

# Fernsehkameraröhren — Eigenschaften und Anwendungen

B. HEIMANN; W. HEIMANN

Der Beitrag beschreibt die Grundlagen sowie Aufbau und Arbeitsweise verschiedener Fernsehkameraröhren. Beginnend mit einer kurzen Einführung in die heute nur noch geschichtlich interessanten Röhren, gehen die Autoren vor allem auf die Kameraröhren mit Photoleitertarget ein, die heutzutage die früheren, fast 20 Jahre ausschließlich mit Photoemissions-schichten arbeitenden Röhren im Fernsehrundfunk und in technischen und wissenschaftlichen Bereichen abgelöst haben. Nach einer Betrachtung über außerhalb des Sichtbaren empfindliche und Farbstreifen-Kameraröhren werden abschließend die Anwendungsbereiche der einzelnen Röhren diskutiert.

## 1. Einleitung

Nach dem Übergang von den mechanischen Fernseh-Bildzerlegern zu den elektronischen Anordnungen Anfang der dreißiger Jahre beschritt man zur Bildabtastung zunächst zwei prinzipiell verschiedene Wege:

1. Die direkte Methode: Umwandlung eines Lichtbilds in ein Elektronenbild und dessen Zerlegung (Ausblendung) in aufeinanderfolgende Zeilen. Diese Methode wurde erstmals 1932 von Farnsworth in seiner Dissector-Röhre nach dem Grundgedanken von Dieckmann & Hell in einer Patentanmeldung aus dem Jahre 1925 realisiert. Die Dissector-Röhre konnte aber nur in Verbindung mit einem Elektronenvervielfacher und bei besonders guten Lichtverhältnissen als Fernsehkameraröhre verwendet werden. Eine solche Röhre (Sondenröhre) der Fernseh AG kam erstmalig anlässlich der Olympischen Spiele 1936 in Berlin zum Einsatz.

2. Die indirekte Methode über eine Speicherung des aus dem Lichtbild entstandenen Ladungsbildes (Speichertarget) und seine zeilenweise Abtastung, das heißt, Auswertung mittels einer feinen Elektronensonde. Das von Zorykin 1932/33 nach dieser Methode entwickelte Ikonoskop („Bildfängerröhre“ des Reichspostzentramts, Berlin) hatte gegenüber der Dissector-Röhre einen wesentlich besseren Wirkungsgrad und erlaubte 1936 bei gleichem Einsatz Bildübertragungen bei wesentlich geringerem Lichtpegel. Der Vorsatz eines Bildwandlers vor dem Ikonoskop (Elektronenbild anstelle des Lichtbilds auf dem Target) führte

zum Super-Ikonoskop mit nochmals gesteigerter Lichtempfindlichkeit.

Dissector-Röhre und Super-Ikonoskop nutzten bereits den Effekt der Sekundäremission aus, der heute wieder eine wichtige Rolle bei einer zukünftigen Generation der Kameraröhren spielt. Ein Charakteristikum der Ikonoskop-Typen ist die Verwendung schneller Elektronen im Abtaststrahl (SE-Faktor  $> 1$ ), was allerdings wegen der Einsinnigkeit der Abtastung ein dem Bildsignal überlagertes Störsignal zur Folge hatte.

Nach Entwicklung einer Elektronenstrahlsonde langsamer, das heißt, vor dem Target abgebremster Elektronen zur Abtastung des Speichertargets, entstanden das Orthikon beziehungsweise Emitron, das Super-Orthikon und das ebenfalls hochempfindliche rauschärmere Isocon. Auf diese für viele Jahre im Einsatz befindlichen Kameraröhren wird in 2. ausführlicher eingegangen.

Gemeinsames Kennzeichen aller bisher aufgeführten Kameraröhren ist die Verwendung einer Photoemissionskatode mit äußerem lichtelektrischen Effekt, das heißt, die Erzeugung freier Elektronen durch Licht. Aufbau und Wirkungsweise dieser Röhren sind in einer Vielzahl von Literaturarbeiten [1 bis 11] beschrieben.

