



# **FERNSEH**

## **G.M.B.H.**

**HAUSMITTEILUNGEN AUS FORSCHUNG UND BETRIEB DER FERNSEH G.M.B.H., BERLIN**

**2. BAND • HEFT 5 • OKTOBER 1942**

## Inhalt:

	Seite
Rolf Möller                      Mehrfach-Filmabtastung .....	129
Rich. Felgel von Farnholz Probleme der Doppelabtastung von Filmen mittels Bildsondenröhren .....	134
Kurt Brückersteinkuhl      Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre für trägerfrequente und niederfrequente Abtastung .....	143
Paul Lindner                      Optische Sucher für Fernsehkameras .....	151

---

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



# FERNSEH G.M.B.H.

Hausmitteilungen aus Forschung und Betrieb der Fernseh G.m.b.H., Berlin

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

2. Band

Heft 5

Oktober 1942

## Mehrfach-Filmabtastung.

Von Rolf Möller.

(Eingegangen am 19. Juni 1942)

**Inhalt:** Es wird eine Uebersicht über die Verfahren gegeben, bei denen ein Filmstreifen mit einer anderen Bildwechselfrequenz abgetastet wird, als der Anzahl der Filmbilder/sec. entspricht. Dabei treten bei einigen Methoden durch die Verschachtelung von Filmbewegung und gegenläufiger Abtastbewegung gewisse auf den ersten Blick etwas kompliziert erscheinende kinematische Vorgänge auf, die eingehender untersucht werden sollen.

In der Fernsehtechnik hat man die Anzahl der pro sec. durch das Filmfenster laufenden Filmbilder (Filmwechselzahl) mit 25 festgelegt\*). Solange die bei der Abtastung des Filmstreifens verwendete Bildwechselzahl die gleiche ist (wie bei der früheren Fernschnorm mit 180 Zeilen), bietet die Filmabtastung keine Schwierigkeiten. Man benutzte dabei die gleichförmige Filmbewegung als eine Bilderlegungskomponente, wobei die Zeilenabtastung, z. B. durch eine konzentrische Lochscheibe bewirkt wurde (1).

Wenn es auch richtig ist, daß man bei dem jetzigen Zwischenzeilenverfahren (2), (3) auch nur mit 25 Bildwechseln arbeitet, da ja erst nach zweimaliger Abtastung in vertikaler Richtung (Bildrichtung) das Bild einmal (mit ineinander verkämmten Zeilen) vollständig abgetastet wird, so interessiert im Rahmen der vorliegenden Ueberlegungen jedoch, wie oft eine Abtastbewegung in Bildrichtung ausgeführt wurde. Insofern sei es erlaubt, um die Darstellungsweise nicht zu komplizieren, davon zu sprechen, daß auch der heutigen Fernschnorm 50

Bildwechsel zu Grunde liegen, zumal, wenn man bedenkt, daß eine „echte“ Abtastung mit 50 Bildwechseln sofort in eine Zwischenzeilenabtastung übergeht, wenn man bei jedem zweiten Bildwechsel eine Verschiebung der Bildabtastkomponente um eine halbe Zeile vornimmt.

Stimmen also Bildwechsel- und Filmwechselzahl nicht überein\*\*), so kann die Abtastung eines Filmstreifens mittels verschiedener Verfahren durchgeführt werden, welche nachstehend übersichtlich zusammengestellt sind und im folgenden eingehender besprochen werden sollen. Die Ueberlegungen beziehen sich nur auf Bewegungs- und Abtastvorgänge in Bildrichtung; daß gleichzeitig eine Zeilenabtastung vorgenommen wird, ist selbstverständlich. Desgleichen beschränken sich die Betrachtungen auf den am meisten interessierenden Fall der heutigen Fernschnorm mit 50 Bildabtastungen, wobei also jedes Filmbild doppelt abgetastet werden muß. Erst am Schluß wird ein Hinweis auf die Verwendung anderer Bildwechselzahlen gegeben.

\*) Zwar werden die Tonfilme mit 24 Bilder/sec. aufgenommen, doch kann die geringe Erhöhung der Filmwechselzahl um 4% (mit Rücksicht auf die Netzfrequenz) bezüglich Tonverfälschung in Kauf genommen werden.

\*\*) Der Vorschlag, durch Umkopieren des Filmstreifens (4) eine Uebereinstimmung der Filmwechselzahl mit der gegebenen Filmwechselzahl zu erreichen, ist zwar bei kurzen Prüffilmen anwendbar (5), dürfte sich aber bei längeren Filmen aus wirtschaftlichen Gründen kaum durchführen lassen.

## Verfahren zur Doppelabtastung von Filmen.

### A. Ruckweise Filmbewegung.

1. Schaltzeit 25 % ( $\frac{1}{1000}$  sec.)
2. desgl. mit teilweise optischem Ausgleichsvorgang
3. Schaltzeit 5 %
4. Schaltzeit 25 %; Doppellichtimpuls

### B. Gleichförmige Filmbewegung

1. Kurzzeitbelichtung
2. Stetiger Ausgleich der Filmbewegung
  - a) Optischer Ausgleich
  - b) Elektronenoptischer Ausgleich
3. Sprunghafter Ausgleich der Filmbewegung
  - a) durch Bildkipppamplitude
  - b) durch optische Verschiebung

### Art des Bildzerlegers:

\_\_\_\_\_

jeder Bildzerleger

jeder Bildzerleger

Speichernder Bildzerleger (Ikonoskop)

Speichernder Bildzerleger

jeder Bildzerleger

Speicherrohr mit Vorabbildung (Superikonoskop)

mechanischer Bildzerleger

nichtspeichernder Bildzerleger

(Bildsondenröhre, Braun'sche Röhre)

A. 1. Die Verwendung eines normalen Filmprojektors mit Malteserkreuzgetriebe scheidet wohl aus, da die Stillstandszeit des Filmes nur 75 % beträgt, man also 25 % der für die Uebertragung zur Verfügung stehenden Zeit nutzlos verschwenden würde. Schon aus Frequenzbandgründen wäre das sehr unangenehm, aber auch mit Rücksicht auf die Verwendung von anderen Bildzerlegerorganen, welche von Bildabtastung zu Bildabtastung ohne Uebergang arbeiten, nur unterbrochen durch den Bildrücklauf von etwa 5 % Länge. Im übrigen wirkt beim Zwischenzeilenverfahren ein Bildausfall von 25 %, d. h.  $\frac{1}{1000}$  sec. insofern noch sehr störend, als er sich ja bei einer der miteinander verkämmten Abtastungen auf das halbe Empfangsbild erstrecken würde.

A. 2. Es ist zwar vorgeschlagen worden (6), die während der Schaltzeit entstehende Filmbewegung durch einen optischen Ausgleich zu kompensieren, wobei man dann ein normales Zerlegeorgan benutzen könnte, doch dürfte der hierfür erforderliche Aufwand kaum lohnen. Es sei weiter dahingestellt, ob die Durchschaltvorgänge so genau übereinstimmen, daß sich ein genügend sauberer Ausgleich ergibt.

A. 3. Ähnliche Bedenken gelten bezüglich der Konstruktion eines Filmfortschaltgetriebes mit maximal 5 % Durchschaltzeit, zumal hier die Frage der mechanischen Filmbeanspruchung eine erhebliche Rolle spielen dürfte. Diese beiden Vorschläge seien also nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

A. 4. Die obigen Ueberlegungen gelten allerdings nur solange, wie Filmbewegung und Filmabtastung direkt miteinander verkoppelt sind. Gelingt es, beide voneinander zeitlich unabhängig zu machen, indem man z. B. mittels eines Ikonoskopes eine Bildspeicherung bewirkt, so kann man während der Stillstandszeit des Films eine mehr oder weniger kurze Belichtung des Ikonoskopes vornehmen und dann „in Ruhe“ die Abtastung vornehmen bis zur nächsten Belichtung. Da die Speicherung der heutigen Ikonoskope nicht ideal ist (durch Sekun-

därelektroneneinfluß), muß dafür gesorgt werden, daß die im Empfangsbild einander benachbarten Zeilen der Speicherplatte (die aber verschiedenen Zeilenzügen angehören) bei jeder Abtastung dieselbe „Vorgeschichte“ haben. Daher empfiehlt es sich, vor Beginn jeder Abtastung des Filmbildes, d. h. 50 mal/sec., eine Belichtung (zweckmäßig während der Dauer des Bildrücklaufs) vorzunehmen. Die beiden Belichtungsimpulse, welche sehr einfach durch eine mit dem Filmprojektorgetriebe gekoppelte Blendscheibe erzeugt werden, lassen sich bequem in der Stillstandszeit des Filmes unterbringen (7). Bei Verwendung von Superikonoskopen sind — wie Versuche zeigten — mit dieser Methode sehr brauchbare Resultate erzielt worden.

B. 1. In mancher Hinsicht zweckmäßiger — schon im Hinblick auf größere Filmschonung und einen mechanisch einfacheren Filmbewegungsmechanismus — erscheint die Verwendung der kontinuierlichen Filmbewegung. Wählt man die Beleuchtungsimpulse (vgl. Verfahren A. 4.) so kurz, daß während der Dauer derselben (z. B.  $10^{-5}$  sec.) keine störende Unschärfe durch die Filmbewegung eintritt\*), so kann bei Verwendung eines speichernden Bildzerlegers im Prinzip eine einwandfreie Abtastung erreicht werden. Es besteht jedoch außer der Forderung eines „Lichtblitzes“ genügender Intensität bei konstanter Phasenlage zur Filmbewegung noch die Notwendigkeit der Einschaltung eines optischen Ablenkensystems (siehe später bei B. 3 b).

B. 2. Führt man die gleichförmige Filmbewegung durch einen optischen Ausgleich, z. B. Mechau-Projektor, auf eine ruhende Abbildung zurück (8), so kann man im Prinzip jeden normalen Bildzerleger benutzen, z. B. ein Ikonoskop, dessen Verwendung noch den Vorteil hat, daß es gewisse zeitliche Lichtschwankungen, die bei einem optischen Ausgleich leicht auftreten können, ausgleicht.

\*) Bei längeren Lichtimpulsen wird die Verwendung eines sehr einfachen optischen Ausgleiches zwischen Lichtquelle und Film vorgeschlagen (E. Kosche).

Wird hingegen ein nichtspeichernder Zerleger, z. B. eine Bildsondenröhre verwendet, so ist größter Wert auf einen zeitlich konstanten Lichtstrom über das ganze Bild hinweg zu legen (siehe auch weiter unten).

An dieser Stelle sei eine immerhin ganz interessante Bemerkung eingeschaltet: Während der Konstrukteur eines optischen Ausgleichs für Filmprojektionszwecke darauf bedacht sein muß, zur Erzielung genügender Bildschirmhelligkeiten einen entsprechenden Lichtstrom durch den Projektor zu

Filmstreifens auf eine bewegte Trommel jedem Filmbild eine solche Optik (auf halbem Trommeldurchmesser) zuzuordnen, wobei in der Ebene der Trommeldrehachse das Zerlegerorgan untergebracht würde. Konstruktionsmäßig wäre eine solche Anordnung — wenn sie auch in Praxis etwas abgeändert werden müßte — sehr elegant; doch scheitert dieser Vorschlag leider an den Beugungserscheinungen, welche an den kleinen Linsenöffnungen auftreten.

B. 2 b). Während der durch bewegte Spiegel und dergleichen bewirkte optische Ausgleich einen erheblichen Aufwand bedeutet, wäre eine Lösung sehr zu begrüßen, bei der man den Ausgleich der Filmbewegung durch elektronenoptische Mittel erzielt (9), (10). Dazu ist das Superikonoskop im Prinzip geeignet. Wenn man zwischen der Photokathode, auf welcher der durchlaufende Film abgebildet wird, und der Speicherplatte eine Ablenkung des Elektronenstrahlbündels derart vornimmt, daß die Filmbewegung ausgeglichen wird, so entsteht auf der Speicherplatte das gewünschte ruhende Ladungsbild.

Die Kippfrequenz dieser Ausgleichsbewegung wäre naturgemäß gleich der Filmwechselfrequenz, wobei allerdings darauf zu achten ist, daß entweder das Rückkippen so schnell vor sich geht, daß während des „Durchziehens“ des Elektronenstrahlbündels keine wesentlich störenden Ladungen auftreten, oder aber daß man während dieser Rücklaufzeit das Elektronenstrahlbündel sperrt. Leider sind die Genauigkeitsanforderungen, die man an die Güte der elektronenoptischen Abbildung in bezug auf flächengetreue Wiedergabe, aber insbesondere die Anforderungen, die man an die Konstanz der Kippamplitude und die Linearität des Kippvorganges stellt, sehr groß (genau so groß, wie beim optischen Ausgleich). Denn die Bilder sollen ja zumindest mit einer größeren Genauigkeit übereinstimmen, wie sie durch die zeilenweise Abtastung gegeben ist, d. h. bei einer Ungenauigkeit von  $\frac{1}{2}$  Zeile, die schon verhältnismäßig groß ist, würde man bei 441 Zeilen eine Konstanz von mindestens  $1\frac{1}{2}\%$  verlangen. Das elektrisch zu erreichen, erscheint praktisch ausgeschlossen, zumal der Kippverlauf von zwei Größen abhängt: von den auf die Elektronen wirkenden Ablenkkraften (Strom in den Ablenkspulen) und den Beschleunigungskraften (Anodenspannung).

B. 3 a). Wie unter Verzicht auf einen optischen Ausgleich trotz gleichförmiger Filmbewegung eine Doppelabtastung jedes Filmbildes vorzunehmen ist, erkennt man aus den Abbildungen 1 bis 3. In Abb. 1 ist der links gezeichnete Film mit den Einzelbildern 1, 2, 3 als ruhend angenommen. Dann hätte die senkrechte Komponente des Abtastvorganges (Bildabtastung) in Abhängigkeit von der Zeit einen Verlauf, wie er rechts daneben dargestellt ist. Von A bis B wird das Filmbild 1 das erste Mal abgetastet, die Abtastung springt auf den Punkt C zurück, tastet das Filmbild 1 von C bis D zum zweiten Male ab, anschließend wird von D bis E das folgende Filmbild 2 zum ersten Male abgetastet usw.

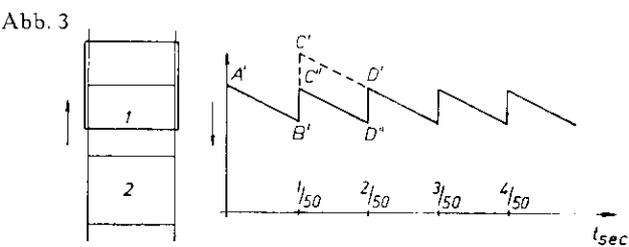
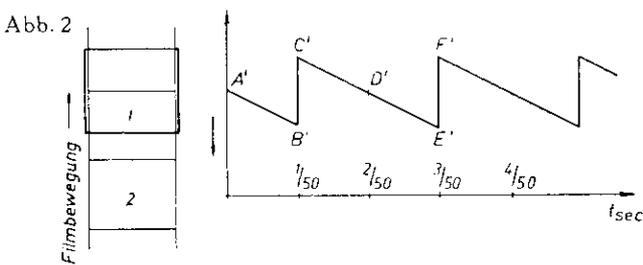
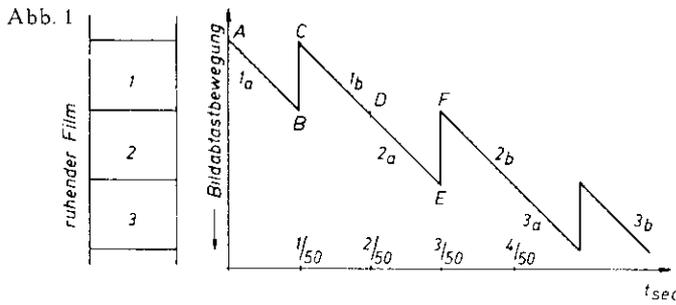


Abb. 1—3: Verlauf der Bildabtastkomponente in Abhängigkeit von der Zeit. Abb. 1 bei ruhendem Film; Abb. 2 bei gleichförmig bewegtem Film; Abb. 3 bei gleichförmig bewegtem Film und sprunghaftem optischen Ausgleich.

bringen, liegen diese Verhältnisse bei der Fernseh-abtastung z. T. ganz anders. Man benötigt z. B. auf der Photokathode eines Superikonoskopes nur Beleuchtungsstärken von etwa 30 Lux bei einer Bildgröße von nur einigen  $\text{cm}^2$ . Dann kommt man bei Verwendung selbst kleiner Lichtquellen mit einem Durchmesser der abbildenden Optik von wenigen mm (bei Brennweiten von mehreren cm) aus. Das eröffnet die Möglichkeit, eine primitive Abbildungsoptik, z. B. einfache Linse (von großer Tiefenschärfe!) zu benutzen und bei Auflegen des

Bewegt sich jetzt der Film (in  $\frac{1}{50}$  sec. um eine Filmbildhöhe), und zwar gegenläufig zur Abtastbewegung, so erkennt man aus Abb. 2, daß die Abtastamplituden z. B.  $A' B'$  nur noch die halbe Größe im Vergleich zu Abb. 1 haben, da in dieser Zeit ( $\frac{1}{50}$  sec.) der Film mit seiner Eigenbewegung ihnen um eine halbe Filmbildhöhe „entgegengekommen“ ist. Der Rücksprung  $B' C'$  hat allerdings (da ja inzwischen keine Filmbewegung eingetreten ist\*) dieselbe Größe wie in Abb. 1. Sämtliche zeitlich aufeinanderfolgenden Abtastamplituden liegen jetzt in gleicher „Höhe“, in welcher auch das Filmbildfenster (stark umrandet) angeordnet wird. Es ist klar, daß die Rücksprungsamplitude  $B' C'$  so exakt sein muß, daß sie nach Vollendung der ersten Abtastung eines Filmbildes genau wieder auf die erste Zeile am oberen Filmbildrand zurückspringt (bei 50 echten Bildwechseln/sec.) oder genau zwischen die erste und dritte Zeile (beim Zwischenzeilenverfahren). Die Genauigkeitsanforderungen sind hier insofern ähnliche wie beim optischen Ausgleich.

Zu bedenken ist weiter folgendes: Zur 1. und 2. Abtastung eines Filmbildes werden verschiedene Teile der Kippkurve (nämlich  $A' B'$  und  $C' D'$ ) herangezogen. Die bei diesen beiden Abtastungen entstehenden Teilbilder müssen sich im Fernsehempfangsbild jedoch sauber überdecken bzw. genau miteinander verkämmen. Man verlangt also außerdem noch sehr gute Linearität der Bildabtastung bzw. gleiche Form der beiden Kurventeile. Die Abweichungen müssen jedenfalls kleiner sein als  $1''$  (siehe oben). Daß es tatsächlich gelungen ist, mit einem mechanischen Zerlegerorgan (Spiralloschreiber) die Genauigkeitsbedingungen zu erfüllen (11), ist schon eine beachtliche Leistung; jedenfalls dürfte bei elektronischen Abtastgeräten eine derartige Genauigkeit nur sehr schwierig zu erzielen sein.

B. 3 b) Da hilft nun eine Ueberlegung, welche sich in Weiterverfolgung des obigen Gedankenganges sehr klar folgendermaßen formulieren läßt: der Film hat sich zwischen der ersten und zweiten Abtastung eines Filmbildes um  $\frac{1}{2}$  Filmbildhöhe weiter bewegt. Kompensiert man diesen Vorschub durch Einschalten einer optischen Ablenkeinrichtung (12), (z. B. Prisma), während des zweiten Abtastvorganges, so tastet jetzt die gleiche Zeile des Zerlegerorgans auch die gleiche Stelle im Filmbildstreifen zum zweiten Male ab. Durch diese optische „Verschiebung“ des Filmbildes während der zweiten Abtastung um  $\frac{1}{2}$  Filmbildhöhe wird jetzt gewissermaßen der Abtastvorgang von  $C' D'$  nach  $C'' D''$  „abgesenkt“, wie in Abb. 3 dargestellt ist. Damit ist erreicht, daß der gleiche sich 50 fach wiederholende Abtastvorgang das Filmbild in gleicher Weise zweifach überstreicht. Auch die Kurvenform spielt keine Rolle mehr, denn beim Zwischenzeilenverfahren können die Zeilen richtig miteinander, wenn auch eine allgemeine Verzerrung in Bildrichtung eintreten

\* Von einer Einbeziehung der Rücklaufzeit sei Abstand genommen, da sie keinen Einfluß auf die theoretische Ueberlegung hat.

kann; diese wirkt sich jedoch für beide Teilbilder vollkommen gleich aus.

