36).
- (32) K. Thöm, Franz. Pat. 825 554 (13. 8. 36).
- (33) Funkausstellungsbericht, Fernsehen (1936), 65—68 (Sept. 36).
- (34) W. Bünger, E. Kosche, Franz. Pat. 829 035 (12. 11. 36).
- (35) R. Urtel, Telefonzeitschrift Nr. 74, 36 (Nov. 36).
- (36) F. Banneitz, Fernsehen (1937), 53, 54 (Juli 37).
- (37) F. Raack, Fernsehen (1937), 75 (Sept. 37).
- (38) Allen Du Mont, Lab. Electronics, (März 1938), 33
- (39) R. Barthélémy, Television (1938), 395—96 (Juli 38).
- (40) F. Raack, Fernsehen (1939), April, 25 (April 39).

SUMMARY.

Multiple interlaced scanning.

Reference is made to the development of interlaced scanning in the years 1930 to 1937. In addition to the methodical treatment of certain groups of interlaced pat-

terns by Urteil a survey is given of those double interlaced patterns in which the change-over from one group of lines to the next one is not coincident with the fly-back of the frame scanning but takes place during the first or last lines of a frame.

Attention is then directed to a particular type of multiple interlaced transmission with an interlace ratio of 4 to 1 adapted to be received either with an interlace ratio of 4 to 1 or 2 to 1. This system may be briefly described as interlacing two consecutive complete images each of which consists of two interlaced groups of lines. It is suggested to combine the usual form of 2 to 1 interlace

having an odd number of lines per frame with an interlace produced by additionally shifting the whole group of lines.

The combination of interlaced scanning with single channel colour television transmission is discussed. Each form of interlace in combination with a periodic change of three colours requires a definite number of lines per frame in order to give correct repetition. For obtaining a higher rate of colour repetition resort may be made to overlapping of lines. The colour sequence of the first line of each frame of a 4 to 1 interlace should correspond to the location of these lines as defined by a characteristic number.

Über das Nachleuchten von Phosphoren und seine Bedeutung für den Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre.

Von Kurt Brückersteinkuhl.

Inhalt: Eine Reihe von Phosphoren wird hinsichtlich An- und Abklingen des Leuchtvorganges sowie hinsichtlich des Modulationsgrades untersucht. Es werden Meßverfahren zur Untersuchung von An- und Abklingvorgängen sowie des Modulationsgrades angegeben. Berechnung des Modulationsgrades aus den Bestimmungsgrößen des Nachleuchtvorganges. Die Ergebnisse von Messung und Rechnung werden auf den Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre, und zwar bei trägerfrequenter und niederfrequenter Abtastung angewendet.

1. Einleitung.

Die Kenntnis und Beherrschung der Leuchtvorgänge in Phosphoren ist sowohl für den Fernsehempfangs- wie für den Fernsehsendebetrieb mit Braunschen Röhren von erheblicher Bedeutung. In beiden Fällen verlangt man von der leuchtenden Schirmsubstanz, daß der Leuchtprozeß nach einer gewissen Zeit genügend abgeklungen ist. Während aber diese Abklingzeit beim Fernsehempfänger verhältnismäßig groß, etwa gleich der Bildwechselzeit und ein Nachleuchten innerhalb dieser Zeit durchaus erwünscht ist, ist für den Fernsehsender möglichst kurzes Nachleuchten erforderlich.

In der einfachsten Form wird eine Braunsche Röhre als Fernsehsender bekanntlich in folgender Weise betrieben: Man projiziert das auf den Leuchtschirm geschriebene Raster auf den abzubildenden Gegenstand (Diapositiv, Film, Person). Die Helligkeitswerte der einzelnen, nacheinander abgetasteten Bildelemente werden entweder in durchscheinendem oder zurückfallendem Lichte durch eine Photozelle registriert. Wenn die Nachleuchtzeit bei diesem Verfahren keine Rolle spielen soll, so

darf sie nicht größer sein als die Zeitdauer eines Bildpunktes, bei einem 441-Zeilen-Bild also nicht größer als $2,5 \cdot 10^{-7}$ sec. Die Herstellung von hellen Leuchtschirmen mit extrem kurzen Nachleuchtzeiten bereitet nun erhebliche Schwierigkeiten. Man wendet daher neuerdings Verfahren an, die den Einfluß des Nachleuchtens beseitigen sollen, so z. B. die Kathodenstrahlabtastung mit nachfolgender Kompensation des Nachleuchtens und die Kathodenstrahlabtastung mit Lichtmodulation. Bei dem ersten Verfahren — niederfrequente Abtastung — wird unmittelbar hinter der Photozelle eine Verstärkerstufe angeordnet. In der Verbindung von Kathode und Erde liegt ein Widerstands-Kapazitätsglied, das am Gitter eine der Nachleuchtspannung entgegenwirkende Kompensationsspannung erzeugt. Bei dem zweiten Verfahren — trägerfrequente Abtastung — wird zwischen Kathode und Wehneltzylinder der Braunschen Röhre eine trägerfrequente Hilfsspannung derart angelegt, daß die Erregung des Leuchtschirmes im Rhythmus der Trägerfrequenz gesteuert wird. An einem hinter der Photozelle angeordneten Filter wird die Trägerfrequenz mit den

beiden, dem Bildinhalt entsprechenden Seitenbändern abgenommen.

Im Zusammenhang mit diesen Problemen hat man sich daran gewöhnt, kurz von der Zeitkonstante des Nachleuchtens zu sprechen und meint damit jene Zeit, in der der Leuchtprozeß in irgendeiner Form auf den e-ten Teil abgeklungen ist. Es wird weiter unten gezeigt, daß die Kurvenform des Nachleuchtvorganges von entscheidender Bedeutung für die Betriebsgrößen ist.

2. Untersuchungen des An- und Abklingvorganges.

Ueber die Erscheinungen des langdauernden Nachleuchtens von Phosphoren, insbesondere bei Lichtanregung, existiert eine Fülle von Material (1). Dagegen ist das kurzdauernde Nachleuchten bisher

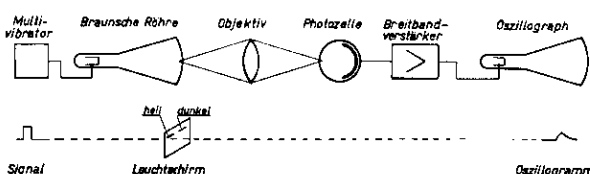


Abb. 1: Apparat zur Untersuchung von An- und Abklingvorgängen.

nur Gegenstand weniger Untersuchungen gewesen (2). Im folgenden wird über Untersuchungen des vollständigen Leuchtvorganges, also des An- und Abklingens, bei Kathodenstrahlanregung von Phosphoren berichtet^{*)}. Zur Untersuchung diente die in Abb. 1 dargestellte Apparatur^{**)}. Ein mittels eines Multivibrators erzeugtes rechteckiges Signal wird auf den Wehneltzylinder der Braunschen Röhre gegeben; die Vorspannung ist so eingestellt, daß die Röhre nur während der Zeit des positiven Signals hell gesteuert, im übrigen aber gesperrt wird. Da bei nicht bewegtem, konzentriertem Elektronenstrahl der Schirm zerstört würde, wird der Elektronenstrahl in Zeilenrichtung über die Schirmfläche bewegt. Nach Projektion des leuchtenden Zeilenstrichs auf eine Photozelle und Verstärkung der Photozellenspannung in einem Breitbandverstärker wird schließlich das Ozillogramm des Leuchtvorganges erhalten. Ozillograph, Braunsche Röhre und Multivibrator laufen synchron.

Unter den erhaltenen Ozillogrammen sind als Beispiele die handelsüblichen Phosphore Calciumwolframat und Zinksulfid ausgewählt und in den Abb. 2 und 3 wiedergegeben. Die in den beiden Abbildungen mit a—k bezeichneten Aufnahmen entsprechen einander und wurden unter folgenden Bedingungen erhalten:

Aufnahme a stellt das elektrische Signal dar, das zur Steuerung der Lichterregung benutzt wurde.

^{*)} Für die Herstellung der Spezialröhren mit den verschiedenen Phosphoren möchte ich auch an dieser Stelle Dr. Schwartz und Dr. Strübig danken.

^{**)} Vergl. (2).

Die Aufnahmen b—k sind Ozillogramme des Leuchtvorganges. Aufnahme e wurde bei nicht konzentriertem, Aufnahme b—d, f—k bei konzentriertem Elektronenstrahl erhalten. Die Anoden-

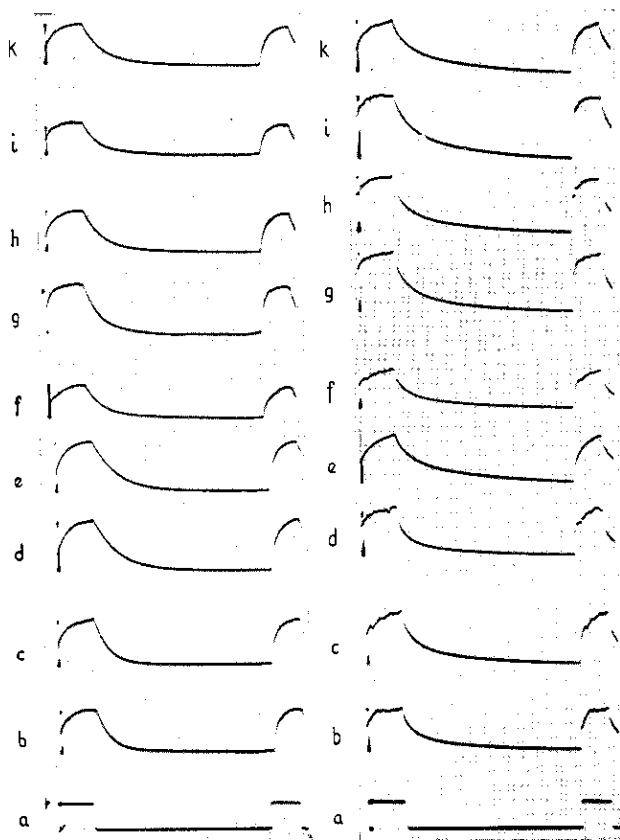


Abb. 2: CaWO₄.

Abb. 3: Zn S.

spannung der Braunschen Röhre betrug bei Aufnahme b—h 20 kV, bei Aufnahme i 30 kV und bei Aufnahme k 40 kV. Aufnahme f bzw. g entsprechen erniedrigter bzw. erhöhter Strahlstromstärke. Bis auf Aufnahme f und g wurde die Strahlstromstärke konstant gehalten. Alle Aufnahmen, die mit konzentriertem Elektronenstrahl erhalten wurden, weisen während des Anklingens eine mehr oder weniger ausgeprägte Welligkeit, entsprechend der Inhomogenität des Schirmmaterials, auf. Bei den Aufnahmen b, c, d liegt der leuchtende Zeilenstrich auf verschiedenen Stellen des Schirmes. Bei nicht konzentriertem Strahl (Aufnahme e) zeigt sich keine Welligkeit, da hier naturgemäß der Einfluß einzelner Inhomogenitäten verschwindet. Die Strecke zwischen den beiden auf dem Ozillogramm erscheinenden Signalen entspricht bei einer Zeilenfrequenz von 11025 Hz einer Zeit von 90,6 μ sec.

Bei der Auswertung von Abklingungskurven geht man meist so vor, daß man zunächst ein möglichst großes Stück des zeitlich letzten Kurvenabschnittes durch eine Exponentialkurve annähert. An der Stelle, an der die Exponentialkurve mit der Abklingungskurve nicht mehr übereinstimmt, fügt man eine zweite Exponentialkurve hinzu, und so

weiter (Abb. 4a). Diese Darstellung hat den Vorzug, daß sie eine physikalische Deutung zuläßt — jede Exponentialkurve soll nach Lenard der Abklingung einer bestimmten Zentrenart entsprechen —, sie hat dagegen den Nachteil, daß sie die Bestimmungsgrößen der Summenkurve nicht unmittelbar enthält. Wir beschränken uns im folgenden auf eine phänomenologische Betrachtungsweise und werten daher die erhaltenen Aufnahmen nach solchen Größen aus, die für die Berechnung des Modulationsgrades zweckmäßig sind und bei trägerfrequenter Abtastung betriebsmäßig interessieren. Dies sind die Zeitkonstanten derjenigen Exponentialkurven, die näherungsweise den Anfangs- und Endverlauf der Abklingkurve darstellen (Abb. 4b). Die zur Zeit $t = 0$ an die Abklingkurve mit der Anfangsamplitude H_a gelegte Tangente schneidet auf der Zeitachse ein Stück t_x ab, das gleich der Anfangszeitkonstante τ_a ist. Ähnlich wird die im letzten Drittel gültige Endzeitkonstante τ_b bestimmt. Bei Verlängerung der entsprechenden Exponentialkurve wird auf der H -Achse eine Anfangsamplitude H_b abgelesen.

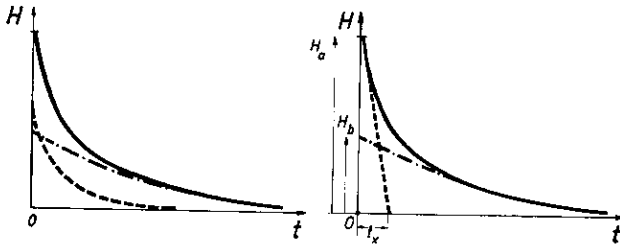


Abb. 4a: Zusammensetzung einer Abklingkurve aus mehreren Exponentialkurven.

Abb. 4b: Darstellung einer Abklingkurve durch zwei Exponentialkurven für Anfangs- und Endverlauf.

Die Ergebnisse (vergl. Abb. 2 u. 3) stellen eine Bestätigung der von Riehl (3) und Schleede (2) gefundenen Ergebnisse dar, und zwar für Vorgänge, die praktisch bereits nach 10^{-5} Sekunden Dauer abgeklungen sind, nämlich daß alle Abklingvorgänge kontinuierlichen Charakter haben; eine eigentliche Fluoreszenz wird nicht beobachtet. Ferner werden folgende Tatsachen bestätigt: An- und Abklingvorgang entsprechen einander. Die Nachleuchtdauer hängt von der Erregungsdichte ab; sie ist bei konzentriertem Elektronenstrahl kleiner als bei nicht konzentriertem, nimmt also mit wachsender Erregungsdichte ab.