Die Patentliteratur der zwanziger Jahre [12] weist jedoch bereits auf elektronische Bildzerlegeranordnungen für Aufnahmeröhren hin, die Katoden mit innerem Photoeffekt benutzen. Aber erst 20 Jahre später, etwa Mitte der vierziger Jahre, konnte man solche Photoleiter wie etwa Selen, Antimontrisulfid und Cadmiumselenid nach der Entwicklung geeigneter Aufdampftechniken für Bildzerlegeranordnungen nutzbar machen. Das war der Anfang einer wesentlich unterschiedlichen Generation von Kameraröhren, die dann die bis-

herigen Aufnahmeröhren gänzlich ablösen sollten. Kennzeichen der neuen Röhren sind Einfachheit im Aufbau, Kompaktheit und Reduzierung der Betriebselemente für Fokussierung und Ablenkung, zum Teil auch Steigerung der Empfindlichkeit und/oder Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Die neue Generation begann mit dem Vidikon der RCA [13], das erst viele Jahre später mit weiteren Röhren dieses Typs mit wesentlich verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Trägheit, Spektralverlauf und Gesamtempfindlichkeit unter Verwendung neuartiger Photoleiter ergänzt wurde.

Es lassen sich zwei Gruppen unterscheiden, die in ihrer Übertragungscharakteristik deutlich voneinander verschieden sind:

1. Röhren mit Photoleiter-Widerstandstarget und nichtlinearer Übertragungskennlinie,
2. Röhren mit Sperrschicht-Photoleitertarget und linearer Übertragungskennlinie.

Unter Einbeziehung der vorhandenen Literatur über diese neuartigen Kameraröhren vom Vidikon-Typ werden die Röhren in 3. im einzelnen behandelt, wobei der Schwerpunkt auf einem kritischen Vergleich der Röhreneigenschaften liegt. Sonderausführungen, insbesondere auch der Abtasteinrichtungen (Strahlsysteme), werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

In 4. werden Röhren für die Spektralbereiche Ultraviolett und Infrarot sowie für Röntgenstrahlen empfindliche Röhren beschrieben. Auf höchstempfindliche Kameraröhren, wie SEC, EIC- und SIT-Röhren, wird wegen ihres gemeinsamen Kennzeichens mit Orthikon und Super-Orthikon, der Verwendung einer Photoemissionskatode, in 2. eingegangen. In 5. werden Farbstreifen-Kameraröhren und in 6. die aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Röhren resultierenden Anwendungen behandelt.

Bildzerlegeranordnungen auf der Grundlage ladungsgekoppelter Halbleiteranordnungen (CCD-, CID-Bildsensoren) werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

## 2. Kameraröhren mit Photoemissionskatode

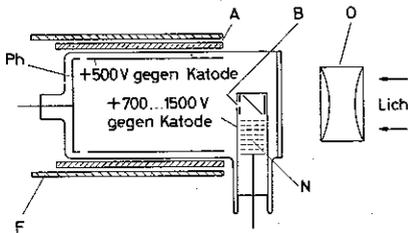
### 2.1. Dissector-Röhre

Die als Sondenröhre der Fernseh AG [4] bekannt gewordene Bildzerleger-röhre übertrug bei sehr hohen Beleuch-

Dr. Bernd Heimann ist Entwicklungsleiter des Bereichs Fernsehkameraröhren und Halbleiterschichttechnologie, Prof. Dr.-Ing. habil Dr.-Ing. E. h. Walter Heimann wissenschaftlicher Berater der Geschäftsleitung der Heimann GmbH, Wiesbaden.

tungsstärken Fernsehbilder hoher Auflösung und mit sehr geringer Trägheit. Diese beiden Eigenschaften machen sie heute noch für technisch-wissenschaftliche Sonderanwendungen, unter anderem in der Astronomie und bei der automatischen Kontrolle und Datenerfassung von Maschinenteilen und Werkzeugen, einsatzfähig.