Diese „Absenkung“ muß allerdings exakt den Betrag ausmachen, um den sich das Filmbild während  $\frac{1}{50}$  sec. fortbewegt, d. h. genau  $\frac{1}{2}$  Filmbildhöhe (Filmschrumpfung berücksichtigen)! Man hat es also jetzt erreicht, an der kritischen Stelle die notwendige Genauigkeit auf die Konstruktion bzw. Justierung eines mechanisch-optischen Systems zurückzuführen. Eine Schwankung der Kippamplitude  $B' C''$  ändert jetzt nur die Größe des übertragenen Filmbildausschnittes. Ob die Abtastung in übereinanderliegenden oder verkämmten Zwischenzeilen erfolgt, hängt nur von der Zeilenlage in der Zerlegerebene von  $A' B'$  und  $C'' D''$  ab.

Ueberlegungsmäßig müßte das optische Ablensystem im Takte von  $\frac{1}{50}$  sec. auf die Dauer einer halben Filmbildabtastung in den Strahlengang eingebildet werden. Einfacher ist es, man verwendet ein dauernd in den Strahlengang eingeschaltetes optisches System oder vielmehr zwei Systeme, von welchen das eine den Strahlengang um  $\frac{1}{2}$  Bildhöhe nach unten ablenkt, das andere um  $\frac{1}{2}$  Bildhöhe anhebt und gibt jetzt durch eine mechanische Blende diese beiden Strahlengänge nacheinander frei, wie dies in der folgenden Arbeit näher beschrieben wird.

Trotz dieser optischen „Ablenkung“ liegen natürlich die Zeilen, welche später im Fernsehempfänger über- oder direkt nebeneinander liegen, im Filmfenster (wegen des zeitlichen Abstandes von  $\frac{1}{50}$  sec.) um  $\frac{1}{2}$  Filmbildhöhe auseinander. Stimmen an diesen Stellen (und das gilt für jede Zeile) die Helligkeiten nicht überein, so ergibt sich ein sehr unangenehmes Zwischenzeilenflimmern. Die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung des Filmfensters sind sehr groß. Schon Abweichungen von einigen Prozenten sind erkennbar. Nur bei Aufbau eines sehr sauberen optischen Strahlenganges (siehe folgende Arbeit) läßt sich die geforderte Gleichmäßigkeit erreichen.

Der Vollständigkeit halber noch ein Hinweis: das optische Gesetz von der Umkehrbarkeit der Strahlengänge läßt sich auch hier anwenden, indem man die ruhende Lichtquelle und das abtastende lichtempfindliche Organ (wie bei den bisherigen Ueberlegungen angenommen) durch eine abtastende Lichtquelle und ein ruhendes lichtelektrisches Organ ersetzt; beispielsweise verwendet man an Stelle des Ikonoskops im Falle B. 2 a), oder der Bildsondenröhre im Falle B. 3 b) eine Braunsche Röhre.

Untersucht man abweichend von der bisherigen Annahme einer Abtastung mit 50 Bildwechseln die Verhältnisse für andere Bildwechselzahlen, so ergibt sich folgendes Bild: der optische Ausgleich liefert durch die Ueberlagerung der Abbildungen von zwei benachbarten Filmbildern einen für jeden Punkt zeitlich konstanten (nur mit wechselndem Bildinhalt schwankenden) Lichtstrom. Dieses Bild unterscheidet sich also, abgesehen von durch Bewegung auftretenden Unschärfen, im Hinblick auf die vorliegenden Ueberlegungen in nichts von dem

aufgenommenen Originalbild. Es kann also unabhängig von der Filmfrequenz mit jeder beliebigen Bildabtastfrequenz gearbeitet werden (13), (14).

Bei Anwendung eines speichernden Bildzerlegers ist zwar auch eine gewisse Entkopplung zwischen Filmbewegung und Abtastvorgang erreicht, und das Verfahren nach Abschnitt A. 4. kann offenbar so lange angewendet werden, als es gelingt, vor Beginn jeder Abtastung (während der Stillstandszeit des Filmes) eine Belichtung vorzunehmen, also im wesentlichen für ganzzahlige Verhältnisse von Bild- und Filmfrequenz. Andernfalls können normale Filmprojektoren nicht mehr verwendet werden.

Im übrigen läßt sich für alle die Fälle B. 3a) und B. 3b), in welchen die vertikale Abtastkomponente durch Zusammenwirken von Film- und Abtastbewegung herbeigeführt wird, folgende Bedingung aufstellen: Nach einer gewissen Anzahl von Abtastbewegungen muß wieder die ursprüngliche Phasenlage des Filmes im Bildfenster erreicht werden. Das Verhältnis von Filmfrequenz zu Bildfrequenz muß sich also durch zwei *g a n z e* Zahlen darstellen lassen, deren eine die Anzahl der notwendigen optischen Ablenssysteme und die andere die Anzahl der während des „Abtastzyklus“ durch das Filmfenster gelaufenen Filmbilder angibt. Ist das obige Verhältnis nicht ganzzahlig, z. B. 3 : 2 für 37,5 Hz. Bildfrequenz, so werden die einzelnen Filmbilder verschieden oft abgetastet, im vorliegenden Falle das eine Filmbild zweimal, das zweite einmal.

Wie groß dabei die „Ablenkamplitude“ der nacheinander einzuschaltenden optischen Systeme ist, ersieht man leicht durch eine Ueberlegung ähnlich der in den Abb. 2 und 3 gegebenen.

### Zusammenfassung.

Von den Verfahren, die man anwenden kann, um einen Filmstreifen mit einer anderen Bild-

wechselfrequenz abzutasten als der Anzahl der Filmbilder/sec. entspricht, sind folgende interessant:

1. Der ruckweise bewegte Film wird während der Stillstandszeit desselben belichtet und ein speichernder Bildzerleger benutzt.

2. Der optische Ausgleich ermöglicht die Anwendung jedes Bildzerlegers.

3. Der Ausgleich der während einer Bildabtastung erfolgten Filmbewegung durch ein optisches Ablenssystem; hierbei kann jeder nichtspeichernde Zerleger verwendet werden.

### Schrifttum.

- (1) F. Schröter, Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens; Berlin 1932, S. 82.
- (2) F. Rneck, Das Zeilensprungverfahren bei der Abtastung von Tonfilmen, Fernsehen u. Tonfilm 1939, S. 53.
- (3) W. Reichel, Der Mehrfachzeilensprung, Fernseh-Hausmitt. Band J, 1939, S. 171.
- (4) C. O. Browne, Brit. Pat. 438 935 (27. 6. 1934).
- (5) W. A. Knoop, Film Scanner for Testing Television Transmission. Bell Laboratories Record XIX, 1941, S. 298.
- (6) Baird, Brit. Ann. 31 490-37 (16. 11. 1937).
- (7) RCA, Oesterr. Pat. 138 337 (3. 1. 1933).
- (8) G. Krawinkel und E. Perchermeier, Der Fernschender des Reichspostzentralamtes in Berlin-Witzleben, Fernsehen u. Tonfilm 1930, S. 385.
- (9) AEC., DRI<sup>2</sup> 710 266 (29. 1. 1936).
- (10) Telefunken, Oesterr. Pat. 152 528 (23. 11. 1935).
- (11) K. Thöm, Mechanischer Universalabtaster für Personen-, Film- und Diapositivabtastungen, Fernseh-Hausmitt. 1. 1938, Heft 2, S. 6.
- (12) Ph. T. Farnsworth, Oesterr. Pat. 158 368 (18. 7. 1936).
- (13) F. Schröter, Die Bedeutung des Bildausgleichs-Projektors als Fernsehgeber; TFF Band 27, Sonderbef. 1938, S. 534.
- (14) H. S. Bamford, A New Television Film Projector, Electronics II, Juli 1938, S. 25.

# Probleme der Doppelabtastung von Filmen mittels Bildsondenröhren.

Von Richard Felgel von Farnholz.

(Eingegangen am 15. Februar 1942)

**Inhalt:** Die bei der optischen Aufspaltung des Strahlenganges und der zum Zwecke der Doppelabtastung erfolgenden Ueberlagerung der Strahlengänge auftretenden optischen und kinematischen Probleme werden untersucht. Der Abtastvorgang wird an Hand von Bildfolgen erläutert, welche die einzelnen Bewegungsphasen darstellen. Ursache und Beseitigungsmöglichkeiten des Trapezfehlers sowie die Ausleuchtung der Photokathode werden erörtert; Bauweise und Anordnung der Bildaufspaltungsoptik, Lage und Art der Blenden wird angegeben.

## Einleitung.

Von den verschiedenen Verfahren zur Filmabtastung kommen für einen betriebsmäßigen Einsatz in Fernsehsendern vor allem jene in Frage, bei denen der Film mit gleichförmiger Geschwindigkeit das Abtastgerät durchläuft. Wie in der vorhergehenden Arbeit ausgeführt wurde, ist es ferner zur Unterdrückung des Bildlimmerns notwendig, jedes Filmbild *zweimal* abzutasten. Da ein gleichförmiger optischer Ausgleich der Filmbewegung die Anwendung komplizierterer Geräte mit vielen bewegten Teilen erfordert, ist es günstiger, einen sprunghaften optischen Ausgleich\*) vorzunehmen. Hierbei wird die Weiterbewegung des Films zwischen Beginn der ersten und Beginn der zweiten Abtastung durch eine nach Beendigung jeder Abtastung erfolgende Umschaltung des optischen Strahlenganges ausgeglichen. Infolgedessen wird mittels der Abbildungsoptik jede Zone des Filmbildes sowohl im Augenblick der ersten Abtastung (im oberen Teil des Bildfensters) als auch im Augenblick der zweiten Abtastung (im unteren Teil des Bildfensters) an der *selben* Stelle der Bildzerlegerebene abgebildet\*\*). Dies ist wichtig für eine saubere Ueberlagerung der aufeinanderfolgenden Abbildungen bei der Anwendung elektronischer nichtspeichernder Bildzerlegereinrichtungen. Als solche stehen zur Zeit die Braunschweiger Röhre und die Bildsondenröhre zur Verfügung. Abgesehen von den bei Braunschweiger Röhren auftretenden Schwierigkeiten infolge Nachleuchten des Schirms besitzt die Bildsondenröhre (1), (2), (3), (4) den Vorzug, daß bei ihr die geometrische Form und Größe des einzelnen Bildpunktes durch Form und Größe der mechanisch hergestellten Blendenöffnung festgelegt ist, durch welche die von der Photokathode emittierten Elektronen in den Sekundäremissionsverstärker gelangen. Während bei der Abtastung mittels Braunschweiger Röhre (und auch mittels Bildspeicherröhre!) die Begrenzung des Bildpunktes unscharf und verschwommen ist, da die Intensität des abtastenden Strahls am Rande des Strahls nicht

sprunghaft Null wird, ergibt sich bei der Bildsondenröhre eine scharfe saubere Begrenzung jedes einzelnen Bildpunktes. Daher hat die Filmabtastung mittels Bildsondenröhren eine große Bedeutung für die Fernsehtechnik erlangt (5), (6), (7) und bei den meisten Filmsendungen des Berliner Fernsehsenders wird als Zerlegerorgan die Bildsondenröhre verwendet.

Die Photokathode der Bildsondenröhre emittiert bekanntlich einen Photoelektronenstrom, dessen flächenhafte Intensitätsverteilung der flächenhaften Helligkeitsverteilung des auf der Photokathode abgebildeten optischen Bildes entspricht. Die Photokathode wird elektronenoptisch in der Ebene einer Bildsonde abgebildet. Unter dem Einfluß von Ablenkfeldern wird nun das elektronenoptische Abbild der Photokathode zeilenweise an der Oeffnung der Bildsonde vorbeibewegt, so daß nach und nach die

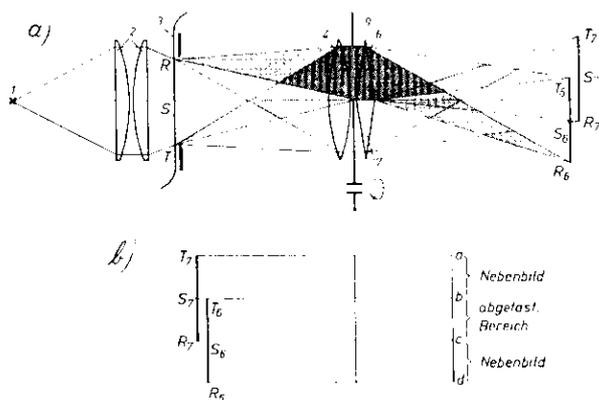


Abb. 1: Bildaufspaltung mittels Keilprismen.

von allen Punkten der Photokathode emittierten Elektronen die Sondenöffnung passiert haben und damit der gesamte Bildinhalt des zu übertragenden Filmbildes in eine Folge elektrischer Signale verwandelt wird. Nach dem Passieren der Sondenöffnung werden die Elektronen einem vielstufigen Sekundäremissionsverstärker zugeführt, an dessen Ausgang die verstärkten elektrischen Bildsignale abgenommen werden können.

\*) Vgl. Seite 131, Abb. 3.

\*\*\*) Vgl. Seite 132, Abschnitt B 3 b.

## Die optische Bildaufspaltung.

Die Abb. 1a zeigt schematisch ein Gerät zur Filmabtastung, bei dem das von der als Lichtquelle dienenden Projektionslampe 1 ausgehende und im Kondensator 2 gesammelte Licht das im Bildfenster  $RST$  sichtbare Filmbild des Films 3 durchleuchtet. Dieses Filmbild, bzw. das Bildfenster  $RST$ , wird mittels der Linse 4 auf der Photokathode abgebildet. Durch die Anordnung der Prismen 6 und 7 erfolgt eine optische Aufspaltung des Strahlenganges, und es entstehen nunmehr auf der Photokathode zwei gegeneinander versetzte Abbildungen  $R_6, S_6, T_6$  und  $R_7, S_7, T_7$ , wobei die erstgenannte Abbildung von dem das Prisma 6 durchsetzenden Lichtstrom und die zweitgenannte Abbildung von dem das Prisma 7 durchsetzenden Lichtstrom erzeugt wird. Vor den Prismen 6 und 7 befindet sich eine rotierende Blendscheibe 9, welche Aussparungen besitzt, derart, daß abwechselnd entweder die obere oder die untere Hälfte des Bildfensters freigegeben wird. In der gezeigten Stellung der Blendscheibe wird nur das Prisma 6 freigegeben und daher nur die Abbildung  $R_6, S_6, T_6$  auf der Photokathode erzeugt. Nach einer entsprechenden Drehung der Blendscheibe 9 würde das obere Prisma 6 abgedeckt, dafür das untere Prisma 7 freigegeben und infolgedessen von dem Bildfenster nunmehr die nach oben versetzte Abbildung  $R_7, S_7, T_7$  entstehen.

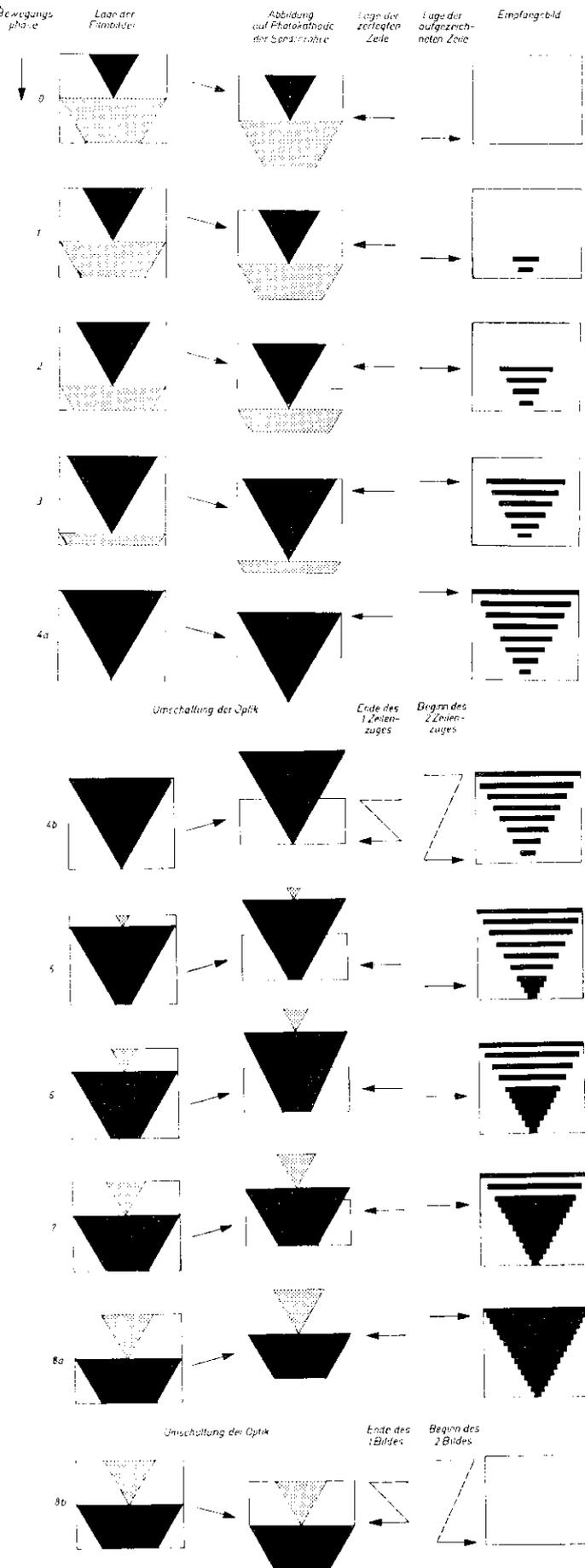
Wenn der abzubildende Film mit einer Geschwindigkeit von 25 Filmbildern je Sekunde läuft, dann erscheinen auf der Photokathode (vgl. Abb. 1b) im Bereich von  $a - c$  25 Abbildungen  $R_7, S_7, T_7$  je Sekunde, die über das Prisma 7 erzeugt werden, und im Bereich  $b - d$  erscheinen ebenfalls 25 Abbildungen  $R_6, S_6, T_6$  je Sekunde, die über das Prisma 6 erzeugt werden. Dadurch, daß die rotierende Blende abwechselnd die beiden Prismen 6 und 7 für die Abbildung freigibt bzw. abdeckt, entstehen im Bereich von  $a - c$  in periodischen Intervallen 25 Abbildungen von je  $\frac{1}{25}$  Sekunde Dauer und in den zeitlichen Zwischenräumen zwischen diesen einzelnen Bildern im Bereich  $b - c$  ebenfalls 25 einzelne Abbildungen von je  $\frac{1}{25}$  Sekunde Dauer. Es werden also sowohl im Bereich  $a - b$  als auch im Bereich  $c - d$  je 25 einzelne Abbildungen je Sekunde erscheinen, wobei die Abbildungen im Bereich  $a - b$  stets dann auftreten, wenn im Bereich  $c - d$  keine Abbildungen entstehen bzw. umgekehrt. Im Bereich  $b - c$  hingegen erscheint abwechselnd je eine Abbildung  $R_7, S_7, T_7$  der oberen Hälfte  $RS$  des Bildfensters, die durch das Prisma 7 erzeugt wird, bzw. eine Abbildung  $S_6, T_6$  der unteren Hälfte  $ST$  des Bildfensters, die durch das Prisma 6 erzeugt wird, und somit in einer Sekunde insgesamt 50 Abbildungen von je  $\frac{1}{50}$  Sekunde Dauer. Da sich der Film in  $\frac{1}{25}$  Sekunde um eine halbe Filmbildhöhe weiterbewegt, werden während dieser Zeit in jeder Bildfensterhälfte alle Teile jedes einzelnen Filmbildes sichtbar. Wählt man nun bei der Bildzerlegung die Abtastrichtung entgegengesetzt zu der Richtung, in welcher sich die auf der Photokathode entstehenden Abbildungen der einzelnen Filmbilder fort-

bewegen, dann wird während  $\frac{1}{50}$  Sekunde ein ganzes Filmbild abgetastet.

In Abb. 2 wird an Hand einer die einzelnen Phasen der Filmbewegung darstellenden Bilderreihe die Kinematik des Abtastvorganges erläutert, wobei die Bildaufspaltung gemäß Abb. 2 erfolgt und die Bildübertragung nach dem Zeilensprungverfahren durchgeführt wird. Im Interesse einer übersichtlicheren Darstellungsweise ist der Abtastvorgang nur für eine Bildzerlegung mit 16 Zeilen gezeichnet und die durch die Abbildungsoptik erfolgende Seitenverkehrung der Abbildungen nicht berücksichtigt. Am linken Rand der Bilderreihe sind die einzelnen Bewegungsphasen des Films fortlaufend numeriert. In der nächsten Spalte ist von oben nach unten fortschreitend die den einzelnen Bewegungsphasen entsprechende Lage des Filmbildes im Bildfenster dargestellt, wobei als Bildinhalt ein schwarzes Dreieck gezeichnet ist. Der Filmvorschub zwischen den einzelnen im Bilde festgehaltenen Bewegungsphasen beträgt je  $\frac{1}{16}$  der Filmbildhöhe, und es hat sich somit nach Ablauf von 8 Bewegungsphasen das bei Beginn der Abtastbewegung im Bildfenster zur Hälfte sichtbare, schwarz gezeichnete Filmbild um eine Filmbildhöhe weiterbewegt, und es ist an dessen Stelle das nächste Filmbild (punktirt gezeichnet) getreten. Das Filmbild wird auf der Photokathode der Bildfängerröhre abgebildet und dabei die Abbildung durch das Prismensystem 7 um  $\frac{1}{16}$  der Bildhöhe nach oben verschoben, wie dies durch den schräg nach rechts oben weisenden Pfeil symbolisch angedeutet ist. In der nächsten Spalte der Bilderreihe ist das sich jeweils ergebende Abbild des Filmes auf der Photokathode der Sondenröhre dargestellt, wobei der zur Bildzerlegung verwendete Bereich der Photokathode durch eine Linie umrandet ist. Innerhalb dieses Bereichs wird zuerst die oberste Bildzeile zerlegt, hierauf die dritte, fünfte usw. Bildzeile.