Die Auswertung der Oszillogramme ergibt folgende Resultate (vergl. Abb. 2 und 3 sowie Tabelle I): Die Zeitkonstante τ_a ist meist kleiner als die zugehörige Zeitkonstante τ_b . Nach einem Vergleich von b, c, d ist die Schwankung der einzelnen Meßwerte, gemessen bei konzentriertem Elektronenstrahl für verschiedene Stellen des Schirmes, verhältnismäßig groß und beträgt 10—30%. Die Anfangszeitkonstante τ_a ist bei nicht konzentriertem Elektronenstrahl um das 1,5—3fache größer als

bei konzentriertem Elektronenstrahl; dagegen ist die Endzeitkonstante τ_b in beiden Fällen nicht wesentlich verschieden. Es scheint also, daß nur die Abklingzeit der Zentren mit kurzer Nachleuchtdauer durch die Erregungsdichte beeinflusst wird (4). Die Werte f, g (Änderung der Strahlstromstärke) unterscheiden sich nicht wesentlich von den Werten b, c, d , und zwar für beide Zeitkonstanten. Dies scheint erklärlich, da die Erregungsdichte bei Änderung der Strahlstromstärke höchstens um das 2—3fache geändert wird. Konzentration und Nicht-Konzentration bedeuten demgegenüber Unterschiede in der Erregungsdichte von 1000—10000. Erhöhung der Anodenspannung (g, h, i) bewirkt keine wesentliche Änderung der Zeitkonstanten.

Verschiedene Materialien unterscheiden sich voneinander außerdem noch in verschiedenen Punkten. Z. B. läßt sich aus Tabelle I folgendes entnehmen: Die Anfangszeitkonstante τ_a von Sulfiden ist im allgemeinen kleiner und die Endzeitkonstante τ_b größer als die von Wolframaten. Das Zeitkonstantenverhältnis $\frac{\tau_b}{\tau_a}$ beträgt bei Sulfiden 3—8 und bei Wolframaten 0,6—3 (ohne Berücksichtigung von Aufnahme e). Der Nachleuchtvorgang von Sulfiden verläuft also zunächst steiler und später weniger steil als der von Wolframaten.

3. Messung des Modulationsgrades.

Bei trägerfrequenter Abtastung wird die Erregung des Leuchtschirms durch eine trägerfrequente Hilfsspannung periodisch unterbrochen. Wenn nun die Periodendauer der Trägerfrequenz groß und die Nachleuchtdauer klein ist, so wird auch der Licht-

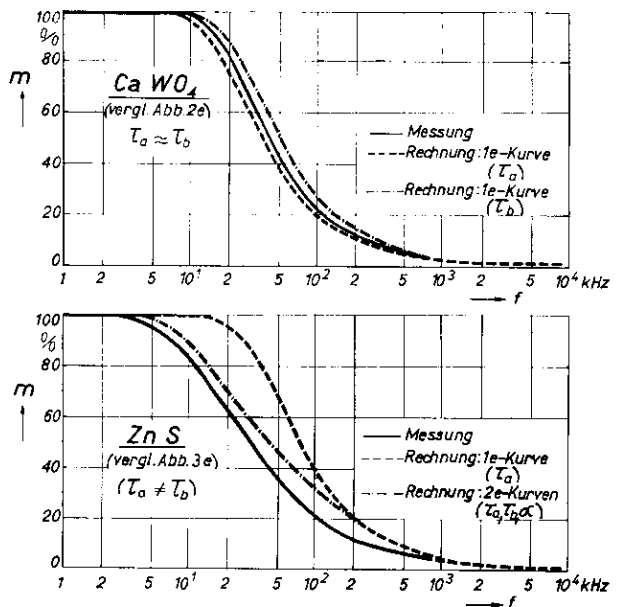


Abb. 5: Modulationsgrad in Abhängigkeit von der Frequenz (Elektronenstrahl nicht konzentriert — vergl. Tabelle 1 e).

strom in regelmäßigen Intervallen unterbrochen. Ist dagegen die Periodendauer der Trägerfrequenz klein, etwa gleich der Nachleuchtdauer, so wird der durch einen Erregungsimpuls hervorgerufene Leuchtvorgang noch nicht abgeklungen sein, wenn bereits der nächste Erregungsimpuls einsetzt. Der emittierte Lichtstrom setzt sich also aus einer gewissen Grundhelligkeit und einer darüber gelagerten Lichtschwankung zusammen. Bei noch höherer Trägerfrequenz wird der Anteil der Grundhelligkeit immer größer und der Anteil der Lichtschwankung immer kleiner werden.

Zur Messung des Licht-Modulationsgrades bei nicht konzentriertem Elektronenstrahl wird der auf dem Leuchtschirm ruhende Elektronen-Leuchtfleck auf eine Photozelle projiziert und die Photozellenspannung in einem Breitbandverstärker verstärkt und gleichgerichtet. Man stellt die Gleichspannung am Wehneltzylinder der Braunschen Röhre so ein, daß die Erregung bei Anlegung der Trägerfrequenz voll durchgesteuert wird. Die Hilfsspannung wird für alle Frequenzen gleich groß gehalten.

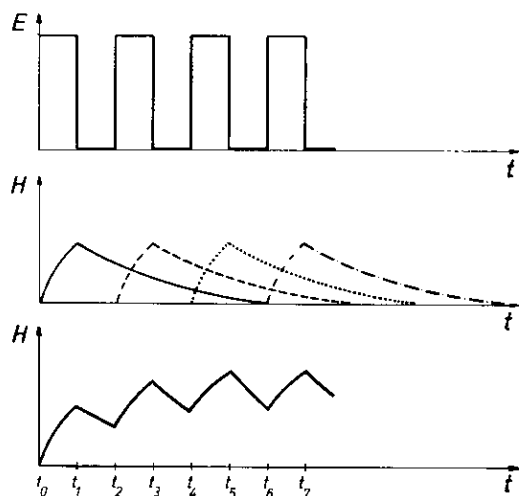


Abb. 6: Erregungsspannung und Helligkeit in Abhängigkeit von der Zeit.

In Abb. 5 ist ein Teil der Meßergebnisse für zwei verschiedene Materialien, und zwar für die bereits in Abschnitt 2 behandelten Materialien Calciumwolframat und Zinksulfid dargestellt. Bis zu einer Frequenz von 10 bzw. 4 kHz ist der Modulationsgrad konstant und gleich 100%. Er nimmt dann, zunächst rasch, dann weniger rasch ab und beträgt z. B. bei 1 MHz nur noch wenige Prozent. Bei noch höheren Frequenzen ist er so klein, daß die Meßgenauigkeit der benutzten Apparatur zur Messung nicht mehr ausreichte. Die beiden untersuchten Materialien unterscheiden sich voneinander nicht nur hinsichtlich derjenigen Frequenz, bei der der Modulationsgrad abzufallen beginnt, sondern auch hinsichtlich der Steilheit der Modulationsgradkurve. Der Modulationsgrad nimmt bei Calciumwolframat zunächst viel rascher ab als bei Zinksulfid.

Die Messung des Modulationsgrades bei Konzentration läßt sich nicht mit ruhendem Elektronenstrahl durchführen. Andererseits würde das Meßergebnis bei bewegtem Elektronenstrahl durch die periodische Bewegung selbst verfälscht. Man wendet daher zweckmäßig folgendes Meßverfahren an: Am Wehneltzylinder der Braunschen Röhre liegt nur eine Gleichspannung, dagegen keine trägerfrequente Hilfsspannung. Auf den Leuchtschirm ist eine rechteckig begrenzte Blende aufgebracht. Der Elektronenstrahl wird nun mit wechselnder Frequenz in Zeilenrichtung über die Blende bewegt. Da die Herstellung von sägezahnförmigen Kippspannungen hoher Frequenz Schwierigkeiten bereitet, nimmt man für die Zeilenablenkung Sinusspannungen. Der Leuchtstrich muß in diesem Falle, um Zeichen gleicher Lösch- und Erregungsdauer zu erhalten, 2 mal so groß sein wie die Blende, und die Modulationsfrequenz ist gleich der doppelten Zeilenablenkungsfrequenz.

Die hier sowie in Abb. 1 dargestellten Meßverfahren mit bewegtem Elektronenstrahl haben den Vorteil, daß sie die Abkling- und Modulationsvorgänge unter solchen Bedingungen untersuchen lassen, die den Betriebsbedingungen bei trägerfrequenter Abtastung entsprechen.

4. Zusammenhang zwischen Abklingvorgang und Modulationsgrad.

Die Berechnung des Modulationsgrades aus den Bestimmungsgrößen des Abklingvorganges wird unter folgenden, zum Teil vereinfachenden Voraussetzungen durchgeführt:

1. An- und Abklingvorgang entsprechen einander. (Diese Feststellung ist rein empirisch und bedeutet keinen einfach zu begründenden, theoretischen Zusammenhang).
2. Der Zusammenhang zwischen Erregungsamplitude und Endamplitude des Leuchtvorganges ist ein linearer; weder Sättigungs- noch Ermüdungserscheinungen treten auf.
3. Die periodisch schwankende Erregungsspannung habe keinen sinusartigen, sondern rechteckförmigen Verlauf.
4. Es werde diejenige Helligkeitsverteilung betrachtet, die sich nach unendlich langer Einwirkung der periodischen Erregung einstellt. Praktisch ist diese Voraussetzung bereits nach verhältnismäßig kurzer Zeit erfüllt.

Abb. 6 zeigt in der 1. Reihe den Verlauf der rechteckigen Erregungsspannung, in der 2. Reihe die verschiedenen, zu jedem Erregungsimpuls gehörenden An- und Abklingvorgänge und in der 3. Reihe die Gesamthelligkeit nach Ueberlagerung der verschiedenen An- und Abklingvorgänge.

Es sei zunächst angenommen, daß An- und Abklingvorgang nach einer reinen e-Funktion mit der Zeitkonstanten τ verlaufen. Wenn H_0 diejenige Lichtamplitude ist, die sich nach unendlich langer Einwirkung einer konstanten Erregung einstellen würde, so ist die zur Zeit t_1 erreichte Amplitude H_{t_1}

$$H_{t_1} = H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1 - t_0}{\tau}}\right) \quad (1)$$

Zur Zeit t_1 bricht der 1. Erregungsimpuls ab, der Leuchtvorgang klingt ab und erreicht zur Zeit t_2 den Wert

$$H_{t_2} = H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1 - t_0}{\tau}}\right) \cdot e^{-\frac{t_2 - t_1}{\tau}} \quad (2)$$

Zur Zeit t_3 ist der Leuchtvorgang des 1. Erregungsimpulses noch weiter abgeklungen, inzwischen hat aber ein 2. Leuchtvorgang eingesetzt, der sich dem 1. überlagert. Mithin ist die Gesamthelligkeit zur Zeit t_3

$$H_{t_3} = H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1 - t_0}{\tau}}\right) \cdot e^{-\frac{t_3 - t_1}{\tau}} + H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_3 - t_2}{\tau}}\right) \quad (3)$$

Schließlich ergeben sich folgende Reihenformeln für die Gesamthelligkeit, und zwar Formel (4) für die Zeiten bei Beendigung eines Impulses (t_1, t_3, t_5, \dots , allgemein t_{2n+1}) und Formel (5) für die Zeiten bei Beginn eines Impulses (t_0, t_2, t_4, \dots , allgemein t_{2n}).

$$H_{t_{2n+1}} = H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}\right) \cdot \left\{1 + e^{-\frac{t_{2n+1} - t_{2n-1}}{\tau}} + e^{-\frac{t_{2n+1} - t_{2n-3}}{\tau}} + \dots\right\} \quad (4)$$

$$H_{t_{2n}} = H_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}\right) \cdot \left\{e^{-\frac{t_{2n} - t_{2n-1}}{\tau}} + e^{-\frac{t_{2n} - t_{2n-3}}{\tau}} + \dots\right\} \quad (5)$$

mit der Abkürzung $\Delta t = t_1 - t_0 = t_3 - t_2 = t_5 - t_4 = \dots = t_{2n-1} - t_{2n}$.

Für unendlich lange Einwirkungszeiten lassen sich die geometrischen Reihen zusammenfassen, und man erhält für den Modulationsgrad folgenden Ausdruck

$$m = \frac{H_{t_{2n+1}}}{H_0} \cdot \frac{H_{t_{2n}}}{H_0} = \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}\right) \cdot \left\{ \frac{1}{1 - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}} \cdot \frac{e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}} \right\} = \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}\right)^2 \cdot \frac{1}{2\Delta t} \quad (6)$$

Da Δt gleich der halben Periodendauer der Erregungsspannung mit der Schwankungsfrequenz f ist:

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}, \text{ folgt aus (6)}$$

$$m = \frac{\left(1 - e^{-\frac{1}{2f\tau}}\right)^2}{1 - e^{-\frac{1}{f\tau}}} \quad (7)$$

Formel (7) ergibt für tiefe und hohe Frequenzen folgende Näherungen

$$\text{Tiefe Frequenzen: Für } \frac{1}{2f\tau} \gg 4,6 \quad m \approx 1 \quad (8)$$

$$\text{Hohe Frequenzen: Für } \frac{1}{2f\tau} \approx 0,34 \quad m \approx \frac{1}{4f\tau} \quad (9)$$

In Abb. 7 ist der grundsätzliche Verlauf von m entsprechend (7) für verschiedene τ dargestellt.

Es sei ferner angenommen, daß An- und Abklingkurven durch zwei in verschiedenen Zeitabschnitten gültige Exponentialkurven dargestellt werden. (Abb. 8). In die Rechnung gehen folgende Werte ein, die aus den gemessenen Abklingkurven entnommen werden können (vgl. Abb. 4b): Die Anfangszeitkonstante τ_a , die Endzeitkonstante τ_b , sowie das Verhältnis der Anfangsamplituden der beiden Exponentialkurven $\frac{H_b}{H_a} = \alpha$. Abb. 8 gilt für den Fall, daß der Erregungsimpuls erst dann abbricht, wenn der Anklingprozeß bereits nach der 2. Exponentialkurve verläuft. Für den Modulationsgrad ergibt sich in ähnlicher Weise wie für den einfachen Fall einer einzigen e-Funktion folgender Ausdruck

$$m = \frac{H_{t_{2n+1}}}{H_a} \cdot \frac{H_{t_{2n}}}{H_a} = \frac{H_b}{H_a} \cdot \left(1 - \frac{H_b}{H_a} \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau_b}}\right) \cdot \left\{ \frac{H_a}{H_b} + \frac{e^{-\frac{2\Delta t}{\tau_b}}}{1 - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau_b}}} - \frac{e^{-\frac{\Delta t}{\tau_b}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_b}}} \right\} \quad (10)$$

Nach einigen Umformungen erhält man:

$$m = \frac{e^{f\tau_b} - \alpha \cdot e^{2f\tau_b}}{e^{f\tau_b} - 1} \cdot \frac{1}{e^{f\tau_b}} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot e^{2f\tau_b}} \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{1}{e^{f\tau_b}} \quad (11)$$

Gleichung (11) geht natürlich für $\alpha = 1$ und $\tau_b = \tau$ in Gleichung (7) über. Gemäß der Voraussetzung — Erregungsimpuls bricht erst dann ab, wenn der An klingprozeß nach der 2. Exponentialkurve verläuft — ist Gleichung (11) unabhängig von τ_a und gilt dementsprechend nur in einem begrenzten Frequenzbereich, für den

$$f < \frac{1}{2 \ln \left(\frac{1}{\alpha} \right)} \cdot \frac{1}{\tau_b} \quad (12)$$

Bei tiefen Frequenzen gilt wieder näherungsweise

Tiefe Frequenzen: Für $\frac{1}{2f\tau_b} \approx 4,6$ $m \approx 1.$ (13)

Weitere Formeln für höhere Frequenzbereiche anzugeben, erübrigt sich. Wie anschaulich ohne weiteres klar ist, muß bei höheren Frequenzen der Einfluß der Zeitkonstanten τ_b kleiner und der der Zeitkonstanten τ_a größer werden. Bei sehr hohen Frequenzen wird schließlich der Modulationsgrad — für $\alpha < 1$ — näherungsweise durch Formel (7) bzw. (9) dargestellt.