Aufbau und Wirkungsweise gehen aus Bild 1 hervor. Das zu übertragende Bild



**Bild 1. Aufbau der Sondenröhre der Fernseh AG 1934. A Ablenkspulen, B Blendenöffnung, F Fokussierspulen, N Netz-Elektronenvervielfacher, O Objektiv, Ph Photokatode**

wird durch das Objektiv O auf eine kompakte Photokatode Ph projiziert. Dort ausgelöste Elektronen werden über eine größere Strecke beschleunigt (Anodenzylinder als Spirale ausgebildet) und mittels langer Spule in die Ebene einer Blendenöffnung B (der Größe eines Bildpunktes bei der damaligen Norm 441 Zeilen entsprechend) am Eingang eines Netz-Elektronenvervielfachers N elektronenoptisch abgebildet. Das gesamte Bündel wird in zwei Koordinaten an der Blende vorbeigeführt. Die wenigen ausgeblenden Elektronen werden in dem Netz-Elektronenvervielfacher vervielfacht und die über einen Widerstand abgeleiteten Ströme im normalen Verstärker weiterverstärkt.

## 2.2. Ikonoskop

Erst die Speicherung der über  $1/25$  s ausgelösten Photoelektronen erhöhte den Wirkungsgrad, das heißt, die Empfindlichkeit von Kameraröhren um den Faktor der Bildpunktzahl (bei der heutigen Norm etwa  $5 \cdot 10^5$ ). Verwirklicht wurde das Speicherprinzip, das auch heute noch für alle Kameraröhren gültig ist, erstmalig in dem Ikonoskop von Zworykin nach Bild 2, bei dem Projektion des Lichtbilds und Abtastung von der gleichen Seite erfolgte. Eine weitere Empfindlichkeitssteigerung um etwa den Faktor 100 brachte ein Bildwandler vor dem Speichertarget (Super-Ikonoskop, Bild 3) [14], wobei die auf etwa 1500 V beschleunigten Photoelektronen auf einer Isolatorfläche, beispielsweise einem MgO-Target, ein Mehrfaches (etwa 5 bis 8) an Sekundärelektronen auslösten. Ein schon dem Ikonoskop eigenes, dem Bildsignal überlagertes Störsignal (Abschattung über das Bildfeld) konnte durch eine zusätzliche Bestrahlung des Targets mit langsamen Elektronen kompensiert werden. Dieses sogenannte Riesel-

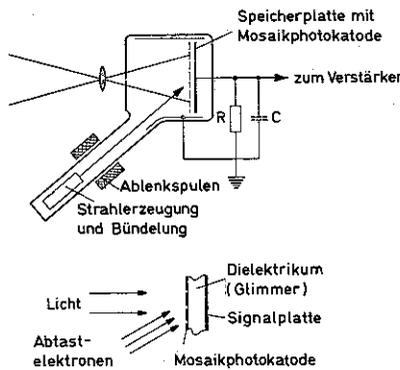
strahl) abgelöst [9]. Das Super- oder Bildwandler-Orthikon wurde für viele Jahre sowohl für den Fernsehrundfunk als auch für wissenschaftliche und technische Anwendungen die empfindlichste Kameraröhre. Aufbau und Wirkungsweise zeigt Bild 4.

## 2.3. Orthikon

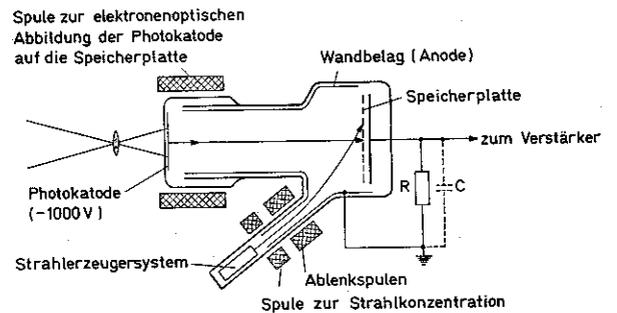
Erst die Abtastung des Speichertargets mit langsamen (vor dem Target abgebremsten) und senkrecht auf das Target gerichteten Elektronen brachte mit dem Orthikon [7] einen bedeutenden Fortschritt in der Kameraröhrentwicklung. Das Lichtbild konnte durch eine transparente Signal-Ableitungsplatte von der Gegenseite auf die Photoschicht projiziert werden. Das in England als Emitron [8] bekannt gewordene Orthikon war viele Jahre im Einsatz und wurde erst durch das Super-Orthikon (Kopplung mit einem Bildwandler und einem Elektronenvervielfacher für den mit dem Bildsignal modulierten rückkehrenden Abtast-