Die Lage der jeweils abgetasteten Zeile ist durch einen rechts neben der Abbildung eingezeichneten horizontalen Pfeil angegeben. Um die durch das Zusammenwirken der gleichförmigen Filmbewegung und der durch Kippschwingungen gesteuerten Ablenkbewegung sich ergebende Wirkungsweise des Abtastvorganges besonders deutlich zu machen, ist in der rechten Spalte das Empfangsbild dargestellt, und ein links neben dem Empfangsbild eingezeichneter horizontaler Pfeil kennzeichnet jeweils die Lage der eben übertragenen Zeile. Nimmt man an, daß das Empfangsbild auf dem Fluoreszenzschirm einer Kathodenstrahlröhre sichtbar gemacht wird, dann zeigt der Pfeil die jeweils vom Kathodenstrahl im Augenblick der entsprechenden Bewegungsphase geschriebene Zeile an.

Die Bewegungsphase 0 stellt den Augenblick dar, in welchem die Fernsehübertragung beginnen soll; auf dem Empfangsbild ist der Bildinhalt des Filmbildes noch nicht sichtbar. Der Film bewegt sich durch das Bildfenster allmählich um  $\frac{1}{16}$  seiner Bildhöhe aufwärts und während sich die Abbildung des Filmfensters auf der Photokathode entsprechend der Filmbewegung um ein Stück nach oben ver-



schoben hat, erfolgt in der Richtung von oben nach unten allmählich fortschreitend eine zeilenweise Zerlegung des Bildes. Die Lage der jeweils abgelasteten Zeile verschiebt sich also entgegen der Filmfortbewegungsrichtung. Während der Abtastung der ersten Bildzeile hat sich der Film um ein Stück weiterbewegt. Das Filmbild auf der Photokathode hat sich daher inzwischen etwas nach oben verschoben, so daß nun, wenn die der ersten Bildzeile auf der Photokathode unmittelbar benachbarte nächste Bildzeile zerlegt wird, zwischen den beiden übertragenen Bildzeilen ein Streifen verbleibt, dessen Bildinhalt nicht übertragen wurde. Auf dem zur Bewegungsphase 1 gehörenden Empfangsbild sieht man daher zwischen den einzelnen übertragenen, schwarz eingezeichneten Bildzeilen Streifen ohne Bildinhalt.

Nachdem sich der Film um  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  bzw.  $\frac{1}{2}$  der Bildhöhe weiterbewegt hat, erreicht er die Bewegungsphasen 2, 3 bzw. 4a. Nunmehr ist das ganze Filmbild zeilenweise abgetastet, allerdings wurde nur die Hälfte des Bildinhalts übertragen. Jetzt erfolgt eine Umschaltung des optischen Strahlenganges (Uebergang von Bewegungsphase 4a zu Bewegungsphase 4b), indem das untere Prisma 7 plötzlich abgedeckt und das obere Prisma 6 plötzlich freigegeben wird. Die Abbildung des Filmbildes auf der Photokathode erfolgt nunmehr über den durch das obere Prisma verlaufenden Strahlengang, und die bisher um  $\frac{1}{2}$  Bildhöhe nach oben verschobene Abbildung des Filmbildes auf der Photokathode wird nunmehr um  $\frac{1}{2}$  der Bildhöhe nach unten verschoben. Gleichzeitig mit der Umschaltung der Optik erfolgt senderseitig und empfängerseitig der sogenannte Bildrücklauf, wie dies durch gestrichelte Linien symbolisch angedeutet ist, und hierauf beginnt der nächste Bildzerlegungsvorgang. Die folgenden Bewegungsphasen 5 bis 8 zeigen, wie nacheinander die einzelnen Zeilen des zweiten Zeilenzuges geschrieben werden und wie die Zeilen des zweiten Zeilenzuges genau die Lücken zwischen den Zeilen des ersten Zeilenzuges ausfüllen. Nach einem Vorschub von  $\frac{1}{2}$  der Bildhöhe ist der gesamte Bildinhalt übertragen, und sämtliche Lücken des Empfangsbildes sind ausgefüllt. In diesem Augenblick wird nun die Optik neuerlich umgeschaltet, senderseitig und empfängerseitig erfolgt wieder der sogenannte Bildrücklauf. Aus der Bilderreihe sieht man deutlich, daß die Bewegungsphase 8b (nach Umschaltung der Optik) der Bewegungsphase 0 entspricht, sowie daß die Uebertragung des als schwarzes Dreieck dargestellten Filmbildes beendet ist und die Uebertragung des punktiert eingezeichneten nächsten Filmbildes nunmehr beginnen kann.

### Entstehung des Trapezfehlers.

Bei der in Abb. 1a dargestellten Anordnung schließen infolge der durch die Bildaufspaltungsprismen 6 und 7 erfolgten Ablenkung des Strahlen-

Abb. 2: Bilderfolge zur Kinematik des Abtastvorganges bei abwechselnder Abdeckung der beiden Bildaufspaltungsprismen.

ganges die optischen Achsen  $a_6$  und  $a_7$  den Winkel  $\alpha$  ein (vgl. Abb. 3). In den senkrecht zu den zugehörigen optischen Achsen stehenden Ebenen  $E_6$  und  $E_7$  wurde das Bildfenster als Rechteck vergrößert abgebildet. Diese Ebenen  $E_6$  und  $E_7$  liegen jedoch nicht genau in der Ebene der Photokathode  $E_{phot}$ , sondern schließen mit dieser den Winkel  $\frac{\alpha}{2}$  ein. Auf der Photokathode entstehen daher trapezförmig verzeichnete Abbildungen bzw. Teilbilder gemäß Abb. 3 b. Im Empfangsbild überlagern sich die beiden trapezförmig verzeichneten Teilbilder, wie in Abb. 3 c (der besseren Deutlichkeit halber übertrieben) dargestellt

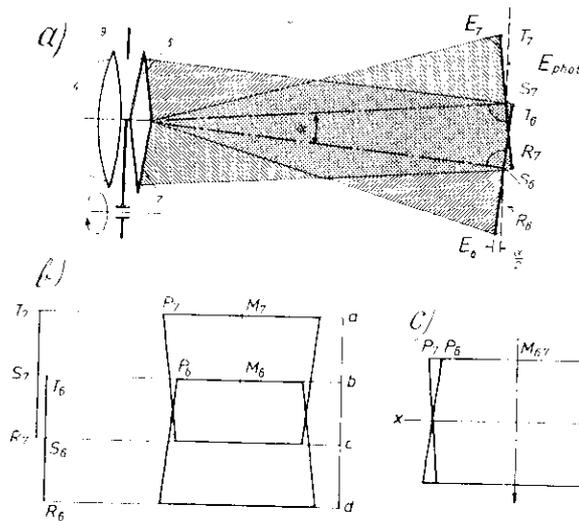


Abb. 3: Entstehung des Trapezfehlers und der dadurch bedingten Unschärfe. a) Strahlengang zwischen Abbildungsoptik und Photokathode; b) Überlagerung der beiden Teilbilder auf der Photokathode; c) Überlagerung der beiden Teilbilder im Empfangsbild.

ist. In den Ecken des Empfangsbildes zeigt sich eine gewisse Unschärfe, da z. B. ein Punkt  $P$  in den sich periodisch abwechselnden Teilbildern an zwei verschiedenen Stellen des Bildfensters ( $P_6$  bzw.  $P_7$ ) abgebildet wird. Diese Unschärfe nimmt gegen die Bildmitte zu ab und verschwindet entlang der Achsen  $x$  und  $y$  vollständig; in den Abb. 3b und 3c ist gezeigt, daß sich die Abbildungen  $M_6$  und  $M_7$  des Punktes  $M$  im Empfangsbild genau überlagern. Der Trapezfehler läßt sich vermeiden, wenn man durch entsprechende optische Maßnahmen dafür Sorge trägt, daß die Achsen  $a_6$  und  $a_7$  der gegeneinander versetzten Abbildungen die Photokathode unter einem rechten Winkel schneiden. Derartige Bildaufspaltungsoptiken werden später im Zusammenhang mit den Abbildungen 6—8 beschrieben.

Die durch den Trapezfehler bedingte Unschärfe kann ferner durch elektrische Mittel beseitigt werden, indem man während des Abtastvorganges die Amplitude der Ablenkung in Zeilenrichtung derart moduliert, daß eine mit der trapezförmig verzeichneten optischen Abbildung übereinstimmende Fläche der Photokathode abgetastet wird. Bei zwei auf-

einanderfolgenden Teilbildern müßte daher eine entgegengesetzte Trapezrastermodulation erfolgen (8).

### Unterdrückung der Nebenbilder.

Wie bereits erläutert wurde (vgl. Abb. 1a u. 1b), entstehen auf der Photokathode abwechselnd oberhalb und unterhalb des abgetasteten Bereiches Nebenbilder. Der von diesen Stellen der Photokathode in periodischem Rhythmus ausgehende Elektronenstrom kann gegebenenfalls gewisse Verzerrungen oder Unschärfe des übertragenen Bildes verursachen, vermutlich infolge von periodisch schwankenden Raum-

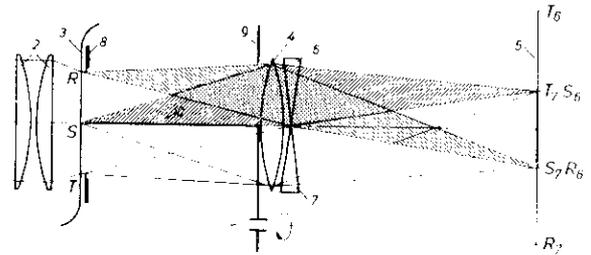


Abb. 4: Unterdrückung der Nebenbilder mittels Trennwand.

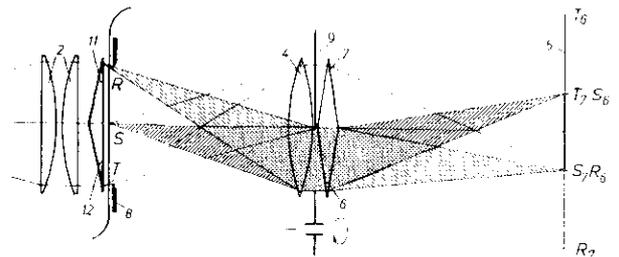


Abb. 5: Unterdrückung der Nebenbilder mittels Prisma am Bildfenster.

ladungswolken. Es wurde deshalb vorgeschlagen, diese Nebenbilder zu unterdrücken (8). Bei Anordnung einer lichtundurchlässigen Trennwand 10 (Abb. 4) kann das Licht der oberen Hälfte des Bildfensters 8 nur durch das Prisma 6 gehen und das Licht der unteren Hälfte des Bildfensters 8 nur durch das Prisma 7. Werden gemäß Abb. 5 vor dem Bildfenster 8 im Strahlengang zwei Prismen 11 und 12 angeordnet, dann gelangt das gesamte Licht, das durch die obere Hälfte des Bildfensters fällt, nur auf das Prisma 7, dagegen das gesamte Licht, das durch die untere Hälfte des Bildfensters fällt, nur auf das Prisma 6.

### Lage der Bildsonde.

Bei der Verwendung durchscheinender Photokathoden können die Lichtquelle (also der durchleuchtete Film) und die Sonde auf verschiedenen Seiten der Photokathode liegen. Nicht durchscheinende Photokathoden sind jedoch bei Verwendung metallischer Unterlagen viel höher belastbar als durchscheinende Photokathoden, so daß man erstere vorzieht und den die Sondenöffnung tragenden „Finger“ von der Lichtquelle aus gesehen vor der Photokathode anordnet (10). Der Finger enthält

den vielstufigen Sekundäremissionsverstärker (11) und besitzt daher eine gewisse Dicke. Um eine Schattenwirkung auf die Photokathode zu vermeiden, ist es günstig, wenn sich der Finger möglichst nahe dem der Optik zugewendeten Ende der Röhre befindet, also nahe der Aperturblende der Abbildungsoptik. Dann entsteht zwar kein störender Schatten, aber es wird immerhin durch den Finger ein Teil der Objektivöffnung abgedeckt und dadurch die wirksame Oeffnung in unerwünschter Weise verringert.

festgelegt. Aus elektronenoptischen Gründen kann man jedoch über die Bildgröße auf der Kathode der Fernrohröhre nicht frei verfügen, und daher kommt es vor, daß Objektive mit langer Brennweite durch die in ihrer Größe beschränkten Prismen nur zum

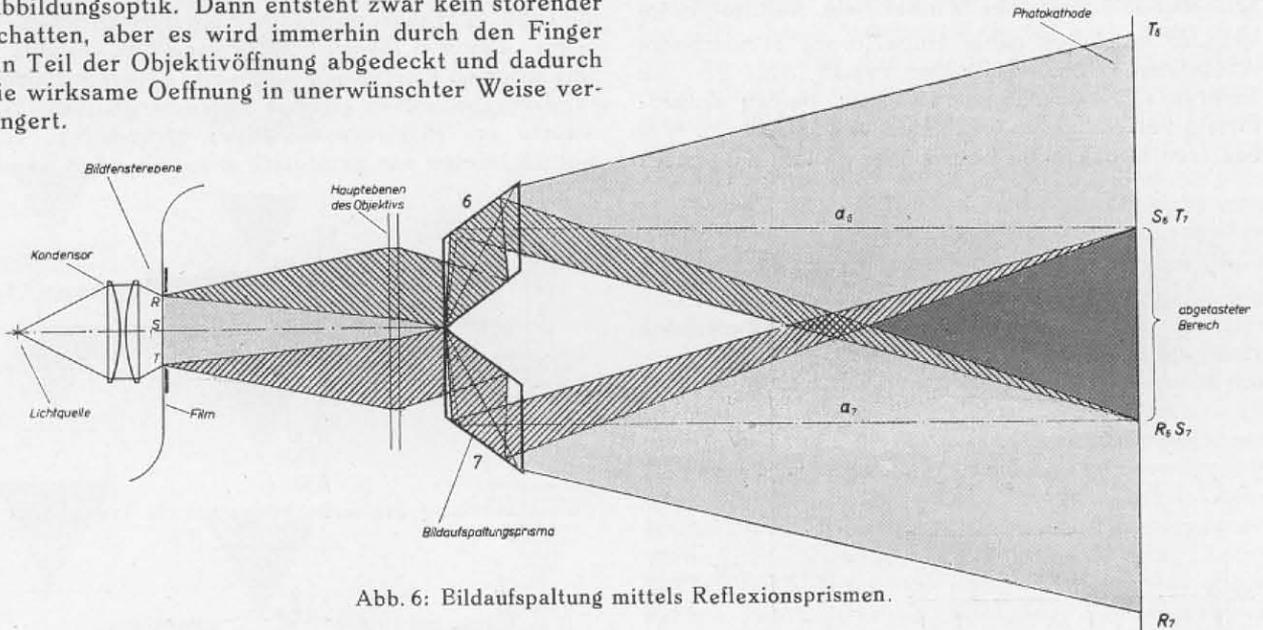


Abb. 6: Bildaufspaltung mittels Reflexionsprismen.

Dieser Nachteil wird vermieden, wenn man die Bildaufspaltung (vgl. Abb. 6) mittels Reflexionsprismen 6 und 7 derart vornimmt\*, daß die optischen Achsen  $a_6$  und  $a_7$  der beiden Teilstrahlengänge nach dem Durchlaufen der Aufspaltungsoptik weiter voneinander entfernt sind als vorher (12). Der Finger mit der Bildsonde kann dann leicht zwischen den beiden in Abb. 6 durch Tönung angedeuteten Teilstrahlengängen angeordnet werden (vgl. auch Abb. 7).

Teil ausgenutzt werden, was einen Lichtverlust zur Folge hat. Um diese Beschränkung der Prismengröße mit Rücksicht auf die Abmessung der Photokathode zu vermeiden und um größere Prismen und damit größere Objektivöffnungen verwenden zu kön-

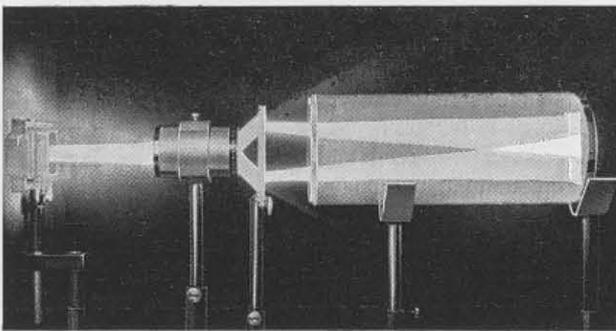


Abb. 7: Strahlengang durch Aufspaltungsoptik und Bildsondenröhre.

### Ausführung der Aufspaltungsoptik.

Wenn die Achsen  $a_6$  und  $a_7$  zueinander parallel sind, dann bewirken die Prismen 6 und 7 eine Parallelverschiebung der Abbildungen. Wird die Parallelverschiebung auf beide Prismen gleichmäßig verteilt, dann beträgt sie je Prisma genau ein Viertel der Bildhöhe und damit ist die Höhe des Einzelprismas

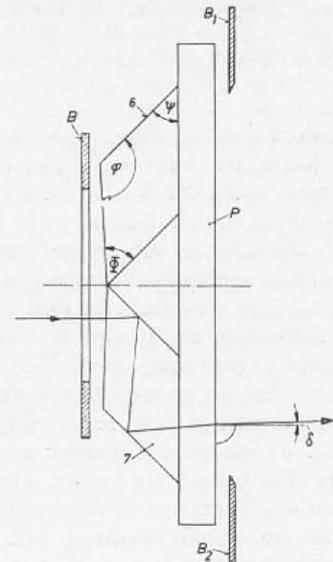


Abb. 8: Ausführungsform einer Aufspaltungsoptik nach Abb. 6.

nen, werden die Strahleintritts- und Strahlaustrittsflächen der Prismen nicht planparallel ausgebildet, sondern diese sind gemäß Abb. 8 zueinander derart\*)

\*) Vorgeschlagen von W. Büniger und E. Kosche.

\*) Vorgeschlagen von W. Büniger und E. Kosche.

geneigt, daß ein Strahl, der senkrecht auf die Eintrittsfläche des Prismas auftrifft, die Austrittsfläche senkrecht verläßt (13). Dazu muß (vgl. Abb. 8) zwischen den Kantenwinkeln des Prismas die Beziehung bestehen:

$$\mu' \cdot 2\phi + \varphi = 180^\circ$$

Der Ablenkwinkel  $\delta$  wird dann

$$\delta = 2(180^\circ - \phi - \varphi).$$

Ein solches Prisma ruft nicht nur eine Bildhebung durch Parallelverschiebung, sondern auch eine Winkelablenkung der Strahlen hervor (vgl. in Abb. 8 die Ablenkung eines achsparallelen Lichtstrahls um den Winkel  $\delta$ ). Infolge der Winkelablenkung der Strahlengänge tritt theoretisch ein Trapezfehler auf; bei kleinen Werten des Winkels  $\delta$  liegt jedoch die durch den Trapezfehler bedingte Unschärfe unterhalb des Auflösungsvermögens des Fernsehbildes und stört daher praktisch überhaupt nicht.

Es ist dabei wichtig, daß die durch die beiden Prismen 6 und 7 erzeugten Abbildungen keine Seitenverschiebungen gegeneinander haben und auf Bruchteile einer Zeilenbreite genau justiert sind. Außerdem ist es notwendig, daß die beiden Bilder nicht gegeneinander verdreht sind, weil man sonst auf dem Empfänger wohl einzelne Teile des Bildes scharf einstellen kann, es aber nicht gelingt, das ganze Bild gleichmäßig scharf zu erhalten. Die Verdrehungsfreiheit der optischen Abbildung kann z. B. dadurch erzielt werden, daß beide Prismen fest auf eine planparallele Glasplatte (vgl.  $P$  in Abb. 8) aufgekittet sind, wobei die Prismenkanten sich berühren.