Die Gültigkeit der angegebenen Formeln läßt sich mit Hilfe der Meßwerte von Abklingvorgang und Modulationsgrad nachprüfen. Diese Nachprüfung wird zweckmäßig für Messungen mit nicht konzentriertem Elektronenstrahl durchgeführt, weil hier die Schwankungen der Werte infolge Inhomogenitäten klein sind. In Abb. 5 sind neben den Meßkurven die mittels Gleichung (7), (9) und (11) errechneten Werte des Modulationsgrades eingetragen. Aus Tabelle Ie entnimmt man, daß für Calciumwolframat τ_a und τ_b nur wenig voneinander abweichen. In diesem Falle, in dem die Abklingkurve nahezu einer Exponentialkurve entspricht, muß also m im ganzen Frequenzbereich durch Gleichung (7) dargestellt werden. Zinksulfid weist dagegen starke Abweichungen von τ_a und τ_b auf. Dementsprechend ist hier im Frequenzbereich $f \approx 150$ kHz Formel (11) anzuwenden; bei sehr hohen Frequenzen gilt näherungsweise Gleichung (9). In Abb. 5 (Zn S) ist außer der mit der Meßkurve zu vergleichenden Rechenkurve diejenige Rechenkurve eingetragen, die sich ergeben würde, wenn der Abklingvorgang von Zinksulfid nach einer reinen e-Funktion mit der Zeitkonstanten τ_a verlaufen würde. Abb. 5 zeigt, daß Rechnung und Messung befriedigend übereinstimmen.

Aufnahme	Bezeichnung	$\tau_a / \mu \text{ sec.}$		$\tau_b / \mu \text{ sec.}$		$\frac{\tau_b}{\tau_a}$	
		CaWO ₄	ZnS	CaWO ₄	ZnS	CaWO ₄	ZnS
		Abb. 2	Abb. 3	Abb. 2	Abb. 3	Abb. 2	Abb. 3
konz.)*, 20 kV	b	6,3	3,4	12,7	17,9	1,8	5,3
	c	7,6	3,4	8,0	18,2	1,1	5,4
	d	11,2	2,0	8,5	16,3	0,8	8,1
nicht konz., 20 kV	e	12,1	6,0	8,7	21,4	0,7	3,6
konz., 20 kV, niedr. Strahlstr.	f	8,5	4,7	10,2	20,6	1,2	4,4
konz., 20 kV, hoh. Strahlstr.	g	8,2	5,4	4,8	17,6	0,6	3,3
konz., 20 kV	h	7,0	5,5	7,2	17,1	1,0	3,1
konz., 30 kV	i	7,1	9,9	11,5	18,5	1,6	1,9
konz., 40 kV	k	9,6	8,4	7,6	18,3	0,8	2,2

*) konz. = konzentrierter Strahlstrom

Tab. I. Zeitkonstanten der Abklingkurve.

5. Anwendung der Ergebnisse auf den Abtaster mit Braunscher Röhre.

a) Trägerfrequente Abtastung.

Die Trägerfrequenz bei trägerfrequenter Abtastung und die Zeitkonstanten des Nachleuchtvorganges liegen im allgemeinen so hoch, daß für den Modulationsgrad unter der Voraussetzung $a < 1$ angenähert Formel (9) gilt

$$\text{Für } \frac{1}{2f\tau} = 0,34 \quad m = \frac{1}{4f\tau} \quad (9)$$

$$\text{bzw. } m = \frac{25}{f, \text{ MHz} \cdot \tau, \mu \text{ sec}} \cdot 10^4 \quad (9a)$$

Unter τ ist hierbei in jedem Falle die Anfangszeitkonstante des Abklingvorganges zu verstehen. Die im weiteren zeitlichen Verlauf gültige Zeitkonstante (Endzeitkonstante τ_b) ist für den Modulationsgrad noch ohne Bedeutung. Bei trägerfrequenter Abtastung kommt es demnach nicht darauf an, daß der

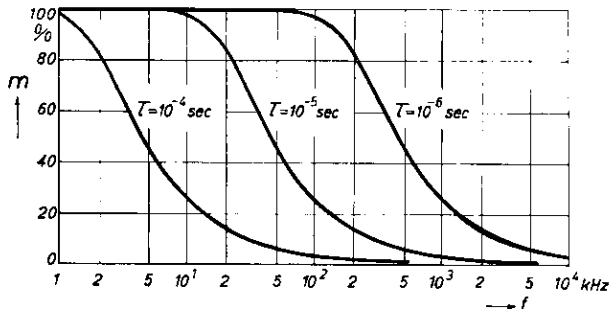


Abb. 7: Modulationsgrad in Abhängigkeit von der Frequenz für verschiedene Zeitkonstanten.

Nachleuchtvorgang nach einer möglichst kurzen Zeit auf den e-ten Teil absinkt; entscheidend ist vielmehr die Steilheit der Nachleuchtcurve zu Beginn des Prozesses. Von zwei Phosphoren, von denen der eine nach einer gewissen Zeit, die groß gegenüber der Periodendauer der Trägerfrequenz ist, großes und der andere kleines Nachleuchten zeigt, ist u. U. der „schlechtere“ der für trägerfrequente Abtastung geeignetere (Abb. 9).

Bei einer Trägerfrequenz von 8,4 MHz und einer Zeitkonstante von $1 \cdot 10^{-6}$ bzw. $0,5 \cdot 10^{-6}$ sec. sind die Voraussetzungen, unter denen Formel (9) gilt, noch erfüllt; der Modulationsgrad beträgt entsprechend 3 bzw. 6 %*).

Nach Formel (9) läßt sich der Modulationsgrad erhöhen, wenn die Trägerfrequenz und die Anfangszeitkonstante erniedrigt werden. In der Wahl der Trägerfrequenz ist man nun nach tiefen Frequenzen hin aus anderen Gründen recht beschränkt. Man muß fordern, daß auf jeden Bildpunkt des abzutastenden Bildes mindestens 1—2 Lichtblitze entfallen;

*) In der Literatur (5) findet sich die Angabe, daß der Modulationsgrad bei hohen Frequenzen konstant werden sollte. Diese Feststellung sowie die daraus gezogenen Schlüsse werden durch unsere Ergebnisse nicht bestätigt.

bei einem 441-Zeilenbild und einer Bildpunktzeit von $0,25 \mu \text{ sec}$ beträgt die entsprechende Trägerfrequenz 4 bzw. 8 MHz. Auch unter diesem Gesichtspunkt kommt bei der trägerfrequenten Abtastung alles darauf an, die Anfangszeitkonstante der benutzten Phosphore möglichst klein zu halten.

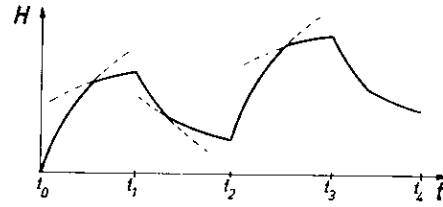


Abb. 8: Helligkeit in Abhängigkeit von der Zeit. (2 e-Kurven).

Die Lichtschwankung ist gleich dem Produkt aus Modulationsgrad und Endamplitude des Leuchtvorganges, mithin bei hohen Frequenzen näherungsweise gleich dem Produkt aus Modulationsgrad und doppelter Grundhelligkeit. Berücksichtigt man die spektrale Anpassung von Photozelle und Phosphorschirm durch einen Anpassungsfaktor a und bedeuten τ die Anfangszeitkonstante, H die Grundhelligkeit, I den der Grundhelligkeit entsprechenden Photozellengleichstrom, so ist die in der Photozelle erzeugte Trägerfrequenzspannung U_{Tr} bei konstanter Frequenz gegeben durch die Beziehung

$$U_{Tr} \sim \frac{a \cdot H}{\tau} \sim \frac{I}{\tau} \quad (14)$$

Die in der Photozelle erzeugte Störspannung infolge Schroteffekts U_{Schrot} ist proportional \sqrt{I} . Das Verhältnis von Träger-Nutzspannung zu Schrot-Störspannung ist nun ein Maß für die Güte der benutzten Kombination Phosphor-Photozelle; dementsprechend wird als Gütefaktor g bezeichnet

$$g = \frac{\sqrt{I}}{\tau} \sim \frac{U_{Tr}}{U_{Schrot}} \quad (15)$$

Man bestimmt ihn, indem man 1. unter gleichen Erregungsbedingungen (Strahlstrom der Braunschen Röhre etwa gleich $100 \mu \text{ A}$) und bei eingeschalteter Trägerfrequenz den Photozellengleichstrom mißt und

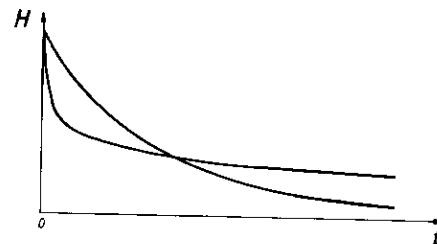


Abb. 9: Nachleuchten verschiedener Phosphore.

2. aus Aufnahmen der Nachleuchtcurve die Anfangszeitkonstante τ entnimmt. Beobachtungen und Messungen an einer Reihe verschiedener Materialien haben gezeigt, daß objektiver Gütefaktor und subjektive Bildgüte qualitativ übereinstimmen.

b) Niederfrequente Abtastung.

Die Kompensationsschaltung bei niederfrequenter Abtastung besteht aus einem Widerstands-Kapazitäts-Glied, und der Kompensationsvorgang verläuft nach einer reinen e-Funktion. Ausgleich zwischen Kompensationsvorgang und zu kompensierendem Vorgang ist also strenggenommen nur dann zu erwarten, wenn auch der zu kompensierende Vorgang nach einer e-Funktion verläuft. Die Abklingkurve von Phosphoren weicht nun in mehr oder weniger starkem Maße von einer Exponentialkurve ab. Unter verschiedenen Phosphoren wird man daher für niederfrequente Abtastung denjenigen auswählen, dessen Nachleuchten möglichst klein ist und dessen Nachleuchtkurve außerdem einer Exponentialkurve möglichst nahe kommt. In dieser Hinsicht verhalten sich z. B. Wolframate günstiger als Sulfide. Es ist vielleicht auch möglich, solche praktisch brauchbaren Phosphore zu finden, die nur eine einheitliche Zentrenart enthalten (6). Die Nachleuchtkurve von Phosphoren wird meist in guter Näherung durch zwei Exponentialkurven dargestellt. Abweichungen des Abklingvorganges von einer reinen e-Funktion wird man daher durch Zuschaltung eines weiteren Kompensationsgliedes ausgleichen können. Die Kompensationsglieder müssen so aufgebaut sein, daß die Summe ihrer Exponentialkurven den Kompensationsvorgang ergibt (vgl. Abb. 4a). Man verwendet zweckmäßig für jedes Kompensationsglied je eine Verstärkerstufe. Ueber die günstigste Dimensionierung solcher Verstärkerstufen wird in einer späteren Mitteilung berichtet werden.

Zusammenfassung.

Nachleuchtvorgänge von Phosphoren lassen sich meist hinreichend durch zwei Exponentialkurven darstellen. Für die Berechnung des Modulationsgrades und aus praktischen Gründen ist es zweckmäßig, von der üblichen Darstellungsweise abzuweichen und die Nachleuchtkurven durch zwei Zeitkonstanten entsprechend denjenigen Exponentialkurven zu kennzeichnen, die den Anfangs- und Endverlauf der Nachleuchtkurve näherungsweise darstellen. Für Leuchtvorgänge, die bereits nach 10^{-5} Sekunden Dauer abgeklungen sind, wird bestätigt, daß alle Nachleuchtvorgänge kontinuierlichen Charakter haben; ferner daß An- und Abklingvorgänge einander entsprechen und daß die Kurvenform des Nachleuchtvorganges von der Erregungsdichte abhängt. Die Messung des Modulationsgrades in Abhängigkeit von der Frequenz ergibt zunächst konstante, später stark abfallende Werte. Aus den Bestimmungsgrößen des Nachleuchtvorganges wird der Modulationsgrad berechnet, und zwar für Vorgänge, die durch eine e-Funktion sowie durch zwei e-Funktionen dargestellt werden. Rechnung und Messung sind in befriedigender Uebereinstimmung.

Für trägerfrequente Abtastung wählt man zweckmäßig denjenigen Phosphor aus, der die größ-

te Anfangsteilheit besitzt. Für die bei Abtastung benutzte Kombination Phosphor-Photozelle wird ein Gütefaktor eingeführt, der die zu erwartende Bildgüte in einfacher Weise abzuschätzen gestattet. Objektiver Gütefaktor und subjektive Bildgüte stimmen nach Messungen und Beobachtungen qualitativ überein. Für niederfrequente Abtastung wählt man denjenigen Phosphor aus, dessen Nachleuchten möglichst klein ist und dessen Nachleuchtkurve außerdem einer Exponentialkurve möglichst nahekommt. Für die Kompensation benutzt man ein oder zwei Kompensationsglieder in verschiedenen Verstärkerstufen.

Schrifttum.

- (1) Lenard, Hdb. d. Experimentalphysik, Bd. 23 (1928).
- (2) Schleede u. Bartels, Zeitschr. f. techn. Phys. (1938) Nr. 11, 364.
- (3) Riehl, Ann. d. Phys. 5. Folge, Bd. 29 (1937), 636.
- (4) Siehe (1), 1. Teil, 167.
- (5) v. Ardenne, Die Kathodenstrahlröhre, Berlin (1933), 84, 85.
- (6) Büniger u. Flechsig, Zeitschr. f. Phys., Bd. 67 (1931), 42.

SUMMARY.

The afterglow of luminescent substances and its influence on the light spot scanning with cathode ray tubes.