Teil I enthält die transparente Photokatode, auf die das zu übertragende Bild entworfen wird. Die hier ausgelösten und beschleunigten Photoelektronen werden mittels einer kombinierten elektrischen und magnetischen Linse (lange Spule) auf einer 2 bis  $5 \mu\text{m}$  dicken Glasfolie (Speicherelektrode) elektronenoptisch abgebildet. Ein feinmaschiges Netz im Abstand von 30 bis  $50 \mu\text{m}$  als Gegenelektrode bildet mit der Folie den Speichercondensator. Die auf etwa 500 V beschleunigten Elektronen erzeugen ein Mehrfaches (etwa 4faches) an Sekundärelektronen, die auf das feinmaschige Netz beschleunigt werden ( $2 \dots 4$  V), so daß sich die Folie, dem Lichtbild entsprechend, positiv auflädt. Die schwach leitende Glasfolie läßt die Ladungsverteilung in kürzester Zeit auf der Gegenseite entstehen; bei der geringen Foliendicke verhindert sie aber seitliches Abfließen der Ladung während der Bildwechselzeit.

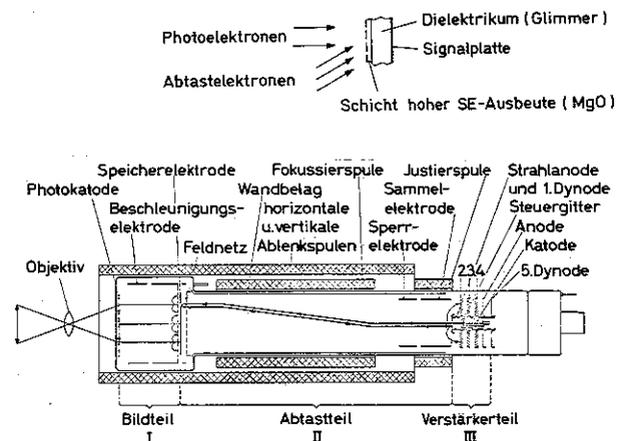
Das Target wird durch den in zwei Koordinaten abgelenkten Strahl langsamer Elektronen (Teil II) entladen. Bei symmetrischer Wirkung der Fokussierspule kehrt der Strahl der Rückelektronen auf gleichem Wege zum Strahlerzeugungssystem zurück und trifft (Teil III) auf die erste Dynode eines fünfstufigen Elektronenvervielfachers, in