### Ausleuchtung des Bildfeldes.

Es bietet erhebliche Schwierigkeiten, eine hinreichend gleichmäßige Ausleuchtung der Photokathode zu erzielen, denn schon Abweichungen von wenigen Prozenten, die in der normalen Kinoprojektionstechnik belanglos sind, verursachen bei Fernsehübertragungen nach dem Zeilensprungverfahren ein stark störendes „Zwischenzeilenflimmern“. Dies rührt daher, daß im Empfangsbild Zeilen räumlich nebeneinanderliegen (beispielsweise Zeile 1 und 2), die senderseitig zu ganz verschiedenen Zeiten und daher an ganz verschiedenen Stellen des Bildfensters über verschiedene Lichtwege abgetastet werden. Aus Abb. 2 läßt sich ersehen, daß Zeile 2 während des ersten Zeilenzuges etwa in der Mitte des Bildfensters, hingegen Zeile 1 während des zweiten Zeilenzuges nahe dem oberen Rand des Bildfensters abgetastet wird, jede über ein anderes Prisma der Aufspaltungsoptik. Das bedeutet aber praktisch, daß erstens das ganze Bildfenster völlig gleichmäßig ausgeleuchtet werden muß und zweitens, daß über jeden der beiden Strahlengänge die abgetastete Zone der Photokathode gleich hell beleuchtet werden muß.

Die Bedeutung der gleichmäßigen Ausleuchtung des Bildfensters sei an Hand der Abb. 9 erläutert. Die Kurve  $e$  zeigt die Beleuchtungsstärke (Helligkeit) an den verschiedenen Stellen des Bildfensters  $RST$ . Infolge des durch Unvollkommenheit des Beleuch-

tungssystems (Kondensoroptik) bedingten Helligkeitsabfalles zum Rande ist an den Grenzen  $R$  und  $T$  des Bildfensters nur eine kleinere Helligkeit als in der Bildfenstermitte  $S$ . Auch die Abbildungsoptik 4 verursacht einen Helligkeitsabfall am Rande der Abbildung (Photokathode), da die Strahlenverteilung nicht dem Lambertischen Gesetz entspricht. Es wird daher der an den Rändern des Bildfensters vorhandene Helligkeitsabfall in der Abbildung des Bildfensters auf der Photokathode noch verstärkt sein.

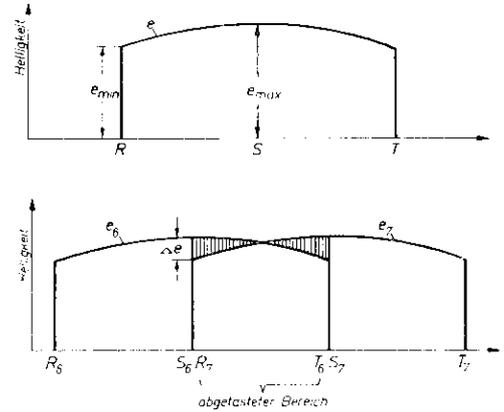


Abb. 9: Die Helligkeitsverteilung am Bildfenster und auf der Photokathode.

Infolge der Bildaufspaltung und Ueberlagerung der beiden Abbildungen  $R_0, S_0, T_0$  und  $R_1, S_1, T_1$  auf der Photokathode herrscht auf dieser abwechselnd eine Helligkeitsverteilung gemäß Kurve  $e_0$  bzw.  $e_1$ . In den Randzonen des abgetasteten Bereiches herrscht bei zwei aufeinander folgenden Abtastungen einmal die Helligkeit  $e_{min}$ , das andere Mal die Helligkeit  $e_{max}$ . Während bei üblichen Kinoprojektoren im Bildfenster ein Helligkeitsunterschied  $\Delta e = e_{max} - e_{min}$  von 20% zulässig ist, muß bei der fernsehmäßigen Filmabtastung zur Vermeidung des Zwischenzeilenflimmerns  $\Delta e$  kleiner als 3% sein! Dies erfordert eine sehr sorgfältige Ausführung des Beleuchtungssystems. Um den restlichen unvermeidlichen Helligkeitsunterschied etwas ausgleichen zu können, bringt man in der Nähe der Strahlaustrittsflächen der Bildaufspaltungsprismen justierbare Blenden  $B_0$  und  $B_1$  (vgl. Abb. 8) an, die einzeln in vertikaler Richtung verschoben werden können und einen Teil der von der (belleren) Bildfenstermitte her einfallenden Lichtstrahlen abdecken.

Es ist ferner außerordentlich schwierig, das optische System so genau zu zentrieren, daß der Photokathode über beide Strahlengänge der gleiche Lichtstrom zugeführt wird; daher ordnet man zweckmäßigerweise vor den Bildaufspaltungsprismen 6 und 7 eine verschiebbare Aperturblende  $B$  an, welche eine kreisrunde Öffnung besitzt. Diese Blende  $B$  wird bei der erstmaligen Inbetriebnahme der Filmabtasteinrichtung so lange in vertikaler Richtung verschoben, und dadurch die Aufteilung des Lichtstromes auf die Prismen 6 und 7 so lange geändert, bis das Filmbild über beide Strahlengänge gleich hell auf der Photokathode abgebildet wird.

## Lage der Aufspaltungsoptik.

Bei den bisher betrachteten Anordnungen (Abb. 1 und 6) liegt die Aufspaltungsoptik hinter der Abbildungsoptik, so daß für den Strahlengang über das Prisma 6 nur der obere Teil, für den Strahlengang über das Prisma 7 nur der untere Teil der Abbildungsoptik 4 benutzt wird. Die Linsen 4 werden also nach oben und nach unten zu jeweils nur von der Mitte bis zum Rand verwendet, wobei die Mitte des die Linse durchsetzenden Strahlenganges nicht mit der Linsenmitte übereinstimmt. Wenn zur Erzielung von lichtstarken Abbildungen eine Linse mit sehr großer Oeffnung verwendet wird, dann verlaufen die optischen Wege der ausnutzbaren Lichtstrahlen durch das Objektiv sehr ungünstig in bezug

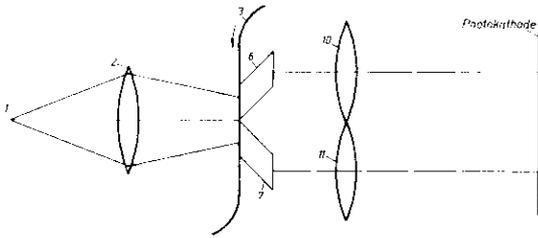


Abb. 10: Anordnung der Aufspaltungsoptik vor der Abbildungsoptik.

auf die Linsenachse, und da das Objektiv in den Randzonen im allgemeinen weniger gut korrigiert ist als in der Mittelzone, treten die bei Linsen großer Oeffnung üblicherweise sich zeigenden optischen Aberrationen besonders stark in Erscheinung. Dies hat einen Verlust an Bildauflösung zur Folge und kann weiterhin zu Wirkungen Anlaß geben, die in der üblichen optischen Praxis unbedeutend sind, aber von erheblicher Wichtigkeit werden, wenn mehrere Abbildungen desselben Objektes einander überlagert werden sollen.

Diese Schwierigkeiten kann man vermeiden, wenn man (13) die Bildaufspaltungsoptik unmittelbar am Filmfenster anordnet und dabei nach Abb. 10 für jeden Teilstrahlengang eine eigene Abbildungsoptik 14 bzw. 24 vorsieht. Während bei den Anordnungen nach Abb. 1 und 6 die Mitte der die Prismen 6 und 7 durchsetzenden Strahlengänge nicht mit der Mitte der Linse 4 zusammenfällt, geht bei der in Abb. 10 dargestellten Anordnung die Mitte der die Prismen 6 bzw. 7 durchsetzenden Strahlengänge durch die Mitte der Linsen 14 bzw. 24. Es werden also die optischen Qualitäten der Abbildungsoptik viel besser ausgenützt. Andererseits ergibt diese Lage der Abbildungsoptik auch erhebliche Schwierigkeiten, weil es praktisch kaum möglich ist, die Aufspaltungsprismen am Bildfenster so nahe dem Film anzuordnen, wie dies aus optischen Gründen erforderlich wäre. Ferner verschmutzen die Prismen während der Bildsendung leicht durch den unvermeidlichen Filmstaub; diese Staubteilchen werden durch die Abbildungsoptik auf der Photokathode abgebildet, so daß ein fleckiges Empfangsbild entstehen

kann. Es ist daher im allgemeinen doch günstiger, die Aufspaltungsoptik in der Nähe der Aperturblende der Abbildungsoptik, also wie bei den Abb. 1 und 6 anzuordnen, da dann diese Fehler nicht auftreten können.

## Die Lage der Abbildungen auf der Photokathode.

Beim sprunghaften optischen Ausgleich müssen die zwei Abbildungen auf der Photokathode um genau eine halbe Bildhöhe gegeneinander versetzt sein. Bekanntlich ist aber jeder Film mehr oder weniger geschrumpft (bei Kinofilmen zulässig 1,5 %, im Mittel 0,5 %), und die durch die Filmschrumpfung bewirkte Verkürzung eines Filmbildes kann das saubere Ineinanderkämen der beiden Zeilenzüge im Empfangsbild wesentlich beeinträchtigen\*, da sich dann die von den beiden Strahlengängen im „abgetasteten Bereich“ der Photokathode erzeugten Abbildungen nicht genau decken. Der Ausgleich der Filmschrumpfung erfolgt, da ein elektrischer Ausgleich (indem z. B. durch rechteckförmige Impulse die Lage der abgetasteten Zone von Teilbild zu Teilbild periodisch geändert wird) (14) sich nur schwer mit der erforderlichen Genauigkeit herstellen läßt, am besten auf optisch-mechanische Weise (15):

1. Neigung bzw. zusätzliche Ablenkung des Strahlenganges. Hierzu wird entweder ein Bildaufspaltungsprisma etwas gekippt oder in einen der beiden Teilstrahlengänge ist ein verstellbares optisches Element eingeschaltet, beispielsweise eine planparallele Glasplatte und durch Verdrehen dieser Glasplatte werden die sie durchsetzenden Strahlen parallel verschoben.

2. Die auf die Zerlegereinrichtung projizierten Bilder werden in stets konstanter Größe abgebildet. Das optische System, welches den Film auf der Zerlegervorrichtung abbildet, wird aus zwei oder mehreren Teilsystemen zusammengesetzt, wobei die Verstellvorrichtungen für die achsiale Verschiebung miteinander derart gekoppelt sind, daß der Abbildungsmaßstab bei dauernder Innehaltung der Scharfabbildungsbedingungen kontinuierlich veränderlich ist (Transfokator\*\*).

3. Durch Verändern des Abstandes bzw. der optischen Weglänge zwischen Aufspaltungsoptik und Photokathode kann die Ueberlappung der Teilbilder verändert werden, wenn zur Bildaufspaltung eine Optik verwendet wird, bei der die Achsen der beiden Teilstrahlengänge nicht parallel sind, sondern konvergieren oder divergieren (vgl. Abb. 7 und 8).

Die Anwendung einer während der Bildsendung nachstellbaren Filmschrumpfungsausgleichvorrichtung ermöglicht es, Filme verschiedener Schrumpfung fernsehmäßig zu übertragen.

\*) Vgl. K. Thöm „Neuer mech. Filmabtaster“, Fernseh Hausmitt. 1, S. 27.

\*\*) Vgl. Fernseh Hausmitt. 1, 1939, S. 24, Abb. 1.

## Die Lage der beweglichen Blende im Lichtweg.

Jedem der beiden optischen Strahlengänge ist für jede Zone der Photokathode ein anderes Bildfeld (im Filmfenster) zugeordnet. Während des ganzen Abtastvorganges muß dafür gesorgt werden, daß auf die jeweils abgetastete Stelle der Photokathode nur eine einzige Stelle des Filmbildes abgebildet wird. Bei den bisher betrachteten Abtasteinrichtungen wird zu diesem Zweck stets nur ein Strahlengang frei-

und Bezeichnungswise ist in Uebereinstimmung mit der Bilderfolge der Abb. 2 gewählt. Ein Vergleich mit dieser zeigt, daß der zeilenweise Aufbau des Empfangsbildes bei beiden Abtastverfahren in ganz gleicher Weise erfolgt; am Empfänger läßt sich somit nicht erkennen, ob senderseitig mit Abdeckung der Aufspaltungsoptik oder Abdeckung des Filmfensters abgetastet wird.

Diese zonenweise Abdeckung\*) des Bildfensters bzw. des Filmbildes ergibt gegenüber der früher be-

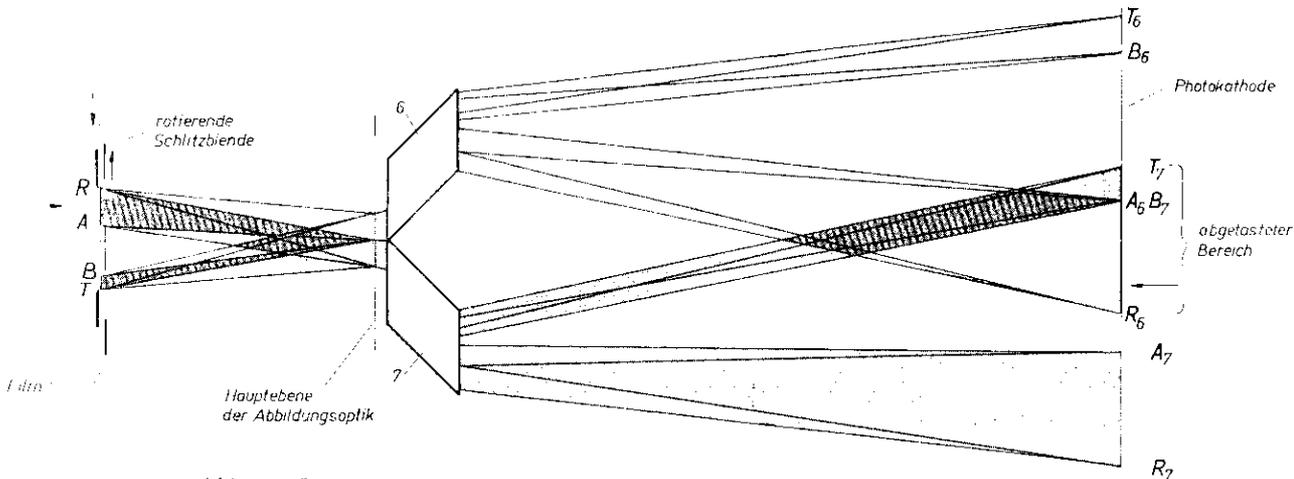


Abb. 11: Optische Bildaufspaltung bei zonenweiser Abdeckung des Bildfensters.

Es bezeichnen 6 und 7 doppeltreflektierende Prismen zur Bildaufspaltung, RS die Kanten des Bildfensters, A und B die Kanten der rotierenden Schlitzblende, der Pfeil die zerlegte Bildzeile.

gegeben, indem durch eine als Aperturblende wirkende bewegliche Blende jeweils nur eines der beiden Aufspaltungsprismen freigegeben, das andere abgedeckt wird.

Dasselbe Ziel läßt sich aber auch erreichen, wenn man beide Strahlengänge wirksam läßt, aber durch eine als Gesichtsfeldblende wirkende bewegliche Blende einen entsprechenden Teil des Bildfensters abdeckt. Diese bewegliche Blende muß sich in Richtung der Abtastbewegung und mit gleicher Geschwindigkeit wie diese (also entgegen der Filmbewegungsrichtung) über das Filmfenster bewegen. In Abbildung 11 ist für eine derartige Blendenanordnung schematisch der Strahlengang zwischen Bildfenster  $RST$  und der Photokathode gezeichnet. Durch eine unmittelbar am Bildfenster angeordnete rotierende Schlitzblende wird stets die Hälfte des Bildfensters abgedeckt, während die nicht abgedeckten Teile über Abbildungsoptik und Bildaufspaltungsprismen auf der Photokathode abgebildet werden. In der gezeichneten Blendenstellung entstehen also gleichzeitig vom Bildteil  $RA$  die Abbildungen  $R_6, A_6$  und  $R_7, A_7$  und vom Bildteil  $TB$  die Abbildungen  $T_6, B_6$  und  $T_7, B_7$ . Man sieht deutlich, daß an jeder Stelle des abgetasteten Bereichs der Photokathode stets nur eine einzige Abbildung vorhanden ist.

Abbildung 12 zeigt in einer Bilderfolge die Kinematik des Abtastvorganges bei zonenweiser Ausblendung des Filmfensters. Die Darstellungsweise

beschriebenen Abdeckung der Aufspaltungsprismen den Vorteil einer wesentlich langsameren Blendenbewegung. Werden nämlich die einzelnen Bildaufspaltungsprismen abwechselnd durch die Blende abgedeckt bzw. freigegeben, dann muß diese Umschaltung des optischen Strahlenganges während der kurzen Rücklaufzeiten erfolgen. Die steuernde Kante des Blendenschlitzes darf erst nach Beginn des Rücklaufs vor die Prismenfläche gelangen, muß sie aber schon vor Beendigung des Rücklaufes wieder verlassen. Da die Abmessungen der Prismenfläche mit Rücksicht auf einen günstigen optischen Wirkungsgrad möglichst groß gewählt werden, ergibt sich eine sehr hohe Umfangsgeschwindigkeit der Blenden-scheibe. Bei der zonenweisen Abdeckung hingegen bewegt sich der Blendenschlitz nur mit Filmgeschwindigkeit über das Bildfenster.

Ordnet man die rotierende Blende auf der Seite des Bildfensters an, welche der Lichtquelle zugewendet ist (16), dann wird jeder Teil des Filmes nur verhältnismäßig kurze Zeit (entsprechend der Breite der Blendenschlitze) durchleuchtet und damit die thermische Beanspruchung des Filmes wesentlich verringert.

An sich würde es genügen, wenn die rotierende Blende fast das ganze Filmbild abdeckt und nur eine schmale Zone freigibt, welche die jeweils zur Uebertragung bestimmte Zeile des Filmbildes enthält. Bei

\*) Vorgeschlagen von W. Büniger und E. Kosche.

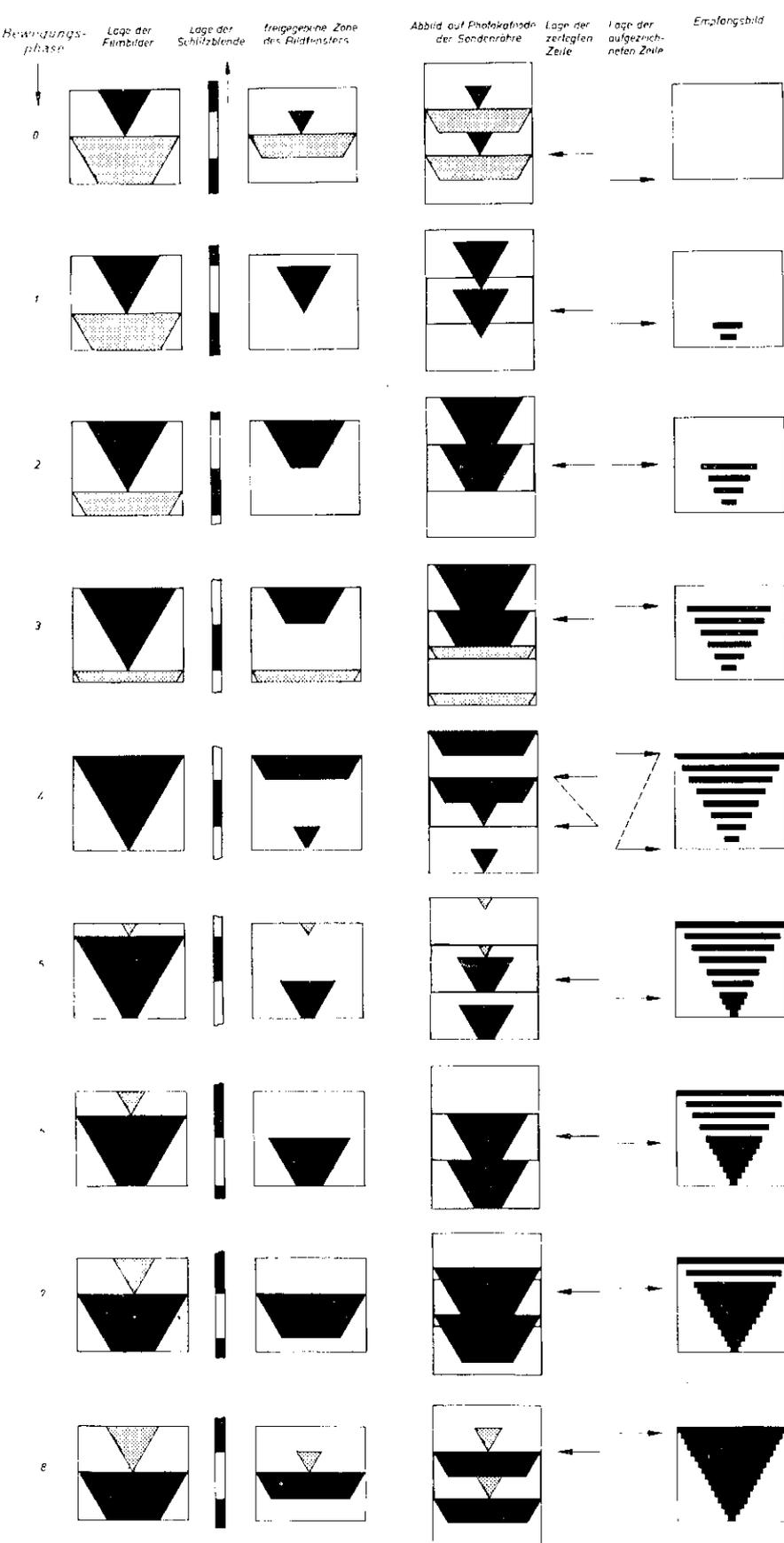


Abb. 12: Bilderfolge für die Filmabtastung bei zonenweiser Abdeckung des Bildfensters.

der praktischen Ausführung macht man den Blendenschlitz jedoch breiter; dadurch wird die Einstellung der richtigen Phasenlage dieser Blendenscheibe weniger kritisch.