The afterglow of luminescent substances excited by cathode rays can be represented by two exponential curves giving a satisfactory approximation of the initial part and the end of the curve showing afterglow as a function of time. The curve shape of the afterglow depends on the excitation intensity.

If interrupted excitation is used the measurements show a strong decrease of the degree of modulation for high frequencies, for instance of a few percent for 10^5 cycles per second. Different luminescent substances give different steepness of curves showing degree of modulation as a function of frequency. The degree of modulation is calculated on the basis that the afterglow curve consists of one and of two e-functions.

The results of these investigation are applied to television transmission with light spot scanning by means of Braun tubes. For a carrier frequency modulated light spot a luminescent substance having greatest initial steepness is used. For the combination with photoelectric cells the efficiency is determined by the efficiency factor $g = \frac{I}{\tau}$ containing the direct photo-cell current I and the initial time constant τ . This efficiency factor g compares well with the quality of the image as seen by an observer. For scanning with an unmodulated ray a luminescent substance is used having small afterglow and approaching as far as possible true exponential curves.

Aufladungs- und Ermüdungserscheinungen von Leuchtsubstanzen bei ruhendem Elektronenstrahl.

Von Curt Hagen (Hamburg).

Inhalt: Im ersten Teil werden die bei den Leuchtschirmen auftretenden Aufladungspotentiale, ihr Zusammenhang mit der Sekundäremission und ihr Einfluß auf die Lichtausbeute bei ruhendem Kathodenstrahl beschrieben.

Der zweite Teil berichtet über die Abnahme der Leuchtfähigkeit der Leuchtsubstanzen mit der Dauer der Elektronenbestrahlung („Ermüdung“) und den gleichzeitig stattfindenden Prozeß der teilweisen Regeneration („Erholung“).

1. Teil.

Der Schirm einer Braunschen Röhre erhält im Betrieb durch den Kathodenstrahl dauernd negative Ladungen zugeführt. Würde diese Elektronenladung nicht auf irgendeinem Wege in gleicher Menge wieder entfernt, so müßte sich die bestrahlte Schirmfläche in kürzester Zeit so stark negativ aufladen, daß die ankommenden Strahlelektronen abgebremst und auf die Anode zurückgeworfen werden. Die Folge wäre dann das Verschwinden des Leuchtfleckes. Die Beobachtung zeigt aber ein dauerndes Aufleuchten der getroffenen Schirmstellen, was auf einen Abtransport der Beladungen schließen läßt.

Bei den Braunschen Röhren älterer Bauart, welche eine Gasfüllung geringen Druckes enthalten, wird die Neutralisation der Ladungen durch das ionisierte Gas bewirkt. Bei den Hochvakuumröhren muß die Entladung auf einen anderen Vorgang zurückgeführt werden. Er ist zu finden in der Fähigkeit der Strahlelektronen, beim Aufprall auf Materie (z. B. Leuchtmasse) Sekundärelektronen kleinerer Geschwindigkeit auszulösen. Die Anzahl der Sekundärelektronen kann nun je nach den gewählten Versuchsbedingungen und der Voltgeschwindigkeit der Primärelektronen größer, gleich oder kleiner sein als die Anzahl der auf den Schirm auftreffenden Elektronen. Sofern nun das Verhältnis der ausgelösten Sekundärelektronen zu den aufprallenden Primärelektronen nicht kleiner als 1 ist, wird die Schirmfläche nicht in störender Weise aufgeladen. Die Kenntnis des Verlaufes des Sek.-Em.-Faktors γ (= Sek.-El./Prim.-El.) ist für die Erklärung vieler Vorgänge am Leuchtschirm wichtig. Die mengenmäßige Feststellung von γ gelingt am besten durch Versuche an Metallschirmen, da es sich hier um die Messung von Strömen handelt, die man bei Isolatoren (Leuchtschirme) nicht ausführen kann. Strübig (1) konnte mit Hilfe einer einfachen Röhrenanordnung, die in Abb. 1 skizziert ist, den Verlauf des Sek.-Em.-Faktors mit der Elektronenbeschleunigungsspannung U_a messen. Die von der Kathode K ausgehenden Primärelektronen gelangen, ohne auf die Lochanode A zu stoßen — was durch ein in der Abb. 1 nicht gezeichnetes elektronenoptisches System erreicht wird — auf den Schirm S. Dort werden dann Sekundärelektronen ausgelöst,

durch die eine geringe negative Vorspannung U_s (~ 50 Volt) auf das Anodennetz N getrieben und mit dem Galvanometer G_2 gemessen. Das Galvanometer G_3 zeigt die Stromdifferenz $i_s - i_p$ an, während G_1 nur i_p mißt. Trägt man den Sek.-Em.-Faktor $\gamma = i_s / i_p$ als Ordinate und die Anodenspannung als Abszisse in ein Diagramm ein, so ergibt sich der in Abb. 2 gezeigte grundsätzliche Verlauf.

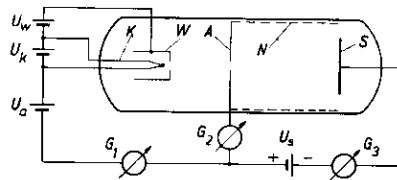


Abb. 1: Anordnung zur Messung des Sek. Emiss. Faktors γ .

Man entnimmt hieraus, daß der Faktor γ bei zwei Spannungen (U_1 und U_2) = 1 wird, zwischen diesen Werten > 1 und zu Anfang und Ende der Kurve < 1 ist. Nimmt U_a die Werte U_1 , bzw. U_2 an, so ist die Anzahl der erzeugten Sekundärelektronen gleich der auf den Schirm aufprallenden Primärelektronen. Ändert man die Schaltung Abb. 1 dahin ab, daß die galvanische Verbindung vom Schirm S fortfällt und zwischen Schirm und Anode ein hochisoliertes statisches Voltmeter liegt, so läßt sich die Aufladung des Schirmes $\Delta U = U_a \cdot U_s$ gegen die Anode bei fließendem Kathodenstrahl in Abhängigkeit mit der Beschleunigungsspannung U_a messend verfolgen.

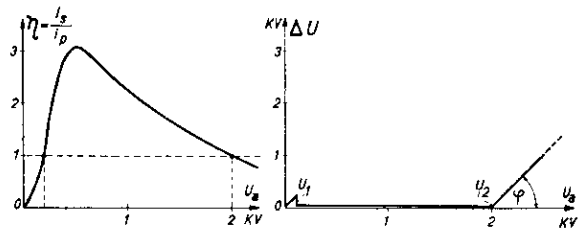


Abb. 2: Sek. Emiss. Faktor γ in Abhängigkeit von U_a .
Abb. 3: Verlauf der Aufladespannung $\Delta U = U_a \cdot U_s$.

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 3 aufgetragen. Nach anfänglichem linearem Anwachsen von ΔU springt diese Spannung bei einem Werte U_1 (bei Metallen etwa 90 Volt) auf 0 zurück. Steigert man U_a weiter, so verbleibt ΔU auf 0, d. h. das Schirmpotential nimmt stets den Wert von U_a an bis zu einem zweiten mit U_2 bezeichneten Anodenspannungswert. Hierauf erfolgt ein weiterer Anstieg. Der Steigungswinkel dieser Geraden beträgt bei Metallen $\varphi = 45^\circ$. Die Erklärung dieses Meßergebnisses kann unter Heranziehung der in Abb. 2 dargestellten Sekundäremissionskurve gegeben werden. Wir können den Verlauf der Erscheinung in drei Gebiete aufteilen:

- Steigert man U_a von 0 beginnend langsam nach positiven Werten bis zu etwa 90 Volt, so können die Strahlelektronen nicht auf den Schirm, der zu Beginn des Versuches Kathodenpotential besitzt, gelangen. Sie kehren nach der Anode zurück. Das Voltmeter zeigt den linearen Anstieg der Spannung zwischen Schirm-Anode an.
- Gelangen nun bei weiterem Steigern der Anodenspannung durch irgendeinen Initialvorgang Strahlelektronen auf den Schirm, so werden hier Sekundärelektronen ausgelöst, deren Anzahl die der ersteren übersteigt, da in diesem Spannungsbereich $\eta > 1$ ist. Da demnach mehr Elektronen den Schirm verlassen, als auf ihn zuwandern, wird das Potential des Schirmes soweit nach positiven Werten verlagert, bis U_a erreicht ist. Zwischen Anode und Schirm besteht dann kein elektrisches Feld mehr und das Voltmeter zeigt somit keinen Ausschlag an.
- Beim Ueberschreiten einer bestimmten Anodenspannung, die je nach dem verwendeten Schirmmaterial und seiner Vorbehandlung verschieden ist, und in der Größenordnung mehrerer tausend Volt liegt, folgt die Schirmspannung nicht mehr dem Anodential. Der Grund liegt darin, daß die Strahlelektronen tiefer in das Material eindringen, so daß die in einer solchen Schicht ausgelösten Sekundärelektronen nicht mehr durch die Schirmoberfläche in den freien Raum gelangen können. Der Schirm kann sich weiterhin nicht mehr der negativen Beladungen entledigen und bleibt auf einem konstanten Potential liegen, bei dem η gerade = 1 geworden ist. Die nachfolgenden Elektronen werden durch die schon vorhandene negative Schirmladung am weiteren Eindringen in die Oberfläche gehindert und kehren zur Anode zurück. Dieser Spannungspunkt entspricht somit dem Wert U_2 in der Kurve Abb. 2. Die Aufladekurve (Abb. 3) geht von der Abszissenachse mit einem Knick in die unter 45° verlaufende Gerade über, wenn die Anodenspannung weiter gesteigert wird. Das Verweilen der Schirmspannung auf einen stabilen Wert (auch mit „Knickpunktspannung“ bezeichnet) würde bedeuten, daß eine weitere Erhöhung von U_a keine Steigerung der Auf-

prallgeschwindigkeit der Primärelektronen zur Folge hat, weil ja die Voltgeschwindigkeit nicht höher als entsprechend U_2 wachsen kann.

Lägen die Verhältnisse bei einem Leuchtschirm genau so, wie bei dem hier besprochenen Metallschirm, so würde sich die Leuchtdichte eines Leuchtfleckes bei Anwendung noch so hoher Anodenspannung nicht steigern lassen, da die in Licht umgesetzte Energie — bei konstant gehaltenem Strahlstrom — nur von der Auftreffgeschwindigkeit der Elektronen abhängt. Nun weichen die Aufladungserscheinungen bei einem Isolator ein wenig von dem eines Metalles ab. Die Apparatur zur Aufnahme der Aufladekurve einer Leuchtschicht ist im Prinzip ähnlich der in Abb. 1 gezeigten. Die sich zwischen Anode und isoliertem Schirm einstellende Spannung wird hierbei nicht durch ein außerhalb der Röhre liegendes Instrument gemessen, sondern durch einen Elektrometerfaden, der sich im Zwischenraum Schirm — Anode befindet. (Vorschlag von H. Strübig). Die Ausschläge des Vakuumelektrometers werden vor der Messung empirisch geeicht. Die mit dieser Anordnung ermittelte Aufladekurve hat dieselbe Gestalt wie die in Abb. 2. Ein Unterschied liegt aber in dem Anstiegswinkel φ , den die Gerade nach Ueberschreiten der Spannung U_2 mit der Abszisse bildet.

Während der Winkel φ bei Metallschirmen genau 45° beträgt, ist er bei Leuchtsubstanzen kleiner als 45° . Die Größe von φ ist von Material zu Material verschieden und hängt außerdem noch in einer hier nicht näher zu erörternden Weise mit dem sich zwischen A S ausbildenden elektrischen Feld zusammen. Um einen Anhaltspunkt zu geben sei erwähnt, daß φ bei Zinksilikat $\sim 37^\circ$, bei Zinksulfid und Calciumwolframat $\sim 30^\circ$ und bei Glas $\sim 41^\circ$ beträgt. Dieses Meßergebnis zeigt, daß das Schirmpotential bei Isolatoren im Gegensatz zu Metallen auch nach dem Knickpunkt U_2 beim Heraussetzen von U_a noch langsam weiter proportional anwächst. Diese „Schlüpfung“ des Schirmpotentials bewirkt, daß ΔU kleiner als bei Metallschirmen ist. Die Aufprallgeschwindigkeit der Primärelektronen steigt also beim Ueberschreiten von U_2 noch an; daher muß der ruhende Leuchtfleck ein weiteres, wenn auch geringeres Anwachsen der Leuchtdichte aufweisen. Das ist von H. B e y auch experimentell durch Messungen mit einer Photozelle bestätigt worden. Die Abb. 4 gibt den Verlauf der Leuchtdichte eines Leuchtfleckes in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_a der Strahlelektronen wieder. Die Leuchtdichte steigt anfangs bei konstant gehaltenem Schirmstrom quadratisch mit U_a an. Bei einer Anodenspannung, die dem Knickpunktpotential U_2 entspricht, erfolgt ein merkliches Abbiegen der Leuchtdichtekurve von der analytischen Fortsetzung ihres anfänglichen Verlaufes. Die Lichtausbeute steigt somit bei wachsender Anodenspannung nicht im gleichen Maße wie vorher, bleibt jedoch nicht bei einem konstanten Wert stehen.

Diese Verhältnisse gelten nur bei ruhendem Kathodenstrahl. Bei Zeilen- bzw. Flächenausleuch-

tung, wie dies bei der Bilderzeugung in Fernseh-
röhren der Fall ist, liegt die Lichtausbeute sehr viel
günstiger. Auf diesen Punkt soll später von anderer
Seite in den „Hausmitteilungen“ näher eingegangen
werden.

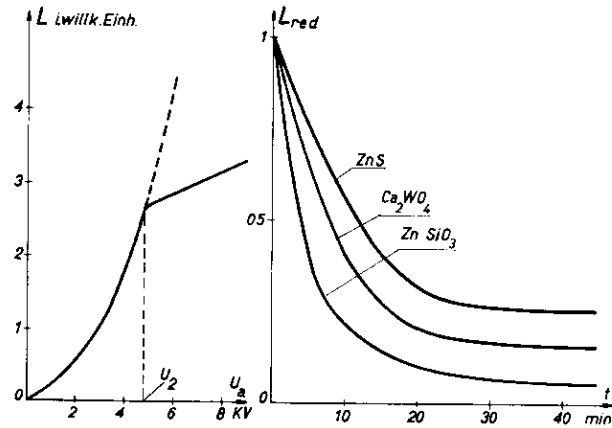


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Leuchtdichte L und U_a .

Abb. 5: Ermüdungskurven verschiedener Leucht-
substanzen.