**Bild 2. Aufbau der Ikonoskop-Röhre (oben) und ihres Targets (unten)**

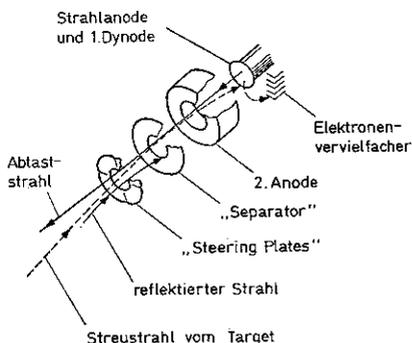


**Bild 3. Aufbau der Super-Ikonoskop-Röhre (oben) und ihres Targets (unten)**

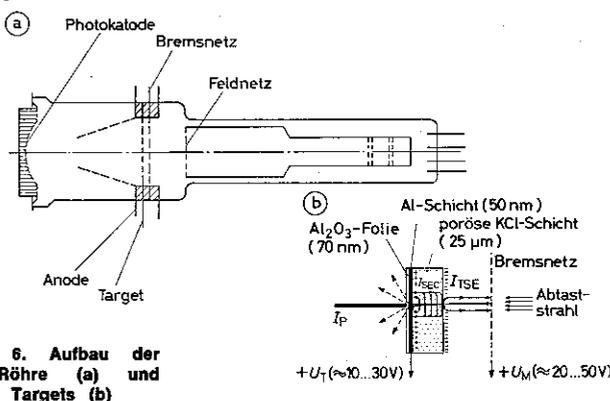


**Bild 4. Aufbau des Super-Orthikons**

dem er etwa 1000fach verstärkt wird. Der Rückstrom verkleinert sich mit größerer Ladung, d. h. Helligkeit (Negativmodulation). Der schädliche Gleichstromanteil der Rückströme – im wesentlichen reflektierte Elektronen – ist durch sorgfältige Dosierung und Ausrichtung des Abtaststrahls möglichst klein zu halten. Ebenso ist vor Inbetriebnahme der Röhre eine Temperaturstabilisierung auf etwa 40 °C zum Erreichen der optimalen Folienleitfähigkeit sowie die Einstellung des Netzpotentials mit Rücksicht auf die Lage der Übertragungscharakteristik vorzunehmen. Über mögliche Störsignale, beispielsweise Signalverzerrungen an Helligkeitsübergängen, Geisterbilder usw., und ihre Vermeidung liegen eingehende Untersuchungen vor [15]. Insbesondere sollte bei Studioübertragungen ein Helligkeitsumfang von 1 : 30 nicht überschritten werden. Hinsichtlich Empfindlichkeit und Trägheitslosigkeit gehörte das Super-Orthikon viele Jahre zur gebräuchlichsten Kameraröhre für Rundfunk, Technik und Wissenschaft.



**Bild 5. Elektrodenanordnung am Strahlerzeugungs- und Multiplierteil des Image-Isocons**



**Bild 6. Aufbau der SEC-Röhre (a) und ihres Targets (b)**

#### 2.4. Isocon

Nach Untersuchungen von Weimer [16] enthält der Rückstrom des Super-Orthikons außer den reflektierten noch am Target gestreute Elektronen, die insgesamt der Targetladung proportional sind. Bei Helligkeit fließen dann höhere Entladeströme und vergrößern damit den visuellen Störabstand bei positiver Polarität der Signalmodulation. Trennung der reflektierten und gestreuten Rückelektronen wird mit „Steering Plates“ in Verbindung mit einer „Separator“-Elektrode (Bild 5) vorgenommen. Nach Aufnahme und Ausscheiden der reflektierten Elektronen durch die „Separator“-Elektrode

werden nur die Streuelektronen in den Vervielfacher gelenkt.

Diese Betriebsweise führt zu der hochempfindlichen Kameraröhre vom Typ Isocon [10, 17], die vor allem bei geringem Lichtpegel einen bedeutend größeren Störabstand hat. Bei gleichen Bildsignalen dürfte bei Schwarz der Unterschied gegenüber dem Super-Orthikon etwa 6 dB sein.

#### 2.5. SEC-Röhre

Für die Entwicklung einer sehr empfindlichen Kameraröhre, der sogenannten SEC-Röhre (SEC = Secondary Electron Conduction), lieferte Götze [18] die Grundlage in einer Untersuchung über die Sekundäremission von Isolatoren geringer Dichte (poröse Schichten, beispielsweise KCl) in Transmission. Den Aufbau der Kameraröhre zeigt Bild 6a, den der Speicherplatte Bild 6b. Photoelektronen des vorzugsweise elektrisch fokussierten Bildwandlers treffen mit einer Energie von 6 bis 10 keV auf eine etwa 70 nm dicke Trägerfolie aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Nach Durchgang dieser und der auf sie aufgedampften 50 nm dicken Al-Schicht werden dann in der etwa 25 µm dicken porösen KCl-Schicht auf dem ganzen Wege Sekundärelektronen erzeugt. Ihre Anzahl, abhängig von der restlichen Energie der Primärelektronen, ergibt praktisch nutzbare Werte des Sekundäremissionsfaktors zwischen 40 und 100 [19, 20]. Unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes, das sich zwischen der vom Abtaststrahl getroffenen KCl-Oberfläche (Katodenpotential) und der Al-Signalplatte (10...30 V) ausbildet,