### Besondere Anwendungsgebiete.

Bei der Bildsondenröhre läßt sich die Blendenöffnung mechanisch mit fast beliebiger Feinheit herstellen. Die Mindestgröße der Blende ist infolgedessen praktisch nur durch den Schrot begrenzt, da natürlich bei einer Verkleinerung der Blendenöffnung auch die Zahl der in den Sekundäremissionsverstärker gelangenden Elektronen geringer wird. Bei den anderen eingangs genannten elektrischen Verfahren zur Filmabtastung ist das Auflösungsvermögen von dem Durchmesser des Kathodenstrahls an der Auftreffstelle abhängig. Da dieser Durchmesser sich bisher nicht unter ein gewisses Mindestmaß herabsetzen läßt, ergeben sich bei der Uebertragung von Bildern hoher Zeilenzahl große Schwierigkeiten. Diese fallen jedoch aus den am Beginn dieses Abschnittes geschilderten Gründen bei Benutzung einer Bildsondenröhre fort. Die Bildsondenröhre eignet sich somit hervorragend zur Uebertragung hochzeitiger Fernsehbilder, und es ist bereits gelungen, Bilder mit einem 1000zeiligen Raster bei guter Bildgeometrie zu übertragen. Bei diesen hohen Zeilenzahlen ist die Frage der Gradation besonders wichtig und die Bildsondenröhre ist in dieser Hinsicht im allgemeinen günstiger als das Ikonoskop. Die am Ausgang der Bildsondenröhre abgenommenen Bildsignale enthalten im Gegensatz zum Ikonoskop die Gleichstromkomponente, d. h. jede Signalamplitude entspricht einem bestimmten Helligkeitswert und sie sind frei von Störsignalen.

Auch für die Uebertragung von farbigen Bildern (Farbfilm) ist die Bildsondenröhre geeignet (17), (18). Infolge des Fehlens jeglicher Speicherwirkung wird bei der Bildzerlegung nur der Helligkeitswert übertragen, der auf dem jeweils zerlegten Flächenelement im Augenblick vorhanden ist. Der über-

tragene Helligkeitswert ist also vollkommen unabhängig davon, welche Helligkeit das Flächenelement unmittelbar vor der Abtastung besaß. Es lassen sich daher auf der Photokathode nacheinander die den einzelnen Farbkomponenten entsprechenden Farbauszüge des zu übertragenden Farbfilmbildes abbilden, ohne daß eine gegenseitige störende Beeinflussung oder Verfälschung der einzelnen Helligkeitswerte erfolgt.

### Zusammenfassung.

Ausgehend von einer Betrachtung der verschiedenen möglichen Formen und Anordnungen der optischen Elemente, werden die Vorteile und Nachteile der einzelnen Bauformen erörtert. Besonders günstig ist die Bildaufspaltung mittels doppelt reflektierender Prismen, die sich möglichst nahe der Aperturblende der Abbildungsoptik befinden sollen. Die abwechselnde Ausblendung der beiden Strahlengänge erfolgt vorteilhafterweise durch zonenweise Abdeckung des Bildfensters mittels einer rotierenden Schlitzblende. Es ist notwendig, die durch Filmschrumpfung hervorgerufene Längenänderung der Filmbilder optisch zu kompensieren.

### Schrifttum.

- (1) P. T. Farnsworth, „An Electrical Scanning System for Television“, Radio Craft, 1930, S. 346.
- (2) P. T. Farnsworth, „Television by Electron Image Scanning“, Journal Franklin Inst., Okt. 1931, S. 411.
- (3) W. Hartmann „Die Bildsondenröhre“, Fernseh Hausmitt. 1, 1939, S. 130.
- (4) C. C. Larson und B. C. Gardner, „The Image Dissector“, Electronics XII, Oktober 1939, S. 24.
- (5) Joh. Schunaek „Die Fernsehaufnahmegäte der EIAR in Rom“, Fernseh Hausmitt. 1, 1939, S. 102.
- (6) Joh. Schunaek „Ueber Filmabtaster im Fernsehbetrieb“, Fernseh Hausmitt. 2, 1941, S. 72.
- (7) A. G. Tensen, Film Scanner for Use in Television Transmission Tests, Proceedings of the IRE 29, 1941, S. 243.
- (8) Brit. Patent 499 755.
- (9) Brit. Ann. 2660/38.
- (10) USA Patent 1 970 036.
- (11) Oest. Patent 152 734.
- (12) Ital. Patent 356 064.
- (13) Ital. Patent 359 988.
- (14) Brit. Patent 510 530.
- (15) K. Thöm, „Neuer mechanischer Filmabtaster“, Fernseh Hausmitt. 1, 1939, S. 27.
- (16) Oest. Patent 157 074.
- (17) Oest. Patent 160 515.
- (18) Ital. Patent 376 615.
- (19) „Color Television demonstrated by CBS Engineers“ Electronics, Oktober 1940, S. 33.

## Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre für trägerfrequente und niederfrequente Abtastung.

Von Kurt Brückersteinkuhl.

(Eingegangen am 15. Mai 1941)

**Inhalt:** Beschreibung des grundsätzlichen Aufbaus von Lichtstrahlabastern mit Braunscher Röhre für trägerfrequente und niederfrequente Abtastung. Einige Fragen, die für die Entwicklung von besonderer Bedeutung waren, werden ausführlich erörtert und Vor- und Nachteile der beiden Abtastverfahren einander gegenüber gestellt. Berechnung der günstigsten Dimensionierung von Kompensationsstufen. Beschreibung eines neuen Aufbaus von Konzentrations- und Ablensystem Braunscher Röhren, sowie Beschreibung eines Nachleuchtprüfgerätes und einer Lichtstrahlabtast-Apparatur.

### 1. Einleitung \*)

Für die Verwendung in Braunschen Röhren, die auf der Fernsehsendeseite als Lichtstrahlabtast-röhren betrieben werden, benötigt man grundsätzlich Leuchtstoffe, deren Nachleuchtzeit kleiner ist als die Bildpunktzeit. Das bedeutet z. B., daß bei

einem 441-Zeilen-Bild die Zeitkonstante des Nachleuchtens kleiner sein muß als  $2,5 \cdot 10^{-7}$  sec. Diese Forderung hat sich bisher für keinen der vielfach untersuchten Leuchtstoffe erfüllen lassen. Man ist daher gezwungen, beim Betrieb von Lichtstrahl-abtast-röhren von Zusatzverfahren Gebrauch zu machen, die den Einfluß des Nachleuchtens auszu-schalten oder zu kompensieren gestatten. Ein Ver-fahren zur Ausschaltung des Nachleuchtens ist die Modulation des Kathodenstrahles der Braunschen

\*) Vgl. K. Brückersteinkuhl, „Ueber das Nachleuchten von Phosphoren und seine Bedeutung für den Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre“, Fernseh Hausmitt. 1 (1939), 179.

Röhre, also auch des zur Abtastung benutzten Lichtstrahles mit einer oberhalb der Bildfrequenzen liegenden Trägerfrequenz. Dieses Verfahren wird als trägerfrequente Abtastung bezeichnet. Bei den Kompensationsverfahren verläuft der Abtastvorgang normal ohne Einführung einer Trägerfrequenz; und in einer hinter der Photozelle liegenden Verstärkerstufe wird eine der Nachleuchtspannung entgegenwirkende Hilfsspannung erzeugt. Wegen des angenähert exponentiellen Charakters der Nachleuchtcurve kann zur Erzeugung einer solchen Hilfsspannung ein Widerstands-Kapazitätsglied verwendet werden. Da dieses Verfahren als nicht-trägerfrequentes Verfahren die unmittelbare Uebertragung niedriger Frequenzen in sich schließt, wird es als niederfrequente Abtastung bezeichnet. Im folgenden sollen die beiden Verfahren näher beschrieben und einige Fragen, die für die Entwicklung von besonderer Bedeutung waren, erörtert werden. Vor- und Nachteile beider Verfahren werden im Zusammenhang hiermit dargestellt.

## 2. Trägerfrequente Abtastung.

Der Beschreibung der beiden Verfahren soll das Prinzipschema eines Lichtstrahlabtasters mit Braunscher Röhre nach Abb. 1 zu Grunde gelegt werden. Neben der Braunschen Röhre sind in üblicher Weise ein Bild- und Zeilenkippergerät mit den dazu gehörigen Netzgeräten, ein Netzgerät zur magnetischen Konzentration sowie ein Hochspannungsnetzgerät angeordnet. Bild- und Zeilenkippergerät werden durch entsprechende Zeichenfolgen vom

rade Zahl von Verstärkerstufen. Die zwischen Auslastgerät und Wehneltzylinder liegende Verbindung ist kurz und kapazitätsarm, so daß die Auslastzeichen dem Wehneltzylinder unverzerrt zugeführt werden. Bei der trägerfrequenten Abtastung ist der Wehneltzylinder außerdem noch mit einem Trägergenerator zur Kathodenstrahl- und Lichtmodulation verbunden. Auslastgerät und Trägergenerator müssen derart an den Wehneltzylinder angekoppelt sein, daß eine gegenseitige Beeinflussung und Störung ausgeschlossen ist. Der Trägergenerator besteht zweckmäßig aus einer Steuer- und einer Endstufe und liefert maximal einige Hundert Volt Spannung hoher Frequenz; eine so hohe Spannung ist erforderlich, um die Erregung des Leuchtschirms voll durchzusteuern. Die Auslastspannung, die nach Abb. 1 direkt zwischen Wehneltzylinder und Kathode der Braunschen Röhre angelegt wird, könnte bei trägerfrequenter Abtastung auch der Endstufe des Trägergenerators zugeführt werden; diese Schaltungsart führt jedoch zu Schwierigkeiten, weil von der Endstufe in diesem Falle nicht eine einzelne Frequenz, sondern entsprechend der rechteckigen Begrenzung der Trägerfrequenz ein breites Frequenzband hoher Spannung übertragen werden muß. Das auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre erzeugte und trägerfrequent modulierte Raster wird auf das Abtastobjekt projiziert; von dort fällt das Licht, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung eines Kondensators, in die Photozelle. Unmittelbar an die Photozelle ist bei trägerfrequenter Abtastung ein Breitbandträgerfrequenzverstärker mit Bandfilter-

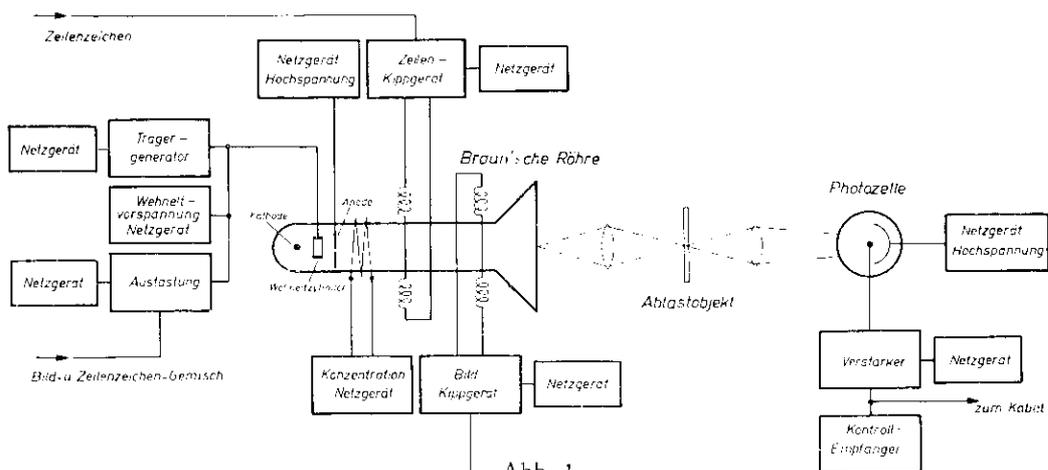


Abb. 1. Grundsätzlicher Aufbau eines Lichtstrahlabtasters mit Braun'scher Röhre.

Impulsgeber synchronisiert. Der Wehneltzylinder der Braunschen Röhre ist mit einem Netzgerät zur regelbaren Einstellung der Vorspannung und einem Gerät zur Austastung des Kathodenstrahles während der Rücklaufzeiten verbunden. Dieses Austastgerät formt ein vom Impulsgeber kommendes Zeilen- und Zeilenzugwechsel-Impulsgemisch zur sauberen Begrenzung der Austastzeichen in geeigneter Weise um und enthält je nach Vorzeichen des vom Impulsgeber gelieferten Zeichengemischs eine gerade oder ungerade

kopplung angeschlossen, so daß nur die Trägerfrequenz und die beiden Seitenbänder bzw. ein Seitenband unter Einhaltung der Nyquist-Bedingung durchgelassen und verstärkt werden.

Eine der Hauptschwierigkeiten beim Aufbau eines trägerfrequenten Lichtstrahlabtasters besteht nun darin, daß ein Trägergenerator sehr hoher Sendespannung und ein Empfangsverstärker sehr hoher Empfindlichkeit in unmittelbarer Nähe angeordnet sind. Man beobachtet, insbesondere bei ge-

drängtem Aufbau und bei sehr hohen Trägerfrequenzen, häufig ein negatives Bild bei gleichzeitigem Verschwinden des Schrots. Diese Erscheinungen sind auf Störungen des Trägerfrequenzverstärkers und der Photozelle durch den Trägergenerator bei gleichzeitiger Phasenverschiebung der Stör-Trägerfrequenzspannung zurückzuführen. Beträgt die Phasenverschiebung zwischen der auf dem Lichtwege übertragenen Sendespannung und der auf irgendeinem Störwege, sei es durch Strahlung oder durch Leitung, übertragenen Störspannung etwa 180 Grad, so ergeben sich die resultierenden Spannungen durch algebraische Differenz der entsprechenden Vektoren (s. Abb. 2). Bei überwiegender Stör-Amplitude wird das Bild umgekehrt: d. h. helle Stellen werden dunkel und dunkle Stellen hell erscheinen. Ist ferner die Stör-Amplitude so groß, daß der Verstärker übersteuert wird, so wird ein Teil der Spannungsspitzen abgeschnitten; der im Bilde störende Schrot, der sogenannte Grieb, verschwindet. Bei Phasenverschiebungen, die von 180 Grad abweichen, ergeben sich naturgemäß alle möglichen Übergänge zwischen positivem und negativem Bild. Mittel zur Abhilfe sind in bekannter Weise die sorgfältige Abschirmung des Trägergenerators sowie der Photozellschaltung und des Trägerfrequenzverstärkers, wobei die Schirmung isoliert durchzuführen und nur an einem Punkte mit Erde bzw. dem Gehäuse zu verbinden ist. In die Schirmung ist gegebenenfalls die Braunsche Röhre mit einzubeziehen, da der modulierte Kathodenstrahl selbst zu Störstrahlungen Anlaß geben kann. Wesentlich ist auch eine möglichst kurze Verbindung zwischen Photozelle und Verstärker bzw. ein unmittelbarer Zusammenbau beider Elemente.

### 3. Niederfrequente Abtastung.

Ein Lichtstrahlabtaster mit niederfrequenter Abtastung unterscheidet sich von einem Lichtstrahl-

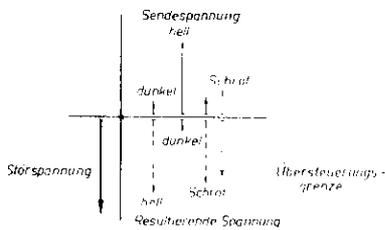


Abb. 2: Entstehung eines negativen Bildes.

abtaster mit trägerfrequenter Abtastung in zwei Punkten (vgl. Abb. 1): erstens fällt selbstverständlich der Trägergenerator weg, und zweitens wird statt des Breitbandträgerfrequenzverstärkers ein sogenannter Breitbandniederfrequenzverstärker benutzt, der ein breites Frequenzband von niedrigen bis zu hohen Frequenzen unmittelbar verstärkt. Zur Kompensierung des Nachleuchtens werden am Eingang des Verstärkers eine bzw. mehrere Kompensationsstufen angeordnet. Die Methoden, nach denen die günstigste Dimensionierung von Breitbandnieder-

frequenzverstärkern zweckmäßig durchzuführen ist, sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben<sup>\*)</sup>. Ueber die Dimensionierung und den Aufbau von Kompensationsstufen soll im folgenden berichtet werden. Das zur Kompensation dienende Widerstands-Kapazitätsglied sei, wie Abb. 3 zeigt, in der Verbindung von Kathode der Verstärkerröhre und Erde angeordnet. Mit den Bezeichnungen von Abb. 3 ergibt sich, wie ohne weitere Erläuterungen verständlich ist, die Gleichung

$$(1) \quad J_a = S(U_g - U_k) = J_1 + J_2 \quad \frac{U_k}{R} + K \frac{dU_k}{dt}$$

(S — Röhrensteilheit), so daß die Differentialgleichung für  $U_k$  lautet

$$(2) \quad \frac{dU_k}{dt} + \frac{S}{K} U_k = \frac{S}{K} U_g$$

Unter der Voraussetzung, daß die Nachleuchtcurve angenähert exponentiellen Verlauf hat, ist für  $U_k$  der Ansatz zu machen

$$(3) \quad U_k = U_{k1} + U_{k2} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

wobei  $\tau$  die Zeitkonstante der der Nachleuchtcurve entsprechenden Exponentialkurve bedeutet. Der Ansatz (3) ist rein formal und umfaßt sowohl den An- wie den Abklingvorgang.

(4) Anklingvorgang:

$$U_{k1} = U_{k0} + U_{k2} - U_{k0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Abklingvorgang:

$$U_{k1} = 0 \quad U_{k2} = U_{k0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Für die Anodenspannung  $U_a$  gilt ferner die Beziehung

$$(5) \quad U_a = R_a J_a = R_a S(U_g - U_k)$$

Aus der allgemeinen Lösung der Differentialgleichung (2) unter Voraussetzung von (3) erhält man nach (5) folgenden Ausdruck für die Anodenspannung  $U_a$

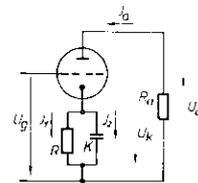


Abb. 3: Kompensationsstufe.

$$(6) \quad U_a = U_{a1} + U_{a2} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_{a0} + U_{a2} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\left| \begin{array}{l} U_{a1} = \frac{R_a S}{R} U_g \\ U_{a2} = \frac{R_a S}{R} U_{k0} \end{array} \right|$$

<sup>\*)</sup> K. Brückersteinkuhl, „Ausgleichsschaltungen in Breitbandverstärkern“, Fernseh Hausmitt. 2 (1941), 90.

Hierbei bedeutet  $U_k$  den Wert der Kompensationsspannung  $U_k$  zur Zeit  $t = 0$ . Für den An- oder Abklingwert von  $U_k$  nach (4) soll  $U_a$  bei Kompensation einen konstanten Wert oder den Wert Null haben. Berücksichtigt man in Gleichung (6) zunächst nur die beiden ersten Glieder, so erkennt man, daß diese Bedingung dann erfüllt ist, wenn das zweite Glied gleich Null wird, d. h. wenn

$$(7) \quad \frac{1}{R} - \frac{K}{\tau} = 0$$

wird. Gleichung (7) ist gleichbedeutend mit der bekannten Regel  $RK = \tau$ , nach welcher die Zeitkonstante des Kompensationsgliedes gleich der Zeitkonstante der Nachleucht-Exponentialkurve zu machen ist. Gleichung (6) enthält außer den beiden bereits diskutierten Gliedern noch ein drittes Glied, das nach einer  $e$ -Funktion abklingt. Dieses dritte Glied ist als Ausdruck für eine in der Kompensationsstufe hervorgerufene zusätzliche Störung zu betrachten. Ihr Einfluß ist klein, wenn die Funktion

$$e^{-\frac{S}{K} \frac{1}{R} t}$$

möglichst rasch abklingt, oder wenn der Ausdruck  $\frac{S}{K} \frac{1}{R} t = \left( \frac{S}{K} \cdot \frac{1}{\tau} \right) t$  möglichst groß ist.