Die Lage des Spannungsknickpunktes U_2 , die
eine Grenze für das unmittelbare Folgen des Schirm-
potentials mit der Beschleunigungsspannung U_a dar-
stellt, ist bei den einzelnen Schirmmaterialien —
Metalle und Leuchtmassen — verschieden. Bei-
spielsweise beträgt U_2 für Nickel ~ 2000 V, für
Zinksilikat ~ 3800 V, für Calciumwolframat ~ 5500 V
und für Glas $2000\text{—}3000$ V. Diese Werte variieren
jedoch stark mit der Vorbehandlung und der Ober-
flächenbeschaffenheit (Verunreinigungen, Rauigkeit,
Korngröße usw.). Außerdem wandert U_2 bei längerer
Elektronenbestrahlung in Richtung kleinerer Span-
nungswerte, da bei Metallflächen eine Auflockerung
und bei Leuchtmassen eine langsame Ausfällung von
Metall stattfindet.

Die Untersuchungsergebnisse stehen in guter
Übereinstimmung mit den neuerdings erschienenen
Arbeiten einiger amerikanischer Autoren (3). Sie
verwendeten das von Nelson entwickelte Ver-
fahren, welches die Aufladung einer Elektrometer-
röhre, deren Gitter mit den leitenden Belegungen
der Außenseite des Leuchtschirmes verbunden ist,
zur Messung benutzt. Erwähnenswert ist eine für
Demonstrationszwecke sehr geeignete einfache Meß-
anordnung von Frerichs und Krautz (4).
Hierbei ist die Schirmaußenseite ebenfalls mit einer
leitenden Schicht (z. B. Aquadag) versehen, an
welche die Nadel eines Elektrometers von sehr
kleiner Eigenkapazität gelegt ist. Durch die geringe,
bei der Leuchterregung erzeugte Leitfähigkeit der
Schirmsubstanz und des Glasbodens ist der Aufla-
dungsverlauf mit dem Elektrometer in hinreichender
Genauigkeit einem größeren Zuschauerkreis sichtbar
zu machen.

2. Teil.

Bei den Leuchtstoffen macht sich neben den
eben beschriebenen Aufladungserscheinungen bei an-
haltender Elektronenbestrahlung ein merkliches Ab-
sinken ihrer anfänglichen Leuchtfähigkeit bemerkbar.
Rein äußerlich zeigen die vom Kathodenstrahl ge-
troffenen Schirmstellen eine mit der Zeit wachsende
Schwärzung, welche nach L e n a r d durch Ausfällen
von Metall aus der Grundsubstanz hervorgerufen
wird. Den Leuchtfähigkeitsrückgang bezeichnet man
allgemein mit „Ermüdung“.

Den Zusammenhang der Leuchtstoffermüdung
mit der Bestrahlungszeit gibt für die drei Substanzen
Zinksulfid, Calciumwolframat und Zinksilikat die
Abb. 5 wieder (5). Hierbei ist die Lichtstärke des
Leuchtfleckes — oder auch, da der Querschnitt des
Kathodenstrahls konstant gehalten wird, die Leucht-
dichte (L) — durch die Ströme einer hinter dem
Schirm einer Braunschen Röhre angebrachten
Photozelle gemessen. Da die absoluten Werte der
Leuchtdichte zu Beginn der Elektronenbestrahlung
für die einzelnen Stoffe stark verschieden sind, ist
zur besseren Vergleichsmöglichkeit in der Abb. 5 die
reduzierte Leuchtdichte (L_{red}) als Ordinate aufge-
tragen, d. h. die Anfangswerte nach 1 min. Bestrah-
lungsdauer sind $= 1$ gesetzt.

Allen Kurven gemeinsam ist der anfänglich
starke Leuchtdichtenabfall und das spätere Einbiegen
in eine Parallele zur Abszisse. Auch bei einer we-
sentlich längeren Bestrahlungsdauer als der in die
Abb. 5 eingetragenen, tritt kein Abfall der Leucht-
dichte auf 0 ein. Auf diesen Befund soll weiter unten
noch eingegangen werden. Weiterhin ergeben die
G r o t h e e r'schen Messungen, daß die Ermüdung
der getroffenen Schirmstellen rascher vorschreitet,
je stärker der Strahlstrom gewählt wird. Weniger
einschneidend auf den Kurvenverlauf erweist sich
die Größe der Beschleunigungsspannung U_a . Die
bei konstant gehaltenem Strahlstrom, aber bei verschie-
denen Spannungen (U_a von $1000\text{—}10\,000$ V) aufge-
nommenen Meßwerte weichen nur unwesentlich von-
einander ab.

Zur Veranschaulichung des Ermüdungsvorganges
sind einige kurze Ueberlegungen eingeschaltet.

Ueber den inneren Aufbau der Leuchtstoffe ist
zwar auch heute noch nicht endgültiges bekannt,
doch kann aus den zahlreichen bisher vorliegenden
Arbeiten etwa das folgende gemeinsame Bild ent-
worfen werden. Die Kristallite der Leuchtsubstanz
bestehen aus einer Reihe kleiner Gitterblöcke, in
deren aneinander gelagerten Grenzflächen gewisse
Fugen vorhanden sind. In diese Fehlstellen lagern
sich nun entweder Atome des zum Aktivieren spur-
weise zugesetzten Fremdmalles (Ag, Mn, Cu...) oder
ein fehlplaziertes Metallatom der Grundsub-
stanz. Die Fehlstelle, ihre unmittelbare Umgebung
und das eingelagerte Metallatom stellen das „Leucht-
zentrum“ dar, also den Ausgangsort der Lichterzeugung
im Leuchtstoff. Nach T o m a s c h e c k,
R i e h l u. a. löst die durch den Primärstrahl in die
Substanz hineingetragene Energie Sekundärelek-

tronen aus, von denen einige in die Leuchtzentren gelangen und dort ihre Energie in Licht umsetzen. Durch die Primärenergie wird gleichzeitig eine Ausfällung von Metallatomen aus der Grundsubstanz bewirkt, also beispielsweise aus Zinksulfid das Zink. Das hat einmal zur Folge, daß sich mit der Zeit eine Schwärzung der Leuchtschicht bemerkbar macht, zum anderen, daß einige dieser von ihrem ursprünglichen Platz im Gitterverband entfernten Metallatome in die Leuchtzentren einwandern bzw. sich davor ablagern. Hierdurch tritt eine Absorption der sonst in das Zentrum gelangenden Lichtanregungsenergie auf, wobei die Leuchtfähigkeit unterbunden wird. Je mehr Leuchtzentren auf diese Weise an der Lichtaussendung behindert sind, um so stärker ist die Ermüdung der Substanz vorgeschritten. Neben dem Rückgang der Leuchtfähigkeit durch Ausfall der Leuchtzentren tritt noch eine Lichtschwächung durch die Schwärzung der Schicht hinzu. Der Einfluß dieser Schwärzung kann gesondert bestimmt werden. Bestrahlt man gleich große Flächenstücke des Leuchtschirmes nacheinander verschiedene lange Zeiten, so zeigen diese Flächen entsprechend verschiedene Schwärzungen. Im durchfallenden Licht kann dann die Lichtdurchlässigkeit (Transparenz) photometrisch ermittelt werden. Die Transparenz (Tr) der ungeschwärzten Schicht sei $= 1$ gesetzt. Dann ist allgemein

$$Tr = \frac{L_s}{L_0} \left(\frac{\text{Licht d. geschw. Schicht}}{\text{Licht d. ungeschw. Schicht}} \right). \quad (1)$$

Die Schwärzung sei proportional den ausgefällten Metallatomen m , die gleichmäßig in der Leuchtschicht verteilt angenommen werden. Bei Undurchsichtigkeit der Schicht (Transparenz $= 0$) seien m ausgefällte Metallatome, die sich ihrerseits zu größeren Komplexen vereinigen können, vorhanden. Dann ist die zu einer bestimmten Bestrahlungszeit gemessene Transparenz

$$Tr = 1 - \frac{m}{m_1} = \varepsilon m \left(\varepsilon = \frac{1}{m_1} \right). \quad (2)$$

Ein Vergleich mit der ersten Formel ergibt

$$\frac{L_s}{L_0} = 1 - \varepsilon m \quad \text{oder} \quad L_0 = \frac{L_s}{1 - \varepsilon m}. \quad (3)$$

Die tatsächlich erzeugte Leuchtdichte ist demnach gleich der photometrisch gemessenen, geteilt durch die jeweilige Transparenz.

Hierbei ist aber noch eine Korrektur anzubringen, wenn man bedenkt, daß das Licht bei einer zum Strahlen angeregten Leuchtschicht von innerhalb dieser liegenden Punkten ausgeht. Es erleidet somit eine geringere Absorption als das Licht, welches beim Photometrieren von außen her die gesamte Schicht durchlaufen muß. Eine genaue Durchrechnung führt zu dem Ergebnis, daß der Lichtschwächungsanteil εm in erster Annäherung nur zur Hälfte einzusetzen ist. Die korrigierte Gleichung zur Berechnung des Leuchtdichteverlaufes ohne den Einfluß der Schwärzung lautet daher

$$L_0 = \frac{L_s}{1 - \frac{\varepsilon m}{2}} \quad (3a)$$

In Verbindung mit einer experimentell aufgenommenen Transparenzkurve ist eine solche korrigierte Ermüdungskurve in Abb. 6 konstruiert. Die obere Kurve (Tr) zeigt den Abfall der Lichtdurchlässigkeit

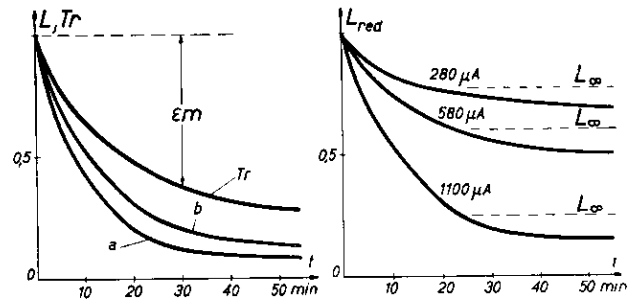


Abb. 6: Transparenzabnahme und korrigierte Ermüdungskurve.

Abb. 7: Ermüdungskurven bei verschiedenen Strahlströmen.

der bestrahlten Leuchtschicht. Kurve a ist eine, wie schon in Abb. 5 gezeigte Messung des Verlaufes der allgemeinen Ermüdung mit der Bestrahlungszeit und Kurve b ist der nach Formel (3a) berechnete Ermüdungsverlauf, wie er ohne lichtabsorbierende zusätzliche Metallteilchen in der Schicht eintreten würde. Wie schon oben erwähnt, ist der sich nach einer gewissen Bestrahlungsdauer einstellende, parallel zur Abszisse liegende Kurvenast bemerkenswert. Er zeigt, daß selbst nach sehr langer Zeit nicht alle Leuchtzentren ausgelöscht sind. Das deutet darauf hin, daß hier offenbar ein der Ermüdung entgegengerichteter Prozeß der Regeneration vorhanden sein muß. Die Möglichkeit einer Rückbildung gestörter Leuchtzentren ist gegeben, wenn man sich vorstellt, daß ein Teil der vor- oder eingelagerten, durch Primärelektronenstoß aus dem Gitterverband entfernten Metallatome wieder in ihre ursprünglichen Plätze zurückwandern. Unter der Annahme, daß die Anzahl m der in der Zeiteinheit aus der Grundsubstanz abgeschiedenen Atome der Stromdichte i des Kathodenstrahles proportional ist, ergibt sich der Differentialansatz

$$\frac{dm}{dt} = -\beta i - \alpha m \quad (\alpha, \beta = \text{Konst.}) \quad (4)$$

wobei αm derjenige Anteil der jeweils ausgeschiedenen Metallatome ist, der wieder in das Kristallgitter eingebaut wird. Die Auflösung von (4) ergibt

$$m = \frac{\beta i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}). \quad (5)$$

Nach längerer Bestrahlungsdauer strebt m dem Endwert

$$m_{\infty} = \frac{\beta i}{\alpha} \quad (5a)$$

zu, der somit nur von der Strahlstromdichte i bestimmt wird.

Den Zusammenhang zwischen m und der Abnahme der Leuchtdichte läßt folgende Ueberlegung noch deutlicher werden. Es sei N die anfängliche Zahl der in der Raumeinheit der Leuchtschicht be-

findlichen Leuchtzentren und n die zu irgendeiner Zeit t den ausgefällten Metallatomen m proportionale Zahl der gestörten Zentren, dann ist die Leuchtdichte auszudrücken durch den Ansatz

$$L = c_1 (N - n) \quad (c_1, c_2 = \text{Konst.}) \quad (6)$$

Nehmen wir weiterhin an, daß

$$n = c_2 m \quad (7)$$

ist, so folgt

$$L = c_1 (N - c_2 m) = c_1 N - \frac{c_1 c_2}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (8)$$

Nun ist die Leuchtdichte bei Beginn der Bestrahlung ($n = 0$)

$$L_0 = c_1 N; \quad (9)$$

andererseits gilt nach sehr langer Bestrahlung ($t \rightarrow \infty$)

$$L_{\infty} = L_0 - \frac{c_1 c_2}{\alpha} i, \text{ bzw. wenn } \frac{c_1 c_2}{\alpha} = c_3 \text{ gesetzt wird} \\ L_0 - L_{\infty} = c_3 i. \quad (10)$$

Die Leuchtdifferenz $L_0 - L_{\infty}$ ist demnach ebenfalls unmittelbar der Strahlstromdichte i proportional, in analoger Weise zu der in (5a) gefundenen Beziehung. Von der Gültigkeit der Formel (10) kann man sich durch eine Messung überzeugen. In Abb. 7 sind die durch Messung an Zinksilikat gefundenen Ermüdungskurven bei 3 verschiedenen Strahlstromdichten i eingetragen. Die Endwerte der Leuchtdichte sind unter Herausnahme des weiter oben erwähnten Transparenzanteiles berechnet und durch die mit L_{∞} bezeichneten, parallel zur t -Achse verlaufenden Striche angedeutet. Nach (10) soll der Zusammenhang zwischen $L_0 - L_{\infty}$ und t durch eine Gerade, die durch den Nullpunkt des Koordinatensystems läuft, auszudrücken sein. In Abb. 8 sind die aus der Mes-

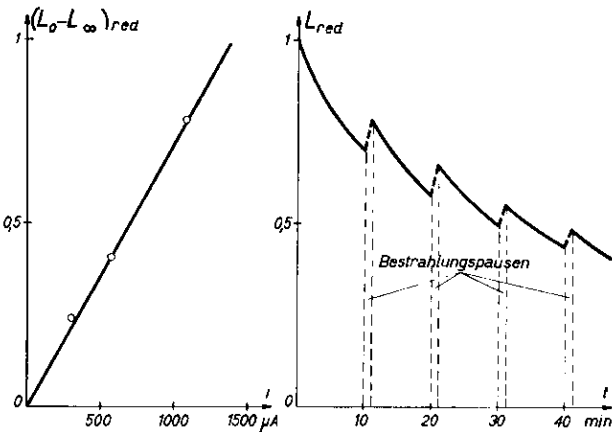


Abb. 8: Lineare Abhängigkeit zwischen i und $(L_0 - L_{\infty})_{red}$

Abb. 9: Ermüdungsverlauf bei eingelegten Bestrahlungspausen.

sung (Abb. 7) entnommenen Werte eingetragen. Man erkennt die hinreichend gute Bestätigung der durch Formel (10) gemachten Aussagen.