fließen Sekundärelektronen zwischen den porösen Teilchen zur Signalplatte zurück und laden zwischen zwei Abtastungen die KCl-Oberfläche positiv auf. Sie wird bei jeder Abtastung auf Katodenpotential umgeladen, und damit ergibt sich das Bildsignal. Wichtig ist die Begrenzung der Oberflächenaufladung durch das Potential (15 V) einer Netzelektrode unmittelbar vor der Abtastfläche (Bremsnetz), damit Sekundärelektronen zurückgetrieben werden, wenn die Energie der Abtaststrahlelektronen 15 eV (SE-Faktor > 1) überschreitet. Die Kennlinie der SEC-Röhre hat Sättigungscharakter; ihr Sättigungswert hängt von der Plattenspannung ab.

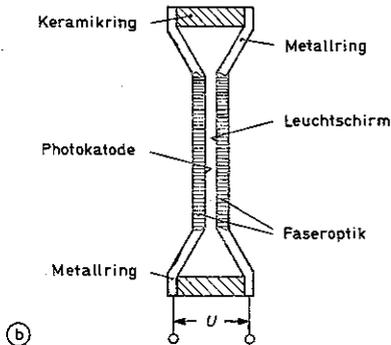
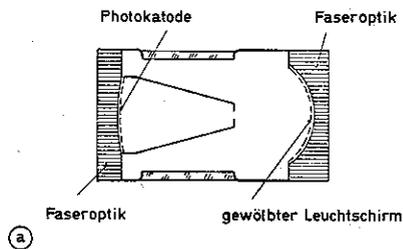
Der Störabstand der empfindlichen und infolge der hochisolierenden Targetoberfläche hervorragend speichernden Kameraröhre ist gegeben durch die statistischen Schwankungen im Photostrom und den Rauschanteil des Verstärkers. Er liegt bei etwa 32 dB und ist damit halb so groß wie der des 3"-Super-Orthikons.

Die SEC-Röhre [21] wird ihrer hohen Empfindlichkeit wegen vorzugsweise für technische und wissenschaftliche Anwendungen benutzt. Beispielsweise wurde die 1. Mondübertragung mit einer SEC-Röhre durchgeführt. Ihre Empfindlichkeit läßt sich durch Variation der Primärelektronenenergie in weiten Bereichen ändern und kann durch einen Stapelbetrieb noch wesentlich gesteigert werden. Bei kleiner Targetkapazität ist die Trägheit im Normalbetrieb gering, vergleichbar mit der des später noch beschriebenen PbO-Vidikons.

#### 2.6. EIC-Röhre, SIT-Röhre

Wird das Target der SEC-Röhre durch eine – später noch ausführlicher beschriebene – Si-Multidiodenplatte ersetzt, so erreicht man wegen der Erhöhung des Sekundäremissionsfaktors auf etwa 2000 bei einer Energie der Primärelektronen bis zu 10 keV eine sehr stabile und hochempfindliche Kameraröhre, die unter der Bezeichnung EIC- beziehungsweise SIT-Röhre (EIC = Electron Induced Conduction, SIT = Silicon Intensifier Target) bekannt geworden ist [22, 23, 24]. Im Gegensatz zur SEC-Röhre mit freien Elektronen in der porösen KCl-Schicht werden beim Aufprall der Primärelektronen auf das Si-Target Ladungsträger beider Polaritäten angeregt, die eine hohe Leitfähigkeit zur Folge haben. Wie bei allen Targets mit PN-Übergängen, so ergibt sich auch hier eine Übertragungscharakteristik mit  $\gamma=1$ . Die Grenzauflösung der Röhre erreicht bei mittleren Signalströmen einen Wert von 7 MHz; die Trägheit ist um ein Mehrfaches höher als die der SEC-Röhre; der Störabstand wird mit abnehmender Beleuchtung kleiner.