Fordert man, daß die zusätzliche Störspannung nach einer bestimmten Zeit  $t_x$ , die etwa gleich der Bildpunktzeit oder einem Bruchteil der Bildpunktzeit zu setzen ist, auf den  $e$ -ten Teil abgeklungen ist, so muß die Bedingung erfüllt sein

$$(8) \quad \left( \frac{S}{K} \cdot \frac{1}{\tau} \right) t_x = 1.$$

Unter normalen Verhältnissen ist  $\frac{1}{\tau}$  gegenüber  $\frac{S}{K}$  vernachlässigbar klein, so daß statt (8) geschrieben werden kann

$$(9) \quad \frac{S}{K} t_x = 1 \text{ bzw. } \frac{S/mA}{K/nF} \cdot t_x \cdot 10^9 \text{ sec} = 1.$$

Während also Formel (7) nur die Größe des Produktes  $RK$  festlegt, ist nach Formel (9) das Kompensationsglied so zu dimensionieren, daß die Kapazität  $K$  unter Berücksichtigung von Formel (7) möglichst klein wird. Wird  $K$  klein, so muß  $R$  groß werden. Die maximale Größe von  $R$  ist dadurch festgelegt, daß der Spannungsabfall an  $R$ , d. h. bei indirekt geheizter Kathode die Spannung zwischen Heizfaden und Kathode eine bestimmte Größe nicht überschreiten darf — sofern man nicht von besonderen Hilfsmitteln Gebrauch macht. Bezeichnet man diesen maximalen Spannungswert, der etwa 100 Volt betragen dürfte, mit  $U_x$  und den zugehörigen Widerstandswert mit  $R_x$ , so läßt sich statt  $\frac{S}{K}$  schreiben

$$(10) \quad \frac{S}{K} = \frac{SR_x}{J_a} = \frac{S}{J_a} \cdot \frac{U_x}{\tau}.$$

Das Ergebnis der Rechnung nach Gleichung (8) bis (10) besagt mit anderen Worten, daß es bei einer Kompensationsschaltung nach Abb. 3 zur Vermeidung von Verzerrungen notwendig ist, den Einfluß

der aus innerem Röhrenwiderstand und Kompensationskapazität gebildeten Zeitkonstante möglichst klein zu halten.

Die Kompensationsstufe in der bisher beschriebenen, einfachen Form kann naturgemäß das Nachleuchten nur angenähert kompensieren, da die Nachleuchtkurve in den seltensten Fällen einer Exponentialkurve entspricht; meist ist vielmehr zu einer einigermaßen befriedigenden Darstellung der Nachleuchtkurve die Summierung von zwei Exponentialkurven erforderlich. Zur Verbesserung der Kompensation ist z. B. vorgeschlagen worden, statt eines Widerstands-Kapazitätsgliedes eine Reihenschaltung zweier Widerstands-Kapazitätsglieder zu benutzen. Unter bestimmten Bedingungen läßt sich auch eine Reihenschaltung von zwei Kompensationsstufen verwenden — vorausgesetzt, daß der Fehler, der durch die zweite Kompensationsstufe nach Kompensation der ersten erzeugt wird, die Verbesserung der Kompensation nicht überwiegt.

#### 4. Vergleich von trägerfrequenter und niederfrequenter Abtastung.

##### a) Leuchtschirm.

Entscheidend für die Güte der Abtastverfahren ist die Güte des Leuchtschirms. Beide Verfahren stellen nur zusätzliche Hilfsverfahren dar; man kann mit ihrer Hilfe zwar Mängel eines bereits hochentwickelten Leuchtschirmes ausgleichen, ist aber nicht in der Lage, für die Abtastung an sich ungeeignete Leuchtschirme verwendbar zu machen. Wie früher\*) abgeleitet wurde, gilt für den Modulationsgrad bei trägerfrequenter Abtastung die Näherungsformel

$$(11) \quad m = \frac{1}{4f\tau} \text{ bzw. } m = \frac{25}{f \text{ MHz} \cdot \tau \cdot 10^9 \text{ sec}}.$$

Hierbei bedeutet  $f$  die Trägerfrequenz und  $\tau$  die Zeitkonstante der der Nachleuchtkurve entsprechenden Exponentialkurve. Für die besten bisher verwendeten Leuchtschirme hat sich eine Zeitkonstante  $\tau$  von  $0,5$ — $1 \cdot 10^{-6}$  sec erreichen lassen. Dementsprechend beträgt der Modulationsgrad für eine Trägerfrequenz von 8,4 MHz, wie sie bei 441-Zeilen-Bildern üblich ist, nicht mehr als 3—6 Prozent. 94—97 Prozent des in der Braunschen Röhre erregten Lichtes werden bei diesem Verfahren in Gleichlicht umgesetzt, gehen also praktisch verloren. Durch die Lichtschwankung werden in der Photozelle Trägerfrequenzspannungen erzeugt, die der Helligkeit direkt proportional sind; durch das Gleichlicht werden andererseits in der Photozelle Schrotspannungen erzeugt, die der Wurzel aus der Helligkeit proportional sind. Das Verhältnis von Trägernutzspannung zu Schrotstörspannung, von dem die Güte des Bildes, seine Gieß-Freiheit abhängt, wächst also nur mit der Wurzel aus der Helligkeit. Man muß unter diesen Verhältnissen erhebliche Lichtstärken in der Braunschen Röhre aufbringen, um ein gutes und gießfreies Bild zu erhalten. Der zur Erregung erforderliche Strahlstrom der

\*) s. (8), S. 183.

Braunschen Röhre beträgt z. B. für 20 kV Hochspannung bis zu einigen Hundert Mikroampere. Von der Größe des Strahlstromes hängt nun wieder die Rasterschärfe sowie die Lebensdauer der Braunschen Röhre ab. Demnach kommt es bei trägerfrequenter Abtastung nicht nur auf gute Nachleuchteigenschaften, sondern auch auf hohe Lichtausbeute des Leuchtschirmes an.

Bei niederfrequenter Abtastung sind gute Nachleuchteigenschaften ebenfalls von Bedeutung. Die Kompensation des Nachleuchtens in der beschriebenen Form ist nur eine angenäherte, und der Kompensationsfehler ist absolut natürlich um so kleiner, je geringer der zu kompensierende Effekt ist. Wünschenswert wäre auch die Entwicklung eines Leuchtschirms, dessen Nachleuchten klein ist und außerdem einen wirklich exponentiellen Verlauf hat. Hohe Lichtausbeute des Leuchtschirmes ist bei niederfrequenter Abtastung zwar ebenfalls erwünscht, aber nicht unbedingt erforderlich, da der Nutzeffekt um ein Vielfaches größer ist als bei trägerfrequenter Abtastung und störendes Gleichlicht nicht auftritt. Man kann daher mit wesentlich kleineren Strahlströmen (unterhalb 100 Mikroampere) ein hinreichend helles und grierbfreies Bild erhalten.

Zur Untersuchung der Nachleuchteigenschaften von Leuchtschirmen wurde ein Nachleuchtprüfgerät entwickelt, das im wesentlichen der bereits früher\*) beschriebenen Apparatur zur Untersuchung von An- und Abklingvorgängen entspricht. Auf einem Oszillographenrohr läßt sich unmittelbar die Nachleuchtcurve eines zu untersuchenden Leuchtschirmes beobachten. Die Ablesegenauigkeit gestattet die Feststellung von Nachleucht-Zeitkonstanten bis herunter zu etwa  $1 \cdot 10^{-6}$  sec. Setzt man in den in der Apparatur befindlichen Breitbandniederfrequenzverstärker eine Kompensationsstufe ein, so kann die Nachleucht-Zeitkonstante unmittelbar an den Widerstands- und Kapazitätswerten des Kompensationsgliedes abgelesen werden. Zu diesem Zwecke werden Widerstand und Kapazität des Kompensationsgliedes so weit geregelt, bis die auf dem Oszillographenrohr erscheinende Nachleuchtcurve in ein Rechteckzeichen übergeht (Abb. 4).

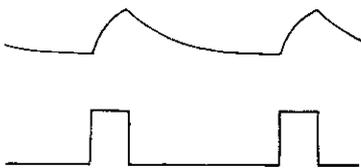


Abb. 4: Nachleuchtcurve und Rechteckzeichen.

Verhältnismäßig gute Nachleuchteigenschaften haben — nach Untersuchungen an der beschriebenen Apparatur — Cadmiumwolframate und Zinksulfide. Zinkcadmiumsulfide verhalten sich je nach Zusammensetzung unterschiedlich. Schlechtere

Nachleuchteigenschaften haben Calcium- und Magnesiumwolframate. Die Lichtausbeute aller Wolframate ist gering, so daß auch Cadmiumwolframat als Leuchtschirmmaterial ausscheidet. Hohe Lichtausbeute haben dagegen Zinksulfide und zum Teil Zinkcadmiumsulfide, die sich zur Verwendung in Lichtstrahlabtastern als geeignet erwiesen \*).

#### b) Photozelle.

Um die hohe Lichtausbeute guter Leuchtschirme voll auszunutzen, ist es notwendig, Photozellen guter spektraler Anpassung zu verwenden. Für die im Lichtstrahlabtaster benutzten und etwa gelb-grünlich leuchtenden Schirme wurden besondere Antimon-Photozellen verwendet, deren spektrales Empfindlichkeitsmaximum im Grünen, etwa bei 5000 Angströmeinheiten, liegt. Die benutzten Photozellen waren mit Sekundärelektronenvervielfachern hoher Gitterzahl ausgerüstet. Für trägerfrequente Abtastung empfiehlt es sich allerdings, Vervielfacher mit geringerer Gitterzahl zu verwenden bzw. bei Verwendung von Vervielfachern mit großer Gitterzahl mehrere Gitter kurz zu schließen, da sonst wegen des hohen Gleichlichtstromes Uebersteuerung auftreten kann. Wie Formel (11) zeigt, ist bei trägerfrequenter Abtastung die Lichtmodulation, also auch die in der Photozelle erzeugte Trägerfrequenzspannung, umgekehrt proportional der Nachleucht-Zeitkonstante. Unter der Voraussetzung einer konstanten Trägerfrequenz läßt sich hiernach ein einfacher Ausdruck angeben, der dem Verhältnis von Trägernutzspannung zu Schrotstörspannung proportional ist und als Gütefaktor bezeichnet wurde \*\*).

$$(12) \quad g = \frac{1}{J} \cdot (J \text{ Photozellengleichstrom})$$

Er gestattet unter sonst gleichen Verhältnissen, insbesondere bei gleichem Strahlstrom der Braunschen Röhre, verschiedene Kombinationen Leuchtschirm-Photozelle in ihrer Bedeutung für trägerfrequente Abtastung zu kennzeichnen und miteinander zu vergleichen.

#### c) Zusatzbeleuchtung.

Ein Vorteil der trägerfrequenten Abtastung, der häufig angeführt wird, ist die Möglichkeit einer zusätzlichen Gleichlicht-Raumbeleuchtung während des Betriebes. Voraussetzung für die Durchführung einer Zusatzbeleuchtung ist allerdings die Verwendung von Photozellen ohne Sekundärelektronenvervielfacher oder mit Sekundärelektronenvervielfachern geringer Gitterzahl, da die an sich bereits stark belasteten Gitter durch den zusätzlichen Gleichlichtstrom leicht überlastet werden. Nach eigenen Erfahrungen ist der durch die Zusatzbeleuchtung hervorgerufene Schrotanteil des trägerfrequenten Bandes keineswegs vernachlässigbar klein, so daß man die Verwendung optischer Filter kaum umgehen kann. Ein solches Filter, das vor die

\*) Die Leuchtschirme wurden entwickelt von E. Schwartz und H. Strübig.

\*\*\*) s. (8), S. 185.

\*) s. (8), S. 180.

Zusatzlichtquelle geschaltet wird, muß im Bereich der maximalen Photozellenempfindlichkeit möglichst undurchlässig sein. Um die Überlastungsgefahr herabzusetzen, ist es zweckmäßig, ein optisches Filter mit der entgegengesetzten Eigenschaft — durchlässig nur im Bereiche der maximalen Photozellenempfindlichkeit — vor die Photozelle zu schalten. Bei lichtmäßig abgeschlossenen Räumen kann man selbstverständlich hier wie bei der niederfrequenten Abtastung von der bekannten Methode einer intermittierenden Zusatzbeleuchtung Gebrauch machen.

#### d) Hochspannung.

Bei gleichbleibendem Strahlstrom einer Braunschen Röhre wächst die Helligkeit mit zunehmender Anodenspannung. Mit wachsender Erregungsdichte nimmt ferner die Nachleuchtdauer ab und die Raster-

Konzentration und Ablenkensystem der Braun'schen Röhre.  
K Konzentrationsspule, A Ablenkspulen.

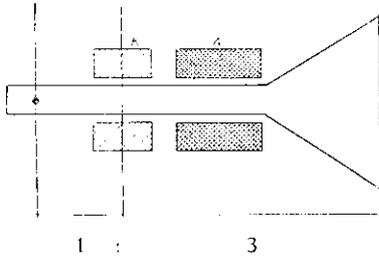


Abb. 5 a alte Anordnung.

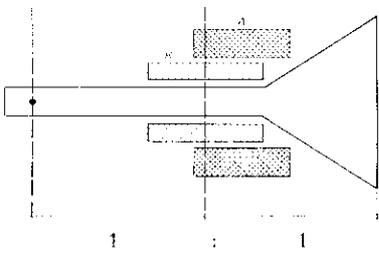


Abb. 5 b neue Anordnung.

schärfe zu; die Erregungsdichte ist aber um so höher, je größer die Anodenspannung ist. Das sind Gründe, die — insbesondere bei trägerfrequenter Abtastung — für Erhöhung der Anodenspannung sprechen. Andererseits ist jedoch eine Verwendung niedriger Anodenspannungen aus betriebsmäßigen Gründen sehr erwünscht, da der Aufwand für Hochspannungselemente wie Kondensatoren, Transformatoren, Hochspannungsleitungen und Isolatoren mit höheren Spannungen erheblich zunimmt. Bei Verwendung von Anodenspannungen unterhalb 20 kV ist es außerdem möglich, den unhandlichen und für die Bedienung störenden Bleischutz zur Abschirmung von Röntgenstrahlen fortzulassen. Die Verwendung verhältnismäßig niedriger Anodenspannungen von 20 kV und darüber hinaus die Erniedrigung der Anodenspannungen auf etwa 10 kV darf jedoch nicht mit schlechter Bildgüte verbunden sein. Dieses Entwicklungsziel — Verwendung von Ano-

denspannungen in der Höhe von 10—20 kV bei hoher Bildgüte wurde erreicht durch neuen Aufbau des Konzentrations- und Ablenkensystems der Braunschen Röhre.

#### e) Konzentrations- und Ablenkensystem.

Bei magnetischer Konzentration ist die Konzentrationsspule der Braunschen Röhre normalerweise hinter den Bild- und Zeilenablenkungsspulen, die zu einem Ablenkensystem zusammengefaßt sind, angeordnet (Abb. 5 a). Das Ablenkensystem seinerseits sitzt am konischen Ansatz und umfaßt unmittelbar den Hals der Braunschen Röhre. Bei dieser, bisher allgemein üblichen, Anordnung beträgt die Entfernung Konzentrationsspule—Schirm etwa das Dreifache der Entfernung Konzentrationsspule—Kathode, so daß die Kathode durch die als magnetische Linse wirkende Konzentrationsspule im gleichen Verhältnis vergrößert auf den Leuchtschirm abgebildet wird. Dieses elektronenoptische Abbildungsverhältnis von etwa 1 : 3 ist nicht als besonders günstig zu bezeichnen. Günstiger wäre ein umgekehrtes Abbildungsverhältnis, also eine verkleinerte Abbildung, oder zum mindesten eine Abbildung im Verhältnis 1 : 1; sie bedeutet bereits eine erhebliche Verbesserung der Elektronenfleckschärfe, der Erregungsdichte und der Bildgüte. Ein solches Abbildungsverhältnis von etwa 1 : 1 läßt sich erreichen, wenn Konzentrationsspule und Ablenkspulen nicht neben-, sondern übereinander angeordnet werden\*). Die Konzentrationsspule wird zweckmäßig am konischen Ansatz der Braunschen Röhre an Stelle des Ablenkensystems aufgebracht und das Ablenkensystem über der Konzentrationsspule angeordnet. Es ist ferner für die gleichmäßige Rasterschärfe vorteilhaft, wenn die Konzentrationsspule ein längliches Format erhält, das größer ist als das Format der Ablenkspulen. Durch diese Maßnahme wird das Elektronenstrahlbündel von vornherein auf einen kleineren Raum begrenzt, so daß die Elektronenbahnen nur in einem kleinen und homogenen Teil des Ablenkfeldes verlaufen. Die Aufbringung der Ablenkspulen über der Konzentrationsspule verbunden mit einer Vergrößerung des Abstandes von Ablenkspulen und Elektronenbahn ist aus dem gleichen Grunde von Vorteil. Gewisse Verbesserungen der Rastergüte lassen sich ferner durch sorgfältige Ausführung der Ablenkspulen — zwangsläufige Paralleldrahtführung usw. — erzielen. Diesen Vorteilen der neuen Anordnung stehen allerdings auch gewisse Nachteile gegenüber, und zwar Erhöhung der Kippleistung und eine Verzerrung des Rasters. Grundsätzlich ist mit der Überlagerung von Konzentrations- und Ablenkfeld, wie sich auch theoretisch ableiten läßt, eine S-förmige Verzerrung des Rasters verbunden. Man muß hier ein Kompromiß schließen zwischen der in allen Teilen gleichmäßigen und hohen Rasterschärfe einerseits und der geometrischen Verzeichnung dieses Rasters anderer-

\*) Diese Anordnung wurde von W. Dillenburger angegeben.

seits. Ein befriedigendes Resultat wird erhalten, wenn Konzentrationsspule und Ablenkspulen sich nicht völlig überdecken. Man kommt auf diese Weise zwangsläufig zu einer der Gestalt der Braunschen Röhre angepaßten Anordnung, wobei sowohl die Konzentrationsspule wie auch die Ablenkspulen unmittelbar bis an den konischen Ansatz der Braunschen Röhre heranreichen (Abb. 5 b). Eine Erhöhung der Kippleistung ist unumgänglich und muß in Kauf genommen werden; immerhin kann noch mit normalen Kippgeräten die Auszeichnung eines brauchbaren Rasters erzielt werden (für Braunsche Röhren mit einer Länge von 50 cm etwa in der Größe 50×60 mm). Die erforderliche Kippspannung hängt übrigens auch von der Lage und Größe der im Ablenkfelde liegenden Konzentrationsspule ab; es ist z. B. unzweckmäßig, die Konzentrationsspule oberhalb der Ablenkspulen anzuordnen. In diesem Zusammenhang sei auf die Bedeutung eines genügend feinen, körnungsfreien Leuchtschirmmaterials bei verhältnismäßig kleinem Rasterformat verwiesen.

Mit Hilfe der neuen Anordnung von Konzentrationss- und Ablenkssystem war es möglich, hohe und gleichmäßige Bildgüte zu erzielen und gleichzeitig die erforderliche Anodenspannung auf etwa 10–20 kV zu beschränken. Da die erforderliche Strahlleistung bei niederfrequenter Abtastung geringer ist als bei trägerfrequenter Abtastung, kann die Anodenspannung — gleiche Rasterschärfe vorausgesetzt — bei niederfrequenter Abtastung kleiner gehalten werden als bei trägerfrequenter Abtastung. Bei Anodenspannungen unterhalb von 10 kV sinkt allerdings die Bildgüte sehr rasch erheblich ab.

#### f) Elektrischer Aufbau und Störungen.

Lichtstrahlabtaster nach den beiden Abtastverfahren verhalten sich hinsichtlich äußerer Störungen annähernd gleich, wenn nicht besondere, äußere Störquellen in den entsprechenden Frequenzbändern liegen, und hinsichtlich innerer Störungen sehr verschieden, da der Trägergenerator des trägerfrequenten Abtasters sehr hohe Spannungen aufweist und zu besonderen Schirm- und Entstörungsmaßnahmen zwingt. Ein trägerfrequenter Abtaster verlangt daher, insbesondere bei gedrängtem Aufbau, größeren Aufwand als ein niederfrequenter Abtaster. Die Schwierigkeiten nehmen auch in dieser Hinsicht um so mehr zu, je höher die benutzte Trägerfrequenz liegt.