Der Regenerationsfaktor α hat einen konstanten Wert bei einer Dauerbestrahlung des Schirmflächenstückes. Bei einer intermittierenden Bestrahlung ändern sich die Verhältnisse dahingehend, daß die Erholung der Leuchtmasse unmittelbar nach dem

Unterbrechen des Elektronenstrahles in erhöhterem Maße einsetzt, um dann nach entsprechend längerer Bestrahlungspause auf den Wert 0 abzusinken.

Das Verhalten der Leuchtschicht bei eingelegten Bestrahlungspausen ist durch eine in Abb. 9 gezeigte Messung dargelegt. Nach je einer Bestrahlung von 10 min ist eine kurze Pause (etwa 1 min) eingelegt. Das Ergebnis ist ein sägezahnartiger Verlauf der Ermüdungskurve. Es zeigt sich jedesmal bei erneutem Einsetzen der Bestrahlung nach einer Pause ein höherer Wert der Leuchtdichte als am Ende des vorhergehenden Bestrahlungsintervalles. Der Pauseneffekt läßt sich noch durch einen etwas abgeänderten Versuch bestätigen. Mit Hilfe einer rotieren-

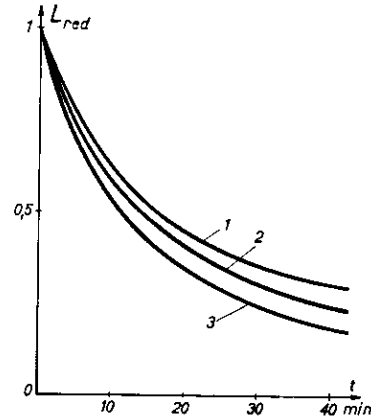


Abb. 10: Ermüdungskurven bei verschiedenen Unterbrechungsfrequenzen.

1 : 10 Hz, 2 : 75 Hz, 3 : 400 Hz und darüber (Strahlung : Pause = 1 : 1).

den Kontaktscheibe konnte an den Wehneltzylinder der Kathodenstrahlröhre periodisch eine negative Sperrspannung gelegt und damit der Elektronenstrahl unterbrochen werden. Durch Verändern der Drehzahl der Scheibe war eine Variation der Unterbrechungsfrequenz in weiteren Grenzen möglich. Die bei verschiedenen Frequenzen aufgenommenen Meßwerte sind in Abb. 10 eingezeichnet. Hierbei war das Verhältnis Bestrahlung : Pause = 1 : 1 genommen. Der Rückgang der Leuchtdichte ist bei kleinen Unterbrechungsfrequenzen, also entsprechend längeren Erholungspausen, merklich geringer, als bei höheren Frequenzen. Unterschreiten die Pausen einen bestimmten Wert — in dem in Abb. 10 angeführten Beispiel etwa $1/100$ sek — so tritt keine weitere Veränderung der Abfallsteilheit der Ermüdungskurven auf. Die Regenerationsgeschwindigkeit bzw. der Faktor α geht dann in einen konstanten Wert über, der sich bei einer genaueren Kurvenanalyse als gleichartig mit demjenigen der nichtunterbrochenen Bestrahlung erweist. Ueber den Verlauf der Regenerationsgeschwindigkeit kurz nach der Strahlunterbrechung sind zur Zeit noch keine genauen Aussagen möglich, da die Untersuchungen hierüber noch keineswegs abgeschlossen sind. Vermutlich sind die bei der Elektronenbestrahlung auftretenden elektrischen Felder innerhalb der Leucht-

schicht ein Anlaß zur Verzögerung einer schnellen Regeneration, d. h. Rückwanderung der abgetrennten Metallatome in die ursprünglich eingenommenen Plätze des Kristallgitters. Diese Störfelder würden erst von einer gewissen Pausenlänge an soweit abgeklungen sein, daß der Erholungsprozeß dann in einem schnelleren Maße vor sich gehen kann, als bei höheren Unterbrechungsfrequenzen oder Dauerbestrahlung. Aus der Beobachtung, daß die Schwärzung einer Leuchtschicht bei längerer Strahlungsunterbrechung nicht vollständig verschwindet, ist zu schließen, daß die Regeneration sehr bald zum Stillstand kommt. Die von einem unbewegten, aber intermittiert auf den Leuchtschirm treffenden Elektronenstrahl hervorgerufenen Erscheinungen treten in gleicher Weise auch bei einem Zeilen oder Raster schreibenden Strahl auf. Es sei z. B. eine quadratische $10 \times 10 \text{ cm}^2 = 10\,000 \text{ mm}^2$ große Schirmfläche mit einem Strahl von 1 mm^2 Querschnitt in je $\frac{1}{25}$ sek rasterförmig zu überstreichen. Ein einzelnes herausgegriffenes Schirmelement wird dann jedesmal $\frac{1}{25} \cdot 10^4$ sek von Elektronen getroffen, woran sich eine Regenerationspause von fast $\frac{1}{25}$ sek anschließt. Das hat aber dieselbe Wirkung, als ob das gleiche Schirmelement von einem ruhenden, im vorstehend angegebenen Unterbrechungsverhältnis gesteuerten Elektronenstrahl getroffen wird.

Entsprechende Versuche mit abgelenkten Strahlen ergaben Kurvenscharen, die vollkommen mit denjenigen übereinstimmen, die bei ruhendem, intermittiertem Strahl aufgenommen waren. Auch hier ist bei geringen Frequenzen, also längeren Bestrahlungspausen ein weniger starker Abfall der Leuchtdichte zu verzeichnen, als bei entsprechend höheren Frequenzen.

Zusammenfassung.

Der Mechanismus des Spannungsgleichgewichtes und des Abtransportes der durch den Kathodenstrahl zugeführten Ladungen bei Isolatoren (Leuchtschirmen) wird mit Hilfe von Messungen des Sekundäremissionsfaktors bei Metallen erklärt. Isolierte Metallschirme folgen von einem bestimmten Werte (Knickpunktpotential) an nicht mehr der Beschleunigungsspannung des Elektronenstrahls. Bei Leuchtmassen treten analoge Erscheinungen auf, doch steigt ihr Aufladungspotential auch nach Ueberschreiten des Spannungsknickpunktes noch in geringerem Maße. Die Lichtausbeute bei unbewegtem Strahl wächst somit bei höheren Anodenspannungen noch langsam an.

Weiterhin wird der Verlauf der Leuchtfähigkeitsverminderung bei elektronenbestrahlten Schirmen dargestellt. Es zeigt sich, daß zwei Vorgänge die Ermüdung der Leuchtmasse bedingen: Einmal die Ausfällung von Metall durch den Primärstrahl und die dadurch hervorgerufene Lichtabsorption infolge Schichtschwärzung, zum anderen die zeitliche Störung der Leuchtzentren durch vor- oder eingelagerte Metallatome. Ein der Ermüdung entgegen-

laufender Prozeß der Regeneration, der augenscheinlich durch die teilweise Rückwanderung der losgelösten Metallatome in die ursprünglichen Gitterplätze bedingt ist, wird erörtert. Weiterhin kann durch das Experiment gezeigt werden, daß die Erholung der Leuchtstoffe durch intermittierte Bestrahlung unter gewissen Bedingungen heraufgesetzt werden kann.

Das gleiche gilt für den zeilenförmig, periodisch abgelenkten Kathodenstrahl.

Schrifttum.

- (1) H. Strübig, Phys. Zs. 37. Jahrg. 1936, Heft 11, S. 402.
- (2) H. Bey, Phys. Zs. 39. Jahrg. 1938, Heft 16, S. 605.
- (3) H. Nelson, Journ. of Appl. Phys. Vol. 9, Sept. 1938, S. 592.
W. B. Nottingham, desgl., Vol. 10, Jan. 1939, S. 73.
St. Martin und L. B. Headrick, desgl., Vol. 10, Febr. 1939, S. 116.
- (4) R. Frerichs und E. Krautz, Phys. Zs. (erscheint demnächst).
- (5) W. Grotheer (Dissertation) Zs. f. Phys., 112. Band, 9. u. 10. Heft 1939, 541—559.

SUMMARY.

The behaviour of insulated luminescent screens under the influence of cathode rays.

The author deals with the effect of continuous luminescence produced by a cathode ray on an insulated screen in a high vacuum Braun tube. Experiments show, that

1. the charge imported by the ray to the screen leaks off at the same rate,
2. the screen potential is always positive with regard to that of the cathode.

Measurements of charging potentials made in connection with metal screens showed the following results:

When the anode potential U_a is gradually increased the screen potential at first remains stationary at about 0 Volt and then jumps to anode potential at a value of $U_a = U_1$ lying between 80—100 Volts for metal screens. The screen potential at first remains stationary at about U_a up to a stable value U_2 of about 2000—4000 Volts for metals. This experiment can be explained by reference to the curve showing the secondary emission factor η , as a function of anode potential. This curve shows that η is larger than 1 between U_1 and U_2 . In this region therefore a discharge takes place because the number of secondary electrons released is greater than the number of primary electrons in the ray.

The charge curve shows a similar behaviour when luminescent screens are used. In this case a slow additional increase of the screen potential takes place after the upper potential voltage point U_2 has been reached. The velocity of the primary electrons therefore increases with increasing anode potential and consequently the brightness of the spot is also increased. This effect is confirmed by measurements with selenium cells.

The areas of the screen impinged by the cathode ray shows a decrease of brightness as a function of the

time of impingement according to a logarithmic law. This effect can be attributed to two reasons:

1. The primary electrons liberate metal atoms out of the screens substance producing a blackening of the fluorescent layer and therefore a weakening of the produced light.

2. Some of the liberated metal atoms move in front of or into the luminescent centers of the substance and prevent the transfer of the energy required for the production of light.

It can be shown that at the same time a regeneration process is present. This regeneration is due to the partial retransfer of the metal atoms into their original positions in the crystal grid whereby the affected luminescent centres regain their luminosity.

Experiments with intermittend electron impingement show that regeneration can be increased thereby. The same holds true with regard to the periodically deflected cathode ray of a television tube.

Zur Theorie der Braunschen Röhre.

Von Hans Werner Paehr.

Inhalt: Die Stromkennlinie der Braunschen Röhre wird unter Zugrundelegung der Langmuirschen Raumladungskurve und einer Berechnung der emittierenden Kathodenfläche näherungsweise bestimmt. Die Resultate dieser Rechnung werden mit Messungen verglichen.

Versuche, die Charakteristik der Braunschen Röhre analytisch darzustellen, führen zu dem Ansatz:

$$I_a \propto U_{st}^{5/2}.$$

Dieser Ausdruck läßt vermuten, daß man die Kennlinie erklären kann als das Produkt der Langmuirschen Raumladungskurve ($U^{3/2}$) und der emittierenden Kathodenfläche (F), die bei der Braunschen Röhre bekanntlich von der Steuerspannung abhängt. Nimmt man an, daß diese Abhängigkeit linear ist, so ergibt sich die obige Formel.

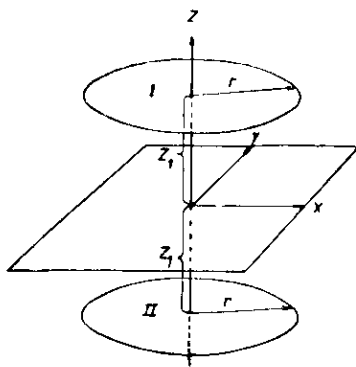


Abb. 1: Hilfsdarstellung zur Berechnung des Wehneltzylinder-Kathodenfeldes.

Eine exakte Theorie der Braunschen Röhre mußte die Kennlinie als Lösung der Gleichung $\Delta\varphi = 4\pi\sigma$ mit den Elektrodenpotentialen als Randbedingungen ergeben. Diese Aufgabe ist im allgemei-

nen unlösbar. Die in den oben vorausgeschickten Bemerkungen angedeutete Rechnung dagegen läßt sich unter gewissen Vereinfachungen durchführen und ergibt brauchbare Ergebnisse.

Zugrunde gelegt wird der Rechnung ein stilisiertes Strahlerzeugungssystem, das aus einem negativ geladenen Ring, der den Wehneltzylinder darstellt, und einer auf dem Potential Null befindlichen Ebene, der Kathodenfläche, besteht. Das Anodenfeld wird als lineares Feld dem Ganzen überlagert.

Das Wehneltzylinderkathodenfeld läßt sich als das Feld zweier Ringe entgegengesetzter Ladung berechnen. In Abb. 1 liegen die beiden Ringe parallel zur x, y -Ebene im Abstand $-z_1$ bzw. $+z_1$ vom Koordinatenanfangspunkt. Die Koordinaten der Ringe sind demnach:

$$\text{Ring I: } x = r \cos \varphi; \quad y = r \sin \varphi; \quad z = z_1$$

$$\text{Ring II: } x = -r \cos \varphi; \quad y = r \sin \varphi; \quad z = -z_1$$

Das Potential des Ringes I in einem Punkte der x, z -Ebene (da Radialsymmetrie herrscht, bedeutet dies keine Einschränkung) ist:

$$\varphi_1 = \sum \frac{Q}{r} \int_0^{2\pi} \frac{-q \cdot r \cdot d\varphi}{\sqrt{(x - r \cos \varphi)^2 + (r \sin \varphi)^2 + (z - z_1)^2}} \quad (1)$$

wobei $-q$ die spezifische Ladung des Ringes ist.

Die Umformung $\cos \varphi = 2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} - 1$, unter Einführung von $\alpha = \frac{\varphi}{2}$ ergibt:

$$\varphi = \frac{2rq}{(r+x)^2 + (z-z_1)^2} \int_0^\pi \frac{d\psi}{1 - K^2 \cos^2 \psi} \quad (2)$$

$$K^2 = \frac{4xr}{(x+r)^2 + (z-z_1)^2}$$

ein elliptisches Integral, das für $K < 1$, d. h. für alle Werte von $x > 0$ und z , außer für gleichzeitig $x = r$ und $z = z_1$, existiert. Das Integral

$$F\left(\frac{\pi}{2}, K\right) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\psi}{1 - K^2 \sin^2 \psi}$$

ist, z. B. in der Hütte Bd. 1 tabelliert. (Abb. 2).