#### g) Frequenzband.

Es ist von Interesse, die Möglichkeiten einer Frequenzbänderweiterung abzuschätzen. Für beide Abtastverfahren nimmt die störende Schrotspannung in gleicher Weise mit der Wurzel aus der Frequenzbandbreite zu. Darüber hinaus bedeutet eine Frequenzbänderweiterung für den trägerfrequenten Abtaster gleichzeitig eine Verminderung des Nutzeffektes. Die Zusammenhänge seien im folgenden kurz dargestellt. Da die übertragene Trägerfrequenzspannung  $U_{Tr}$  dem Produkt aus Modulationsgrad  $m$  und

Photozellengleichstrom  $J$  und die störende Schrotspannung  $U_{Schrot}$  der Wurzel aus dem Produkte von Frequenzbandbreite  $b$  und Photozellengleichstrom  $J$  proportional sind, kann die Bildgüte mit Benutzung von Gleichung (11) durch den Ausdruck gekennzeichnet werden

$$(13) \quad \frac{U_{Tr}}{U_{Schrot}} \sim \frac{mJ}{\sqrt{bJ}} = \frac{\sqrt{J}}{\sqrt{b \cdot 4f\tau}} \sim \frac{\sqrt{s_{Ph} \cdot H}}{\sqrt{b \cdot f\tau}}$$

wobei  $s_{Ph}$  die Photozellenempfindlichkeit und  $H$  die Grundhelligkeit bedeuten. Wenn man annimmt, daß die Trägerfrequenz  $f$  mit der Frequenzbandbreite  $b$  zunimmt, etwa derart, daß sie stets das Doppelte der höchsten zu übertragenden Modulationsfrequenz  $f_{max} = b$  beträgt, so läßt sich statt Gleichung (13) schreiben

$$(14) \quad \frac{U_{Tr}}{U_{Schrot}} \sim \frac{\sqrt{s_{Ph} \cdot H}}{b^{3/2} \cdot \tau}$$

Das entsprechende Verhältnis bei niederfrequenter Abtastung ist gegeben durch

$$(15) \quad \frac{U_n}{U_{Schrot}} \sim \frac{\sqrt{s_{Ph} \cdot H'}}{\sqrt{b}}$$

Die Verhältnisse bei trägerfrequenter Abtastung liegen nach (14) und (15) wegen der Erhöhung der Trägerfrequenz erheblich ungünstiger als bei nieder-

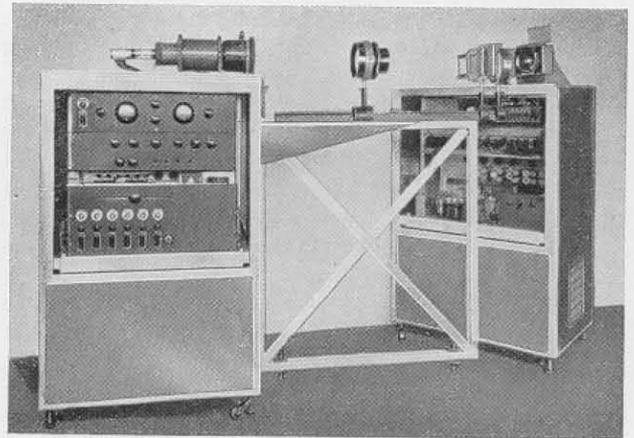


Abb. 6: Lichtstrahlabtastgerät.

frequenter Abtastung. Es ist zu beachten, daß sich die Helligkeit  $H$  durch Erhöhung des Anodenstroms nicht beliebig erhöhen läßt, wenn man gleiche Bildschärfe beibehalten will. Demnach ist eine Frequenzbänderweiterung bei trägerfrequenter Abtastung im allgemeinen nur möglich bei gleichzeitiger Verbesserung der Eigenschaften von Leuchtschirm und Photozelle, d. h. bei Steigerung der Lichtausbeute und Verminderung der Nachleucht-Zeitkonstante des Leuchtschirms, sowie bei Erhöhung der Photozellenempfindlichkeit. Andererseits dürfen nicht die Schwierigkeiten verkannt werden, die einer Frequenzbänderweiterung bei niederfrequenter Abtastung entgegenstehen. Sie liegen auf anderem Gebiet und betreffen die erhöhten Anforderungen,

die an die Genauigkeit der grundsätzlich unvollkommenen Kompensation bei Frequenzbänderweiterung gestellt werden müssen. Wesentlich ist auch in diesem Falle eine Verminderung der Nachleucht-Zeitkonstante.

#### h) Anwendung.

Ein Vorteil des trägerfrequenten Verfahrens gegenüber anderen Abtastverfahren ist besonderer Erwähnung wert. Die Modulation der Trägerfrequenz mit dem Bildinhalt (also nicht die Modulation des Kathodenstrahles durch die Trägerfrequenz, die Lichtmodulation) erfolgt auf optischem Wege, nämlich beim Auftreffen des Lichtstrahles auf das Abtastobjekt; sie ist daher wirklich linear und frei von Verzerrungseffekten, die sich bei Röhrenmodulation leicht einstellen. Die hohe Bildgüte bei trägerfrequenter Abtastung ist zu einem Teile auf diese Tatsache zurückzuführen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die trägerfrequente Methode eine mit Komplikationen verbundene, vollkommene Lösung des Nachleuchtproblems darstellt; hingegen ist die niederfrequente Methode grundsätzlich unvollkommen, dafür aber leichter durchführbar.

In Abb. 6 ist ein praktisch ausgeführter Lichtstrahlabtaster mit Braunscher Röhre für trägerfrequente und niederfrequente Abtastung wiedergegeben. Die Apparatur enthält entsprechend dem Prinzipschema der Abb. 1 in dem einen Gestellrahmen die Braunsche Röhre und in dem anderen Gestellrahmen die Photozelle mit allen zugehörigen Teilen. Sie ist zur Abtastung von Diapositiven und Filmen, sowie im Epidiaskopverfahren zur Abtastung von Vorlagen und Gegenständen geeignet. Die mit dieser Apparatur trägerfrequent und niederfrequent übertragenen 441-zeilen-Bilder waren hell, scharf, gribelfrei und kontrastreich, sowie praktisch frei von geometrischen Verzerrungen.

#### Zusammenfassung.

Der grundsätzliche Aufbau von Lichtstrahlabtastern mit Braunscher Röhre für trägerfrequente und niederfrequente Abtastung wird beschrieben. Bei trägerfrequenter Abtastung sind besondere Schirm- und Entstörungsmaßnahmen erforderlich, um Störungen der Photozelle und des Trägerfrequenzverstärkers durch den Trägergenerator zu vermeiden. Die Übertragungsbedingungen einer Kompensationsstufe für niederfrequente Abtastung

werden rechnerisch bestimmt; zur Vermeidung von Verzerrungen ist es zweckmäßig, die Kompensationsstufe so zu dimensionieren, daß das Verhältnis Röhrensteilheit zu Kompensationskapazität möglichst groß wird. Die beiden Abtastverfahren werden miteinander verglichen und ihre Vor- und Nachteile bei Erörterung von Entwicklungsfragen einander gegenübergestellt. Bei trägerfrequenter Abtastung kommt es nicht nur auf gute Nachleuchteigenschaften, sondern auch auf hohe Lichtausbeute eines Lichtschirms an. Für niederfrequente Abtastung wäre Entwicklung eines Leuchtschirmes erwünscht, dessen Nachleuchten klein ist und wirklich exponentiellen Verlauf hat. Ein Nachleuchtprüfgerät wird beschrieben und über Untersuchungen verschiedener Phosphore berichtet. Antimon-Photozellen sind für Abtastzwecke besonders geeignet und wurden seit Beginn der Entwicklung benutzt. Die Möglichkeiten zusätzlicher Raumbelichtung bei trägerfrequenter Abtastung werden erörtert. Es ist aus betriebsmäßigen Gründen erwünscht, Hochspannungen unterhalb 20 kV zu verwenden. Dieses Entwicklungsziel wurde erreicht durch Verwendung eines neuen Aufbaus von Konzentrations- und Ablenkensystem der Braunschen Röhre. Die Möglichkeiten einer Frequenzbänderweiterung werden diskutiert. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die trägerfrequente Methode eine mit Komplikationen verbundene, vollkommene und die niederfrequente Methode eine grundsätzlich unvollkommene, aber leichter durchführbare Lösung des Nachleuchtproblems darstellt. Ueber praktische Ergebnisse mit einer Lichtstrahlabtast-Apparatur wird kurz berichtet.

#### Schrifttum.

- (1) Br. P. 434 936, Priorität vom 28. 4. 34.
- (2) L. H. Bedford und O. S. Puckle, *Exp. Wireless*, 9 (1934), 137.
- (3) Br. P. 469 907, Anmeldung 6. 2. 36.
- (4) M. Schnabel, *Zs. f. techn. Phys.* 17 (1936), 25.
- (5) M. Schnabel, *Arch. Elektrot.* 30 (1936), 461.
- (6) M. Knoll u. H. Elstermann, *Telefunken Hausmitt.* (1937), H. 77, 65.
- (7) A. Schleede und B. Bartels, *Zs. f. techn. Phys.* 19 (1938), 364.
- (8) K. Brückersteinkuhl, *Fernsch Hausmitt.* 1 (1939), 179.
- (9) A. Schleede und B. Bartels, *Telefunken Hausmitt.* (1939) H. 81, 100.
- (10) J. J. Müller, *Zs. f. Hochfrequenztechn. u. Elektroak.* 54 (1939), 111.
- (11) J. Wolf, *Elektr. Nachrichten Technik*, 18 (1941), 204.

# Optische Sucher für Fernsehkameras.

Von Paul Lindner.

Unter Mitarbeit von Rolf Möller.

(Eingegangen am 2. März 1942)

## I. Einleitung.

Bei der Konstruktion einer Fernsehkamera standen bisher für den Fernsehtechniker naturgemäß die Probleme hochvakuumtechnischer und hochfrequenztechnischer Art im Vordergrund (1) (2). Es erscheint daher einmal an der Zeit, auch die sonstigen Zubehöerteile zu untersuchen, die zur bequemen Bedienung einer Kamera notwendig sind. Hierbei interessiert besonders das Problem der Ausrüstung einer Fernsehkamera mit einer allen Anforderungen gerecht werdenden optischen Suchereinrichtung, insbesondere weil es nicht ohne weiteres möglich ist, diese aus der Vielzahl der bereits aus der Film- und Phototechnik her bekannten Suchereinrichtungen zu übernehmen.

Die Eigengesetze der Fernsehaufnahme stellen ganz bestimmte Anforderungen an den Sucher einer solchen Kamera. Diese Anforderungen weichen von denen in der Standbild- und Filmaufnahme erheblich ab. Bei letzteren kann jede Szene, die vor allem an keine Reihenfolge gebunden ist, sorgfältig geprobt, ausgeleuchtet, im Bedarfsfall wiederholt und die Entfernung ausgemessen werden. Man kann also fast immer alle Total-, Nah- und Großaufnahmen mit einer einzigen Kamera bewältigen. Hinzu kommt bei Standbildaufnahmen als Ergänzung der Kamera der Vergrößerungsapparat, bei Filmaufnahmen die Kopiermaschine. Dies sind alles Möglichkeiten, die bei einer Fernsehaufnahme nicht vorhanden sind; denn dadurch, daß das aufgenommene Bild am Fernsehempfänger unmittelbar wahrgenommen wird, ist ein ununterbrochenes Spiel vor der Kamera bedingt. Die verschiedenen Bildeinstellungen erfordern den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Kameras. Am Mischpult erfolgen die Ueberblendungen bzw. Uebergänge von einem Kamerabild zu anderen (3).

Es ist selbstverständlich, daß bei dieser Aufnahmetechnik, bei der Fehler in der Bedienung sofort im Fernsehempfänger sichtbar werden und bei der man auf Ermüdungserscheinungen des Beobachters während einer unter Umständen mehrstündigen Sendung Rücksicht nehmen muß, dem Sucher einer Fernsehkamera eine erhöhte Bedeutung zukommt. An einen Fernsehkamerasucher werden daher im wesentlichen folgende Anforderungen gestellt:

- Bequeme Einstellung der Schärfe bzw. leichte Erkennung der vorhandenen Schärfe.
- Bei der Schärfenkontrolle ist die gleichzeitige Erfassung des Bildausschnittes erforderlich.
- Die Scharfeinstellung soll für alle Teile des ganzen Bildfeldes gleichzeitig möglich sein.
- Beidäugige Betrachtung eines hellen und großen Sucherbildes.

## II. Verschiedene optische Suchereinrichtungen.

Aus der Reihe der optischen Suchereinrichtungen, bei denen die gleichzeitige Einstellung der Schärfe und des Bildausschnittes möglich ist, sind folgende zu nennen:

- Der Meßsucher.
- Der Mattscheibensucher.
- Direkte Bildbetrachtung auf der Kathode bzw. dem Mosaik der Bildfängerröhre.
- Der Stereoskopsucher.

Von diesen Suchereinrichtungen scheidet jedoch bei Berücksichtigung aller unter a) bis d) aufgestellten Forderungen noch einige aus.

Die Ausführung einer unter 3. genannten Suchereinrichtung scheidet neben konstruktiven



Abb. 1: Bildausschnitt eines Meßsuchers mit gleichzeitig sichtbarem Meßfeld.

Gründen in der Hauptsache an einer ungenügenden Helligkeit des Bildes auf der Kathode bzw. dem Mosaik der Bildfängerröhre.

Der Stereoskopsucher kann ebenfalls für die weiteren Betrachtungen außer Acht gelassen werden, da er die wichtige Bedingung der gleichzeitigen Scharfeinstellung über das ganze Bildfeld ebenso wenig erfüllt wie der unter 1. genannte Meßsucher. Da die Verwendung eines Meßsuchers in der Fernsehliteratur bereits empfohlen wurde (4) und andererseits in der optischen Literatur (5) verhältnismäßig wenig über seine Vor- und Nachteile bekannt ist, erscheint jedoch eine eingehendere Untersuchung hierüber angebracht.

Als letzter aus der Reihe der oben genannten optischen Suchereinrichtungen wird dann anschließend der Mattscheibensucher ausführlich behandelt.

# 1. Der Meßsucher.

Der Meßsucher, allgemein durch die Kleinbildphotographie bekannt (Contax, Tenax usw), entspricht in Aufbau und Wirkungsweise einem optischen Entfernungsmesser nach dem Koinzidenzprinzip, wobei das Meßfeld gleichzeitig als Sucherbild bzw. das Meßfeld innerhalb des Sucherbildes

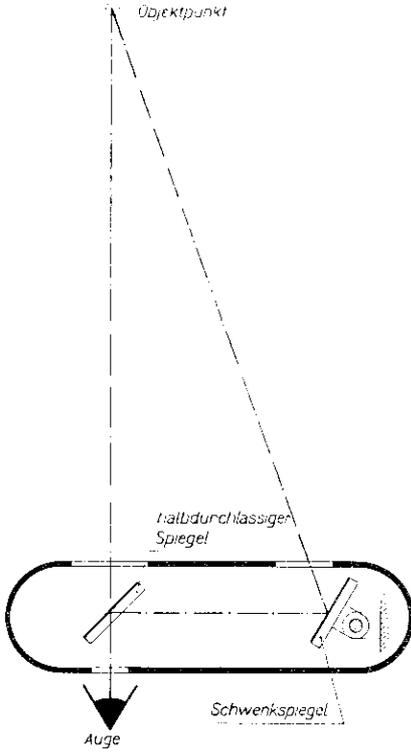


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Meßsuchers mit Schwenkspiegel

angeordnet ist, Abb. 1. Die schematische Darstellung eines solchen Meßsuchers ist in Abb. 2 gezeigt.

Der Scharfeinstellung im Meßsucher liegt die Breitenwahrnehmung des Auges, d. h. das Erkennen kleinster seitlicher Lageverschiebungen, zu Grunde. Die hierbei erzielte Empfindlichkeit der Wahrnehmung beträgt etwa 3 Bogensec.

Für die Genauigkeit der Entfernungseinstellung ist die Basislänge  $b$  ausschlaggebend, in dem Sinne, daß mit größer werdender Basis eine jeweils größere Meßgenauigkeit erreicht werden kann. Im Gegensatz hierzu muß zur Erreichung eines großen Meßfeldes (Forderung  $c$ ) die Basislänge  $b$  möglichst klein werden. Wie aus Abb. 3a ersichtlich, können die beiden Teilbilder des Meßfeldes immer nur in einer um 90 Grad zur Basis parallel gedrehten Linie (z. B. Punkt  $D$ ), zur Deckung gebracht werden. Für alle in der Objektebene außerhalb dieser Linie liegenden Punkte, z. B.  $B$  und  $C$ , ergibt sich dann zwangsläufig eine Deckungsgenauigkeit  $BB'$  und  $CC'$ , die sich errechnet aus:

$$BB' = (c - b) \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi \pm \gamma)} = c \cdot \operatorname{tg} \varphi \text{ und}$$

$$CC' = (c + b) \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi \mp \gamma)} = c \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Es können selbstverständlich auch die Punkte  $BB'$  und  $CC'$  in der Objektebene durch Drehen des Schwenkspiegels nacheinander zur Deckung gebracht werden; die Folge ist, daß für verschiedene Punkte der Objektebene jeweils verschiedene Entfernungen gemessen bzw. eingestellt werden (4). Soll die Scharfeinstellung über den ganzen Bildausschnitt gleichzeitig vorgenommen werden können (Forderung  $b$ ), so müßte der Meßwinkel  $\varphi$  des Suchers dem Bildwinkel des Aufnahmeobjektives entsprechen. In der Abb. 3b ist für einen bestimmten Fall die Deckungsgenauigkeit in Abhängigkeit vom Meßwinkel aufgetragen. Es ist klar ersichtlich, daß der Meßwinkel des Suchers wesentlich kleiner als der Bildwinkel des Aufnahmeobjektives sein muß. Unter Zulassung des üblichen Zerstreuungskreises von  $1''_{\text{mm}}$  der Brennweite liegt für diesen Fall der brauchbare Meßwinkel denn auch etwa bei  $\pm 1''$ .

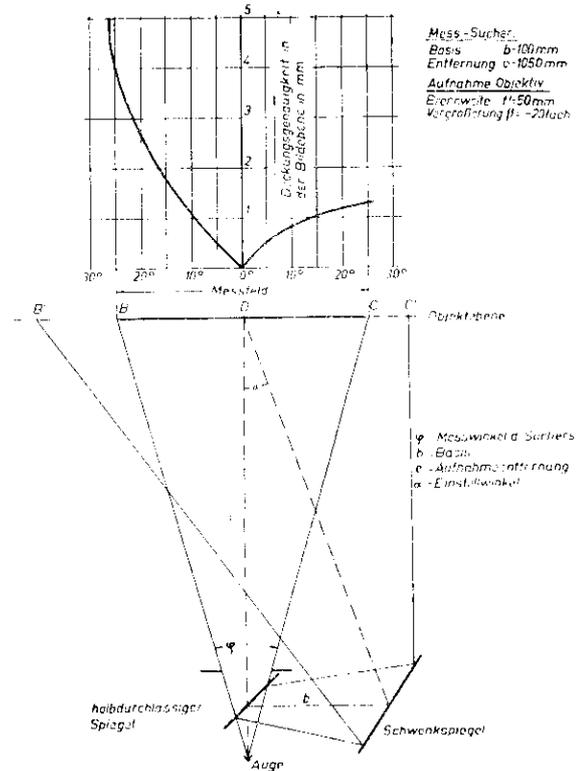


Abb. 3a: Strahlengang im Meßsucher.

Abb. 3b: Deckungsgenauigkeit in der Aufnahmebildenebene als Funktion des Meßwinkels  $\varphi$ .

Diese Einschränkung kann wohl in der Kleinbildphotographie ohne weiteres in Kauf genommen werden, da hier zur Entfernungsmessung durch Schwenken der Kamera das Objekt in das Meßfeld gebracht werden kann, ist aber für den Sucher einer Fernsichtkamera infolge der besonderen Aufnahmetechnik nicht tragbar.

In Abb. 4 ist gezeigt, wie das Sucherbild eines Meßsuchers dem Auge erscheinen würde, wenn der Meßwinkel gleich dem Objektivbildwinkel wäre. Die Worte „VORN“, „HINTEN“, „MITTE“ befinden sich in drei hintereinander liegenden Ebenen, wobei auf „MITTE“ scharf gestellt ist. Dabei ist die Verteilung der Deckungsungenauigkeit in der Schärfenebene („MITTE“) und der durch die verwirrenden Doppelbilder gestörte Bildeindruck außerhalb dieser Ebene („VORN“, „HINTEN“) zu beachten.

## 2. Der Mattscheibensucher.

Die anfangs formulierten Anforderungen a—d, die an einen Fernsehkamerasucher gestellt werden, sind weitgehend zu erfüllen durch die sogenannten Mattscheibensucher. Bei diesen, die in der Standbildphotographie bei Platten- und Spiegelreflexkameras und in abgeänderter Form unter dem Namen Fernrohrsucher bei Normalfilmkameras Verwendung finden, wird durch ein Objektiv ein Sucherbild auf eine Mattscheibe projiziert.