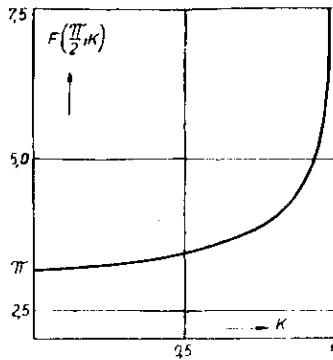


Abb. 2: Abhängigkeit der Funktion $F\left(\frac{\pi}{2}, K\right)$ von K .

Das hier in Frage kommende Integral hat den Wert $2 \cdot F\left(\frac{\pi}{2}, K\right)$. Abb. 3 zeigt das punktweise berechnete Potential für $r = 4$, $z = 2$ und $q = 1$.

Das Potential des unteren Ringes (φ_2) hat die gleiche Form wie φ_1 , nur ist dort z_1 durch $-z_1$ zu ersetzen, und die Ladung hat das entgegengesetzte Vorzeichen. Die Addition von φ_1 und φ_2 ergibt das Potential des Wehneltzylinders (Abb. 4).

Durch Überlagerung des Anodenfeldes $\varphi_3 = \mathcal{E}_a \cdot z$ erhält man das Gesamtpotential, das den Feldverlauf in dem stilisierten Strahlerzeugungssystem darstellt (Abb. 5, 6 und 7). Sieht man von der Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen und von der Feldverzerrung durch Raumladung ab²⁾, so stellen die Abbildungen das Anwachsen der emittierenden Kathodenfläche bei kleiner werdender negativer Wehneltspannung dar.

¹⁾ Für $x < 0$ muß man das Vorzeichen schon in Gleichung (1) berücksichtigen, etwa indem man schreibt $x = -|x|$. Nach der Umformung $\cos \psi = 1 - 2 \sin^2 \frac{\psi}{2}$ erhält man dann ein elliptisches Integral von gleichem Wert wie das obige.

²⁾ Die Tatsache, daß die Divergenz des Strahls unabhängig von der Kathodengüte ist, läßt den Schluß zu, daß der Emissionsbereich durch die Raumladung nicht wesentlich beeinflusst wird. Siehe E. Schwartz, H. Strübig u. H. W. Paehr, Zs. der Fernseh A. G. 1, 1938, 5.

In Abb. 5 liegt vor der Kathode eine überall negative Feldstärke, d. h. die Kathode ist gesperrt. Dagegen in Abb. 6 und 7 ist die Feldstärke in einer Kreisfläche positiv, dort können Elektronen die Kathode verlassen. Zwar wurde bei diesen Feldbildern \mathcal{E}_a , also die Anodenspannung variiert, man erhält aber den gleichen Feldverlauf, abgesehen vom absoluten Wert des Potentials, wenn man die Ladung des Ringes entsprechend ändert.

Dann hat man als Ladung des Ringes bei Abb. 6 $q = \frac{1}{1,3}$ und bei Abb. 7 $q = \frac{1}{2}$ und $\mathcal{E}_a = 1$ wie in Abb. 5 einzusetzen. Die Ladung des Ringes ist der wirksamen Wehneltspannung proportional. Um die Umrechnung von der Ladung zu der Wehneltspannung zu erhalten, kann man dem Ring eine endliche Dicke erteilen, seine Kapazität berechnen und damit U_w bestimmen.

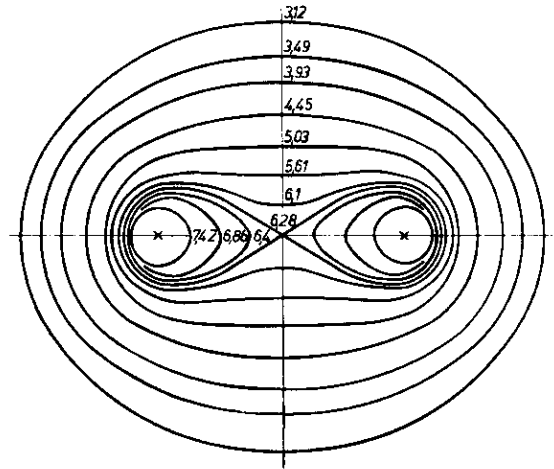


Abb. 3: Potentialfeld eines geladenen Ringes.

Die Größe der emittierenden Kathodenfläche, d. h. also der Fläche, auf der die Feldstärke positiv ist, wird rechnerisch erfaßt durch die Bestimmung des Kreises, auf dem die Feldstärke in der z -Richtung Null ist. Die Differentiation des Integrals φ_1 nach z ergibt

$$\mathcal{E}_1 = \int_0^{2\pi} \frac{qr(z-z_1)d\psi}{(r^2+x^2+(z-z_1)^2-2rx\cos\psi)^{3/2}}$$

Setzt man $z=0$ (Kathodenfläche), so erhält man nach Umformung

$$\mathcal{E}_1 = \frac{qrz_1}{(x^2+r^2+z_1^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi} \frac{d\psi}{(1-A\cos\psi)^{3/2}}$$

$$A = \frac{2rx}{r^2+x^2+z_1^2}$$

also wieder ein elliptisches Integral, das sich auf folgende Weise angenähert berechnen läßt. Der Integrand wird in eine Reihe entwickelt

$$\int \frac{d\varphi}{(1 - A \cos \varphi)^{3/2}} = \int (1 + \binom{-3/2}{1} A \cos \varphi + \binom{3/2}{2} A^2 \cos^2 \varphi + \dots) d\varphi = 2\pi + \binom{3/2}{1} A \int \cos \varphi d\varphi + \dots$$

und die Reihe gliedweise integriert. Nun ist

$$\int_0^{2\pi} \cos^m x = \frac{1}{m} \cos^{m-1} x \sin x \Big|_0^{2\pi} + \frac{m-1}{m} \int_0^{2\pi} \cos^{m-2} x dx,$$

damit fallen alle Reihenglieder mit ungeradem Index fort. Für die geraden gilt die Formel

$$\binom{-3/2}{2n} A^{2n} \int_0^{2\pi} \cos^{2n} \varphi d\varphi = \binom{3/2}{2n} A^{2n} \frac{2n-1}{2n} \cdot \frac{2(n-1)-1}{2(n-1)} \dots \frac{1}{2} \cdot 2\pi = 2\pi A^{2n} \cdot a_{2n},$$

die sich durch Kürzen und zweckmäßiges Zusammenfassen vereinfachen läßt:

$$a_{2n} = \prod_{\nu=1}^n \frac{\left(2\nu - \frac{1}{2}\right) \left(2\nu + \frac{1}{2}\right)}{(2\nu)^2} = \prod_{\nu=1}^n \left(1 - \frac{1}{16\nu^2}\right).$$

Die Faktoren von A^{2n} sind demnach monoton fallend. Für $n=1$ ist $a_2 = \frac{15}{16}$, für $n \rightarrow \infty$ kann a_{2n} aus der Produktentwicklung von $\sin x$ bestimmt werden.

$$\sin x = x \cdot \prod_{\nu=1}^{\infty} \left(1 - \left(\frac{x}{\nu\pi}\right)^2\right)$$

Für $x = \frac{\pi}{4}$ hat $\frac{\sin x}{x}$ die gleiche Form wie a_{2n} , also gilt

$$a_{2n} (n \rightarrow \infty) = \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{\frac{\pi}{4}} \approx 0,9.$$

Setzt man nun $a_{2n} \approx 1$, so begeht man einen Fehler von weniger als 10%. Damit läßt sich aber das Integral als geometrische Reihe berechnen.

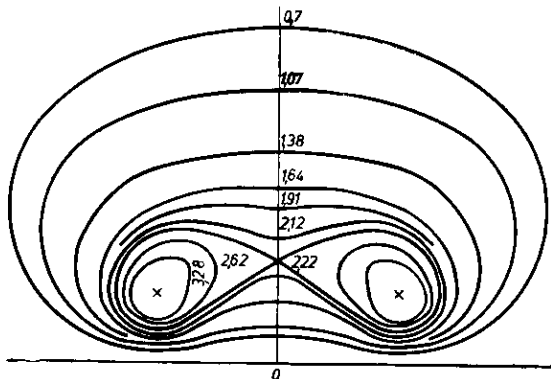


Abb. 4: Potentialverlauf des Wehnelt-Kathodenfeldes.

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{(1 - A \cos \varphi)^{3/2}} = 2\pi (1 + A^2 + A^4 + \dots) = \frac{2\pi}{1 - A^2},$$

und die Feldstärke wird

$$\mathcal{E}_1 = \frac{2\pi r q z_1}{(r^2 + x^2 + z_1^2)^{3/2}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2rx}{r^2 + x^2 + z_1^2}\right)^2}.$$

Beschränkt man sich auf kleine Werte von z_1 , so kann man z_1^2 gegen $r^2 + x^2$ vernachlässigen. Dann läßt sich \mathcal{E}_1 zusammenfassen zu

$$\mathcal{E}_1 = 2\pi q r z_1 \frac{1}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

Für die Gesamtfeldstärke erhält man

$$\mathcal{E} = 4\pi q r z_1 \frac{1}{(r^2 + x^2)^2} \cdot \mathcal{E}_a$$

die zur Bestimmung des Begrenzungsradius der emittierenden Kathodenfläche gleich Null gesetzt wird.

Setzt man $\frac{1}{r^2 + x^2} = \frac{r^2 - x^2}{r^4 - x^4}$, wobei man für $x = \frac{r}{2}$ einen Fehler von 5% begeht, so ergibt sich

$$(r^2 - x^2)^5 = r^4 \left(\frac{4\pi r q z_1}{\mathcal{E}_a}\right)^2 \quad (3)$$

Die Einsatzwehneltspannung (U_{w_0}) ist dadurch definiert, daß die Kathode gerade noch gesperrt ist, d. h. in diesem Falle: die Ladung des Ringes muß so groß sein, daß $x = 0$ ist. Das führt zu Formel (4)

$$\mathcal{E}_a = \frac{4\pi q_0 z_1}{r^2} \quad (4)$$

welche die Beziehung zwischen Anodenspannung und Einsatzspannung darstellt.

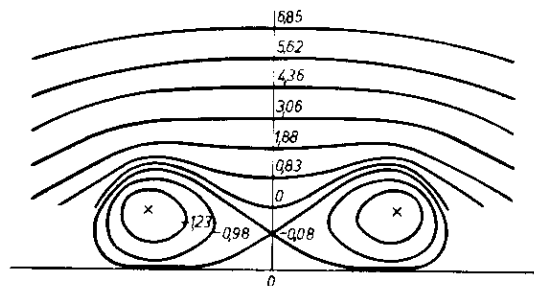


Abb. 5 bis Abb. 7: Feldverlauf in stilisierten Strahlenerzeugungssystemen.

Abb. 5: $E_a = 1$

Benutzt man Formel (4) zur Bestimmung von \mathcal{E}_a und setzt diesen Wert in Gleichung (3) ein, so erhält man

$$x^2 = r^2 \left(1 - \left(\frac{q}{q_0}\right)^{2/5}\right)$$

d. h. die emittierende Kathodenfläche hängt ab vom Wehnelttradius und vom Verhältnis der Wehneltspannung zur Einsatzspannung. Setzt man

$$\frac{q}{q_0} = \frac{U_{st}}{U_{w_0}}$$

wobei U_{st} die Steuerspannung ist, so ergibt sich bei Einführung folgender Annäherung

$$\left(\frac{q}{q_0}\right)^{2/5} \cdot \left(1 - \frac{q}{q_0}\right)^{2/5} \approx 1 - \frac{2}{5} \cdot \frac{U_{st}}{U_{w_0}}$$

für die emittierende Kathodenfläche

$$F = \pi x^2 = \pi r^2 \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{U_{st}}{U_{w_0}} \quad (5)$$

wobei für $\frac{U_{st}}{U_{w_0}} = \frac{1}{2}$ der durch die letzte Annäherung

begangene Fehler ungefähr 4 % beträgt. Wählt man also z_1 und U_{st} nicht zu groß, so ist die emittierende Kathodenfläche linear von der Steuerspannung abhängig. Das ist ein Resultat, das in Verbindung mit der Raumladungskurve, wie oben schon gesagt, eine Kennlinie von der beobachteten Form ergibt. Es muß nun die Raumladungskurve passend in die Rechnung eingebaut werden.

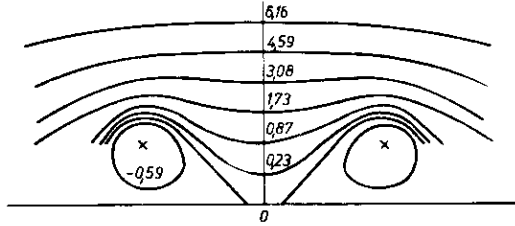


Abb. 6: $E_a = 1,3$

Es kann sich hierbei nur um eine angenäherte Bestimmung des Emissionsstroms handeln, da, wie eingangs erwähnt, die exakte Behandlung des Problems unmöglich ist. Um die Formel der Raumladungskurve anwenden zu können, ernennt man eine der Kathodenebene parallele Fläche, z. B. die Fläche des Wehnelttringes, zur Steuerfläche. Das Potential dieser Fläche setzt man in die Langmuirsche Formel ein. Ueber der Mitte der Emissionsfläche, d. h. in der z-Achse, wo das Potential am größten ist, läßt sich das Potential nach Gleichung (1) bestimmen. Den Potentialabfall nach dem Rande der Emissionsfläche hin berücksichtigt man durch einen Formfaktor.