Die auftretenden Probleme sind insofern interessant, als es sich darum handelt, den Strahlengang so weit raumsparend auszubilden, daß die Fernsehkamera eine möglichst kleine Abmessung hat, aber weiter die Forderung des großen und hellen Sucherbildes erfüllt wird. Die Festlegung einer Sucherbildmindestgröße für einen bestimmten Betrachtungsabstand, der so zu wählen ist, daß sich die Mattscheibe ungefähr in deutlicher Sehweite (ca. 250 mm) befindet, ergibt sich aus folgenden Ueberlegungen.

Die Scharfeinstellung mit Mattscheibe findet gegenüber der Meßsuchereinstellung ihre physiologische Grenze in der Größe des Auflösungsvermögens des Auges. Der Schwellwert für dieses Auflösungsvermögen liegt etwa bei 60 sec., d. h. das Auge kann zwei Objektpunkte, die sich in deutlicher Sehweite befinden und einen Abstand über 0,07 mm haben, gerade noch als getrennte Punkte wahrnehmen. Für das sichere Scharfeinstellen ist es erforderlich, daß von dem Auflösungsvermögen des Fernsehbildes, gegeben durch die Zeilenzahl, die optische Einstellungsgenauigkeit nur einen Bruchteil, z. B. 30 %, beträgt. Es müßte somit das einer Zeilenhöhe entsprechende Detail im Sucherbild etwa unter

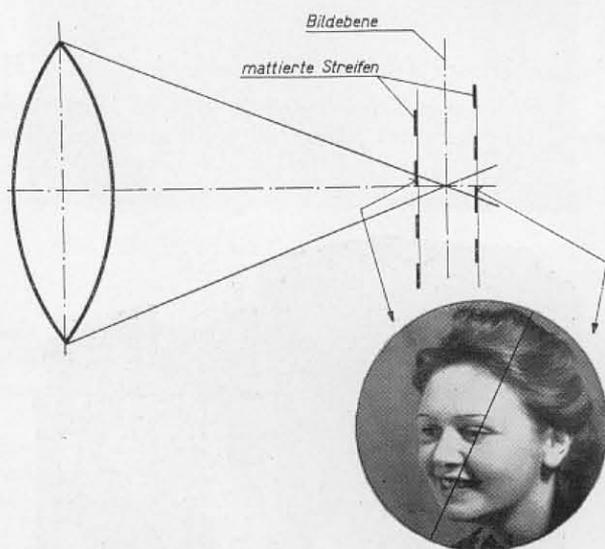
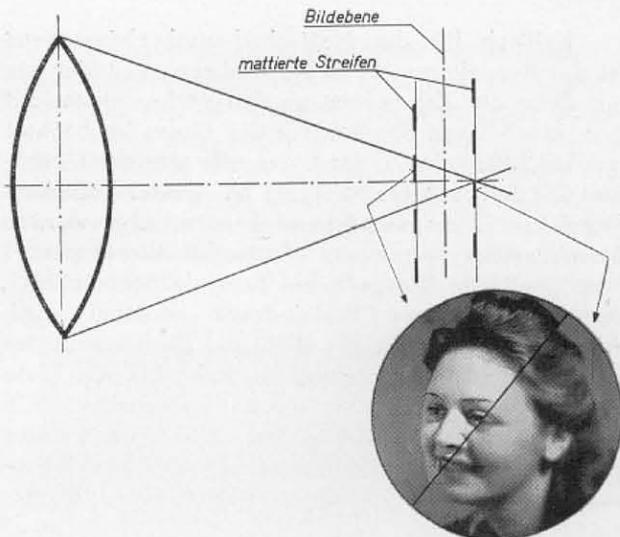


Abb. 5a: Einstellung außerhalb der optimalen Schärfenachstellung, sichtbar durch ungleichen und gestörten Bildeindruck.  
Abb. 5b: Einstellung der optimalen Schärfenachstellung, sichtbar durch gleichmäßigen Bildeindruck.

3 Min. erscheinen, d. h. bei 441 Zeilen sollte das Sucherbild unter  $20^\circ$  sichtbar sein, also in deutlicher Sehweite eine Höhe von 85 mm haben.



Abb. 4: Meßsucherbild mit einem Meßwinkel von  $\varphi \cong 44^\circ$ .



Abb. 6: Mattscheibensucherbild.

Kritisch für die Mattscheibenscharfeinstellung ist das Pendeln um die Schärfenebene, weil hier nur mit Hilfe der Erinnerung an den vorher eingestellten Grad der Schärfe des Bildes beobachtet werden kann, ein Vorgang, der sehr von der Geübtheit des Beobachters abhängig ist. Dieser Unsicherheitsfaktor kann weitgehend ausgeschaltet werden beispielsweise durch ein Mattscheibenmeßraster \*) (sog. „optische Waage“), bei dem die Schärfe nach dem gleichmäßigen Bildeindruck beurteilt wird. Abb. 5a und 5b. Für die Wahl des Bildausschnittes ist auch eine Beobachtung, die sich über die Tiefe des Aufnahmeortes erstreckt, erforderlich. Ein Vergleich zwischen Abb. 4 und ein in Abb. 6 unter gleichen Bedingungen aufgenommenes Mattscheiben-sucherbild zeigt, daß letzteres hierfür wesentlich geeigneter erscheint.

### III.

#### Fernsehkamerasucher der Fernseh G. m. b. H.

Für die von der Fernseh G. m. b. H. hergestellten Fernsehkameras haben, so weit es sich um op-

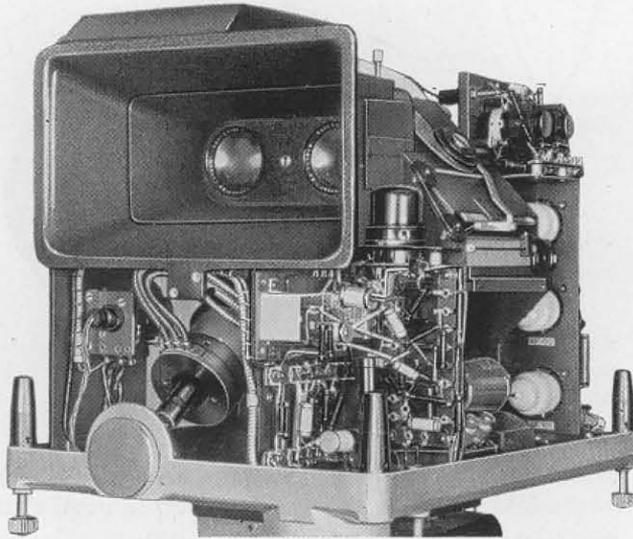


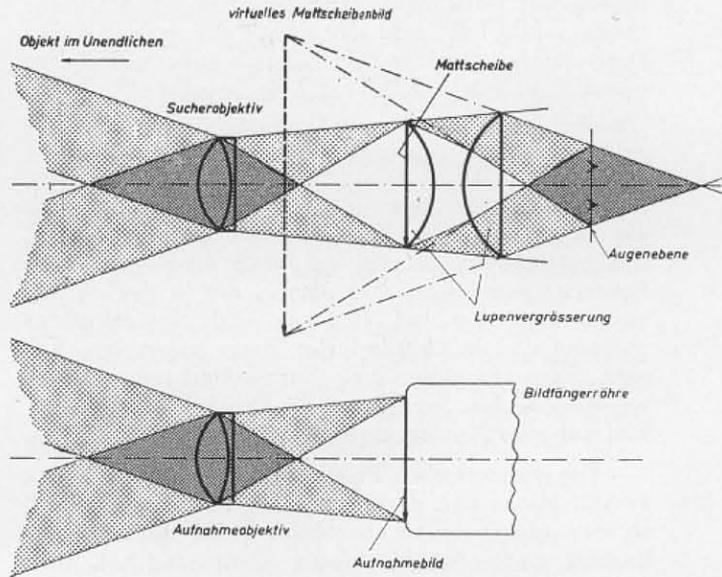
Abb. 7: FS Kamera mit Mattscheibensucher a) Ansicht einer ausgeführten Kamera bei abgehobenem Gehäuse,

tische Suchereinrichtungen handelt, Mattscheibensucher für beidäugige Bildbetrachtung Verwendung gefunden. Diese Kameras sind mit je einem Aufnahme- und einem Sucherobjektiv mit mindestens gleicher oder größerer relativer Oeffnung ausgerüstet. In der Regel sind beide Objektive, deren optische Achsen parallel liegen und vorzugsweise gleiche Brennweiten haben, starr miteinander verbunden und zur Scharfeinstellung gemeinsam ver-

\*) Fa. Dahl & Peithmann KG.

schiebbar. Abb. 7a zeigt eine ausgeführte Kamera, Abb. 7b den Strahlengang in der Kamera.

Dieser Aufbau zeichnet sich hinsichtlich der mechanischen und optischen Konstruktion durch seine Einfachheit aus. Da das Sucherbild auf der



b) Strahlengang in der Kamera

Mattscheibe kopfstehend und seitenverkehrt erscheint, erfolgt eine Bildumkehr durch eine Spiegelanordnung nach Abb. 8 ähnlich den Porro-Prismen.

Zum Ausgleich der Parallaxe wird eine Bildmaske, die der Größe des Aufnahmebildes ent-

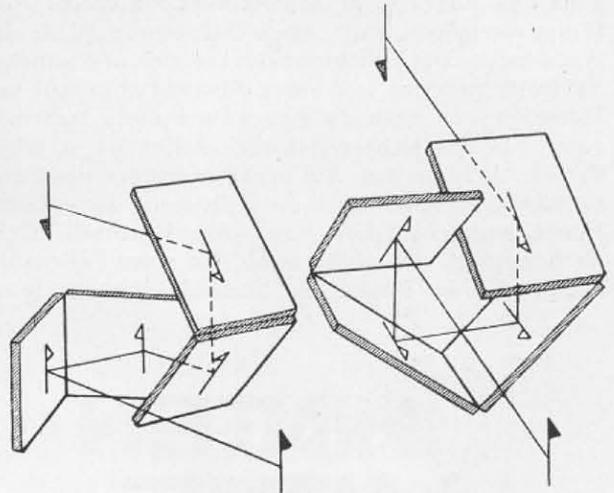


Abb. 8: Bildumkehrspiegel.

spricht, in der Sucherbildebene entsprechend der eingestellten Entfernung verschoben (Schema Abb. 9a). Diese Anordnung gewährleistet eine praktisch parallaxenfreie Einstellung. Mit gleichem Ergebnis kann natürlich auch bei feststehendem Sucherbild das Sucherobjektiv verschoben werden, vorausge-

setzt, daß die optischen Achsen beider Objektive parallel bleiben.

Dagegen sind alle anderen Formen des Parallaxenausgleiches mit geometrischen oder zeitlichen Fehlern behaftet (6). Die Bildmasken-Verstellung läßt sich in getriebetechnisch einfacher Form mit der Scharfeinstellung des Aufnahme- und Sucherobjektives koppeln. Beide Verschiebungskurven, die in Abb. 9b in Abhängigkeit von der Aufnahme-

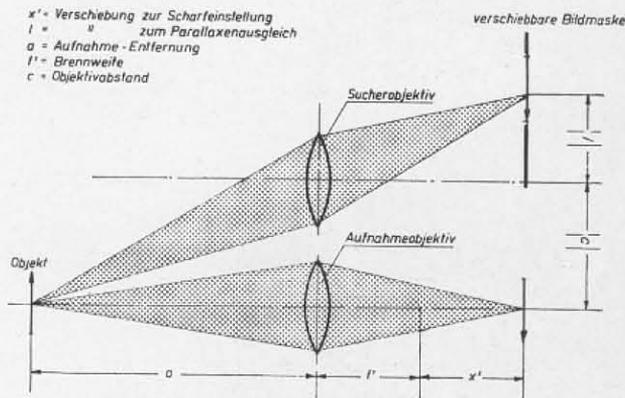


Abb. 9a: Parallaxenausgleich durch Verschiebung der Bildmaske.

entfernung aufgetragen sind, unterscheiden sich nur durch ihre Steigungswinkel  $\alpha$  und  $\beta$ .

Eine Bildmaske, wie sie in Kameras der Fernseh G. m. b. H. Verwendung findet, ist in Abb. 10 dargestellt (7). Die Mattscheibe ist größer als das eigentliche Sucherbild ausgeführt; dadurch ist es dem Beobachter möglich, auch noch Vorgänge außerhalb des Aufnahmebildes zu kontrollieren. Dabei ist dafür Sorge getragen, daß die jeweils ein-

Solange das Aufnahmebild auf der Kathode eine Mindestgröße von etwa  $85 \times 100$  mm nicht unterschreitet, ist der Mattscheibensucher im Prinzip nach Abb. 7 gebaut. Da die Brennweite des Sucherobjektives, wie schon erwähnt, gleich der des Aufnahmeobjektives ist und damit auch die Bildgrößen gleich sind, ist bei kleiner werdendem Aufnahmebild diese Konstruktion nicht mehr brauchbar. Es besteht natürlich die Möglichkeit, ein Sucherobjektiv



Abb. 10: Bildmaske eines Mattscheibensuchers der Fernseh G. m. b. H.

mit längerer Brennweite zu verwenden und damit das Sucherbild zu vergrößern. Da aber bei modernen Fernsehkameras, deren Aufnahmebild etwa  $20 \cdot 24$  mm groß ist, die Aufnahmeobjektive mit Brennweiten von 35 bis 180 mm auswechselbar sind, würde diese Konstruktion äußerst kompliziert werden.

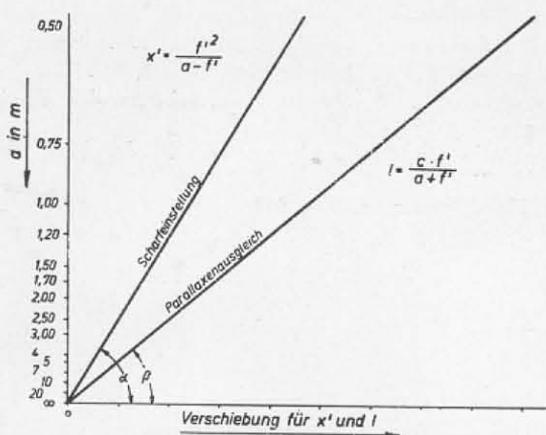


Abb. 9b: Aufnahmeentfernung als Funktion der Verschiebung zur Scharfeinstellung und zum Parallaxenausgleich.

gestellte Entfernung und Blende bequem abgelesen werden können. In Abb. 12 ist eine Fernsehkamera gezeigt, deren Mattscheibensucher mit einer solchen Bildmaske ausgerüstet ist.

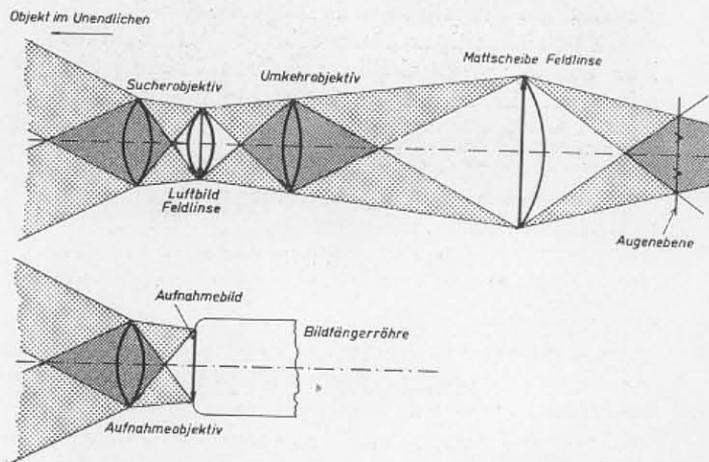


Abb. 11: Mattscheibensucher mit Umkehrobjektiv.

Aus diesen Gründen ist bei kleiner werdendem Aufnahmebild der Mattscheibensucher nach dem Prinzip des Erdfernrohres gebaut (Abb. 11). Sucher- und Aufnahmeobjektive haben gleiche Brennweite und sind bei Objektivwechsel gemeinsam auswech-

selbar. Das Luftbild des Sucherobjektives entspricht dem Aufnahmebild und wird durch ein Umkehrobjektiv aufrecht und seitenrichtig auf eine Mattscheibe vergrößert projiziert. Alle die Abbildung erzeugenden Lichtstrahlen, die durch das Sucherobjektiv gehen, müssen auch durch das Umkehr-

Suchereinrichtung einer Fernseh-Kamera werden untersucht. Von den verschiedenen Suchern wird neben dem Meß-Sucher der Mattscheibensucher ausführlicher behandelt und es wird festgestellt, daß letzterer für die Zwecke der Fernseh-Aufnahme besonders geeignet erscheint. Die praktischen Aus-

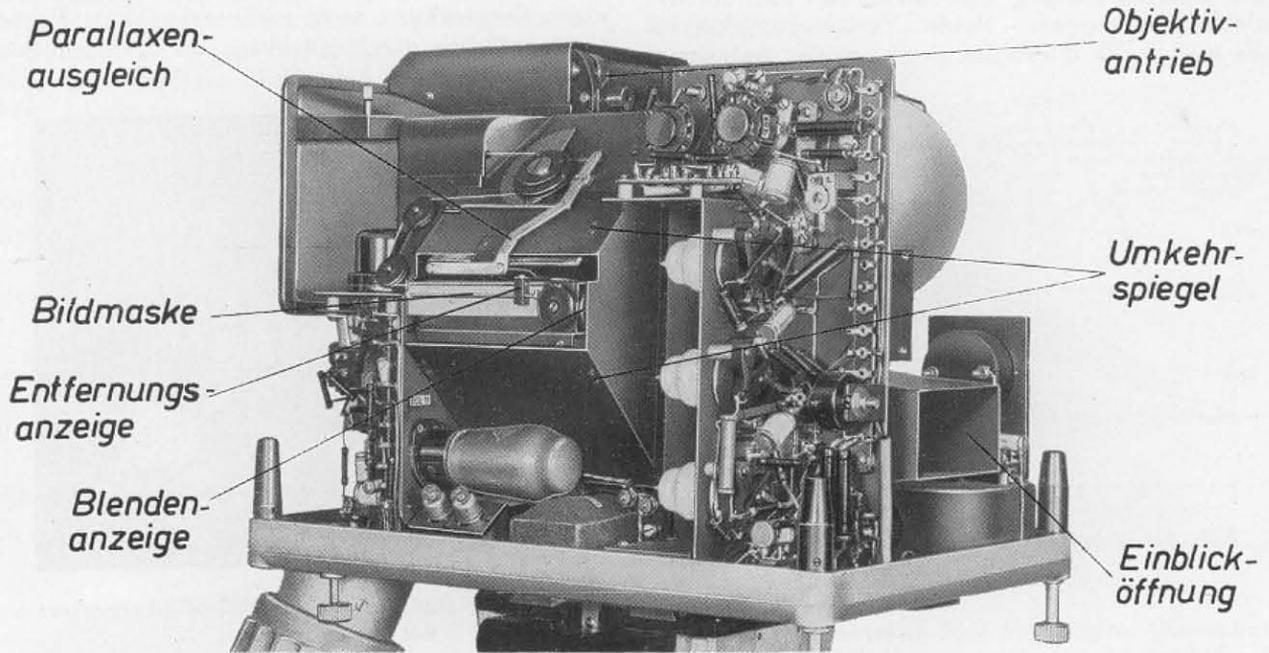


Abb. 12: Fernsehkamera mit Mattscheibensucher.

objektiv gebracht werden, weil sonst die Ausdehnung der Tiefenschärfe im Sucherbild auf der Mattscheibe nach dem Rande hin zunehmen würde. Diese Aufgabe hat die in der Luftbildebene befindliche Feldlinse. Bei Objektivwechsel muß darauf geachtet werden, daß stets die Sucherobjektivöffnung im Umkehrobjektiv abgebildet wird (z. B. durch gleichzeitiges Auswechseln der Feldlinse). Das auf der Mattscheibe sichtbare Sucherbild ist wiederum für beidäugige Betrachtung eingerichtet.

#### IV. Zusammenfassung.

Die durch die Eigengesetze der Fernseaufnahme bedingten Anforderungen an die optische

führungen des Mattscheibensuchers, wie sie in Kameras der Fernseh G. m. b. H. Verwendung finden, werden besprochen.

#### Schrifttum.

- (1) Joh. Schunack, Fernseh-Hausmitt. 1, 1939, 237.
- (2) Joh. Günther " " 2, 1940, 31,
- (3) Joh. Schunack " " 1, 1939, 106,
- (4) G. Goebel, T. F. T. Bd. 29, 1940, Heft 3, S. 77.
- (5) E. Stenger u. H. Staude, „Fortschritte der Photographie“ II, 1940, S. 91—110.
- (6) Harald Weise, Feinmech. u. Präz. 48. Jg., H 6, 1940, S. 61.
- (7) M. Heim, Franz., P. 871, 812.