Das Gesamtpotential in der z-Achse ($x = 0$) ist nach Gleichung (1)

$$\varphi = - \frac{2 \pi r q}{|r^2 + (z - z_1)^2|} - \frac{2 \pi r q}{|r^2 + (z + z_1)^2|} + \mathcal{E}_a z$$

Entwickelt man die beiden reziproken Wurzeln in Reihen nach $\frac{(z + z_1)^2}{r^2}$, bricht nach dem ersten Gliede ab und faßt zusammen, so erhält man

$$\varphi = - \frac{4 \pi z_1 z}{r^2} \cdot (q_0 - q)$$

wobei \mathcal{E}_a nach Gleichung (4) ersetzt wurde. Erweitert man mit q_0 und führt $\frac{q}{q_0} = \frac{U_{st}}{U_{w_0}}$ ein und ersetzt das restliche q_0 wieder nach Gleichung (4), dann ergibt sich

$$\varphi = \frac{U_{st}}{U_{w_0}} \cdot \mathcal{E}_a z$$

Nimmt man einen Anodenabstand b an und schreibt $\mathcal{E}_a = b \cdot U_a$ (U_a - Anodenspannung), so wird, wenn man den Durchgriff D als das Verhältnis von Einsatzspannung zur Anodenspannung definiert (siehe unten Gleichung (8)) und in die Rechnung einführt,

$$\varphi = \frac{U_{st} \cdot z}{D \cdot b} \quad (6)$$

Die Formel der Raumladungskurve für den ebenen Fall lautet

$$I_a = \frac{\gamma^{3/2} \cdot F}{9 \pi a^2 \sqrt{2 \varepsilon}} \quad \begin{array}{l} a = \text{Elektrodenabstand} \\ F = \text{Kathodenfläche} \end{array}$$

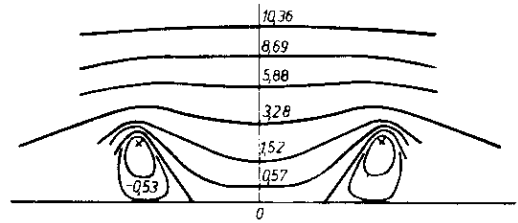


Abb. 7: $E_a = 2$

Setzt man hier Gleichung (5) und (6) ein nach Einführung eines Formfaktors γ , von dem angenommen wird, daß er von U_{st} unabhängig ist, und wählt die Ebene des Wehnelttringes als Steuerfläche, so bekommt man als Kennlinie der Braunschen Röhre

$$I_a = \frac{1}{9 \sqrt{2 \varepsilon}} \cdot \frac{2 \cdot \gamma^{3/2} \cdot r^2}{5 \cdot z_1^{1/2} D^{3/2} b^{3/2}} \cdot \frac{U_{st}^{5/2}}{U_{w_0}} \quad (7)$$

Die in dieser Formel enthaltenen Abhängigkeiten von z_1 und r wurden nicht beobachtet. Sie können auch nicht stark in Erscheinung treten, da andererseits der Durchgriff D von r und z_1 abhängt und man den Faktor $\frac{\gamma^{3/2} \cdot r^2}{z_1^{1/2} D^{3/2} b^{3/2}}$ in erster Näherung wohl als konstant ansehen kann. Diese Frage wurde nicht genauer untersucht, sondern nur wie die übrigen Gesetzmäßigkeiten, die in Gleichung (7) und auch in Gleichung (4) enthalten sind, an vorhandenem Meßmaterial geprüft. Abb. 8 zeigt eine Schar von Kennlinien, die an verschiedenen Braunschen Röhren bei 20 kV Anodenspannung und ca. 200 V. Einsatzspannung aufgenommen wurden. Es handelt sich dabei um Röhren mit den verschiedensten Wehneltformen, deren Kennlinien sich aber kaum unterscheiden. Setzt man in Gleichung (7)

$U_{w_0} = DU_a$, so erhält man bei Erweiterung mit U_a eine Gleichung für die Anodenleistung der Braunschen Röhre, die demnach von der Anodenspannung unabhängig ist. Abb. 9 und Abb. 10 bestätigen diese Aussage. Da die Helligkeitsausbeute des Schirmmaterials ebenfalls in erster Linie nur von der Strahlleistung abhängt, ist diese Beziehung für die Praxis wichtig; sie bedeutet nämlich, daß man, um auf einer Röhre eine bestimmte Helligkeit zu erzeugen, stets die gleiche Steuerspannung aufwenden muß, unabhängig von der Anodenspannung.

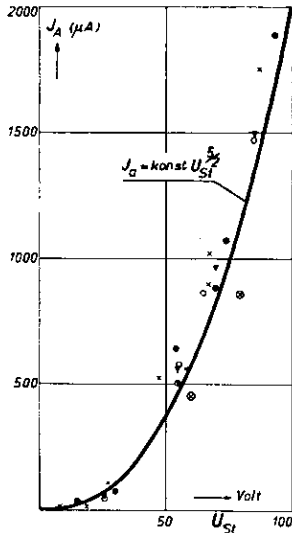


Abb. 8: Kennlinienverlauf mehrerer Röhren bei 20 kV Anodenspannung und ca. 200 V Einsatzspannung.

Eine weitere Prüfung von Gleichung (7) stellt Abb. 11 dar. Auch die in Gleichung (4) enthaltene Gesetzmäßigkeit, daß die Einsatzspannung der Anodenspannung proportional ist, so daß man also den Durchgriff als das Verhältnis dieser Spannungen definieren kann

$$\frac{U_{w_0}}{U_a} = \text{const} = D,$$

erweist sich als richtig, wie man an der Beschriftung der Abb. 9 und 10 erkennen kann.

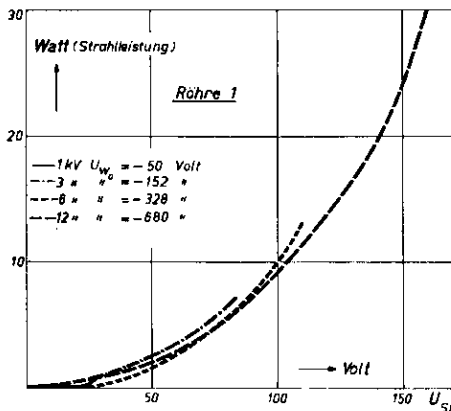


Abb. 9: Strahlleistung in Abhängigkeit von der Steuerspannung bei verschiedenen Anodenspannungen.

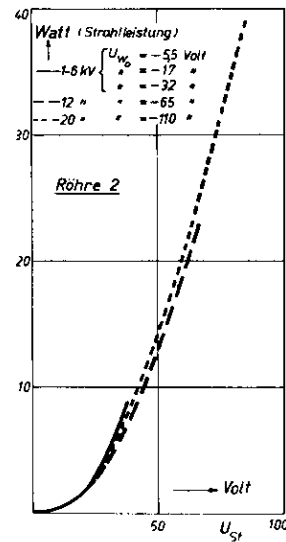


Abb. 10: Strahlleistung in Abhängigkeit von der Steuerspannung bei verschiedenen Anodenspannungen.

Zum Schluß werde noch eine Formel für die Kennlinie der Braunschen Röhre angegeben, die sich recht gut bewährt:

$$I_a = \frac{\alpha U_{st}^{\beta}}{U_{w_0}}$$

oder

$$I_a = \frac{\alpha U_{st}^{\beta}}{D \cdot U_a}$$

wobei $\alpha \approx 0.4 \cdot 10^{-2}$ mA/V und $\beta \approx 2.5$ ist.

Der Faktor α stimmt größenordnungsmäßig mit dem aus Gleichung (7) durch Einsetzen der Werte von r, z, b und $D = \frac{U_{w_0}}{U_a}$ zu berechnenden Faktor überein. Für γ wählt man zweckmäßigerweise den Wert $\gamma = 1/3$.

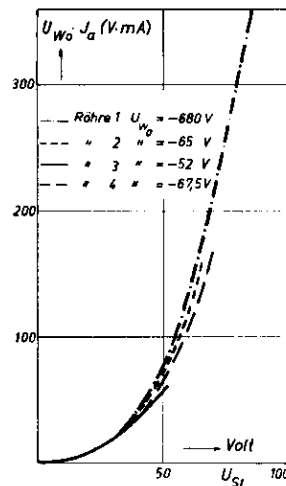


Abb. 11: $U_{w_0} \cdot J_a$ in Abhängigkeit von der Steuerspannung bei konstanter Anodenspannung.

Zusammenfassung.

Es wird der Versuch unternommen, die Kennlinie der Braunschen Röhre darzustellen als das Produkt der Stromdichte, die sich aus der Langmuirschen Raumladungskurve ergibt, und der emittierenden Kathodenfläche. Um die Größe der emittierenden Kathodenfläche berechnen zu können, wird ein stilisiertes Strahlerzeugungssystem zugrunde gelegt, das aus einem negativ geladenen Ring, dem Wehnelt und einer auf dem Potential Null befindlichen Ebene, der Kathode, besteht. Das Anodenfeld wird dabei dem Ganzen als lineares Feld überlagert. Das in diesem System herrschende Potentialfeld ist bei verschiedenen starken Emissionszuständen in Abbildungen dargestellt. Eine Näherungsrechnung führt zu einem einfachen Ausdruck für die Abhängigkeit der Emissionsfläche von der Steuerspannung. In Verbindung mit der Raumladungskurve ergibt dieser Ausdruck eine Formel für die Kennlinie der Braunschen Röhre, die an Messungen geprüft wird und sich recht gut bewährt.

SUMMARY.

Remarks to the theory of current controlled Braun tubes.

The characteristic curve of a Braun tube showing the cathode ray current as a function of control voltage is calculated by using the Langmuir space charge curve and taking into consideration the emitting area of the cathode. In order to determine the emitting area an ideal form of electron gun is used, consisting of a negatively charged ring, the Wehnelt cylinder and a plane having zero potential representing the cathode. The anode field is superimposed on this arrangement as a linearly increasing field and the resulting field distribution is shown for different values of emission.

A simple equation for the emitting area as a function of control voltage is obtained by approximation. This equation in conjunction with the space charge equation results in a formula for the characteristic curve which corresponds well with practical measurements.

Das Betriebsfest zum 10 jährigen Bestehen der Fernseh A.G.

Der Abschluß des ersten Jahrzehnts seit der Gründung der Fernseh A. G. gab die Veranlassung zu einem Betriebsausflug, der die Gefolgschaft mit ihren Angehörigen am 8. Juli 1939 an den ca. 30 km entfernten Liepnitzsee bei Bernau führte. Um 10 Uhr morgens versammelten sich die Festteilnehmer in der Nähe des Potsdamer Platzes, wo 8 große Omnibusse bereitstanden. Die Fahrt ging zunächst quer durch Berlin und dann über die Reichsautobahn Berlin-Stettin zu dem schönen Bestimmungsort.

Am Liepnitzsee begrüßte Herr Dr. Paul Goerz als Betriebsführer und Mitbegründer der Fernseh A. G. die Anwesenden, indem er allen Firmenangehörigen für ihre Mitarbeit dankte und besonders die ältesten Mitglieder



Die Omnibuskarawane auf der Reichsautobahn.

der Firma, die Herren Dr. Möller, Heim, Stalinski, Dr. Schubert, Harendt, Thöm, Pfeiffer, Dr. Schwartz, Günzel und Timm, erwähnte und ihre Tätigkeit in kurzen und launigen Worten kennzeichnete. Er wies darauf hin, daß viele Schwierigkeiten technischer und finanzieller Art, besonders in den ersten Krisenjahren, überwunden werden mußten, ehe die junge Forschungsgesellschaft sich zu der heutigen Bedeutung entwickeln konnte. Eine Förderung erfuhr die Fernseh A. G. durch die zahlreichen Aufträge, die ihr die Deutsche Reichspost erteilte. Die Ansprache klang sehr hoffnungsvoll aus, da



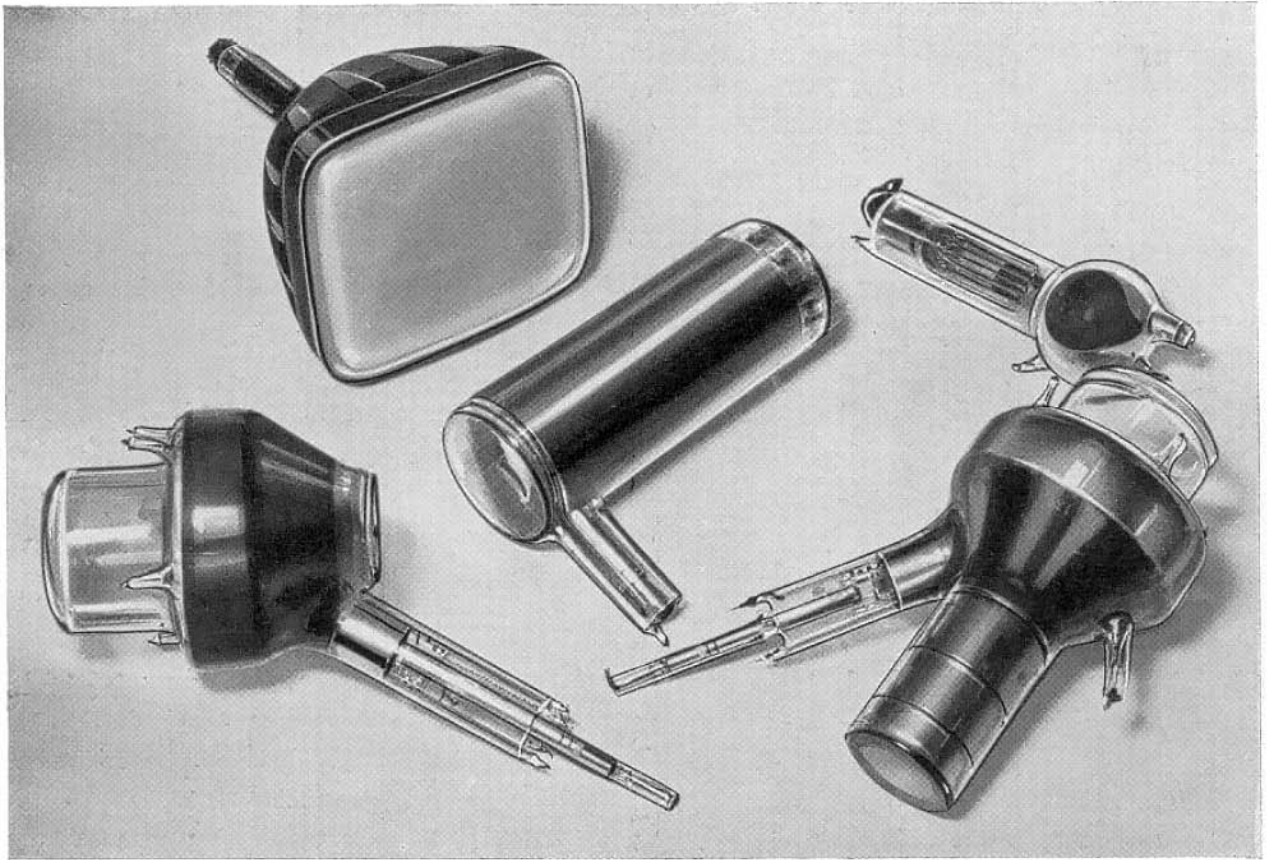
Das Ziel des Ausfluges, das Restaurant am Liepnitzsee.

Deutschland unmittelbar vor der Einführung des Fernseh Rundfunks steht und die Firma am Ausbau jeder Fernsenaufnahme-Anlage in erheblichem Maße beteiligt ist. Somit kann auch für die Zukunft mit großen Aufgaben gerechnet werden.

Der Ausflug, der durch schönes Wetter begünstigt und durch eine frohe Stimmung getragen wurde, bot Gelegenheit, die wunderbare Landschaft des Liepnitzsees zu genießen, und wird wohl jedem Teilnehmer für lange Zeit in freundlicher Erinnerung bleiben.



Dr. Paul Goerz bei seiner Ansprache.



Die gläsernen Herzen der Fernsehgeräte:

Braunsche Röhre des Fernsehempfängers, Fotozelle der mechanischen Abtastgeräte, Sondenröhre des Elektronenfilmabtasters, Bildspeicherröhre mit und ohne Vorabbildung für Bildfänger