Nach Einführung der sogenannten Faseroptik (zusammengeschmolzene Lichtleiter) war eine relativ verlustarme Lichtbild-Kopplung von Kameraröhren mit einem elektronischen Bildverstärker in einer oder auch mehreren Stufen möglich. Zwei grundsätzliche Ausführungsformen für den Bildverstärker haben sich in der Praxis bewährt: Der elektronenoptische Bildwandler beziehungsweise Verstärker (Bild 7a) und der Biplanarwandler (Bild 7b). Ersterer erfordert zur einwandfreien elektronenoptischen Abbildung einen konkav gewölbten Glasträger für die Photoemissionskatode und auch eine leichte Wölbung des Leuchtschirms, um Fehler wie Bildfeldwölbung und kissenförmige Verzerrung zu vermeiden. Die Außen-



**Bild 7. Lichtbild-Kopplung von Kameraröhre mit elektronischem Bildverstärker über Faseroptik; a) elektrostatisch, b) biplanar**

flächen der Glasträger sind im Sinne der Lichtoptik Planflächen. Wird der Glasträger als Faseroptik ausgebildet, so läßt sich in idealer Weise die Korrektur für Licht- und elektronenoptische Abbildung vereinigen.

Wird der biplanare Typ einstufig verwendet, so besteht lediglich der Schirmträger aus einer Faseroptik zur Kopplung mit dem entsprechenden Eingang der Kameraröhre. Bei zwei oder mehreren Stufen ist sinngemäß auch der Photokatodenträger als Faseroptik auszubilden.

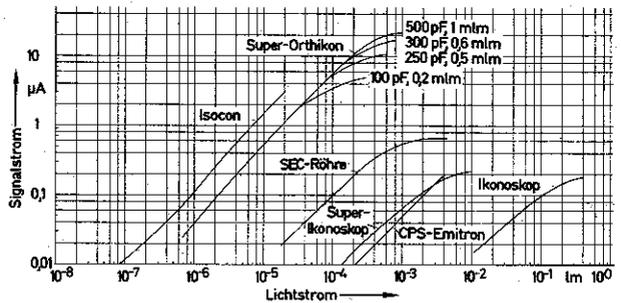
Die Lichtverluste in einer Faseroptik sollten 20% nicht überschreiten; bei einem Faserdurchmesser von 7 µm kann man bei der Übertragung in einer Stufe etwa 60 Lp/mm, bei zwei Stufen etwa 40 Lp/mm in der Auflösung erwarten. Wenn auch die Grenzempfindlichkeit der mit Bildverstärker gekoppelten Röhren wesentlich gesteigert werden kann, so ist das Signal-Rausch-Verhältnis wegen der geringen Quantenausbeute der Photokatode durch den Photonenrausch begrenzt. Um das S/N-Verhältnis zu steigern, ist die bedeutend höhere Quantenausbeute der Photowiderstandsschichten zu nutzen.

Als Abschluß dieses Kapitels sei ein Vergleich der Übertragungscharakteristiken von Kameraröhren mit Photoemissionsschichten im **Bild 8** vorgenommen.

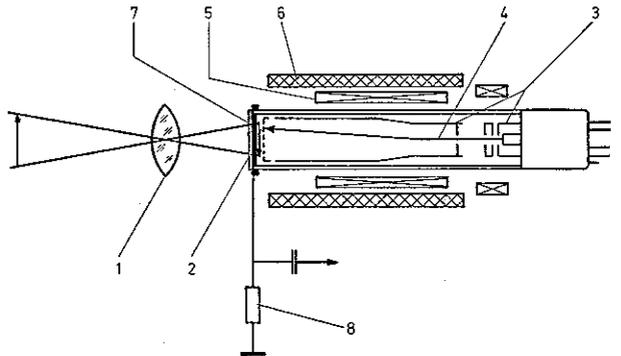
### 3. Fernsehkameraröhren mit Photoleitertarget

Über Fernsehkameraröhren mit Photoleitertarget vom Vidikontyp ist in jüngster Zeit eine Reihe von Literaturarbeiten erschienen [25 bis 29]. Es sei an dieser Stelle nochmals eine Zusammenfassung, einschließlich einiger ergänzender Aspekte zu dieser Klasse von Kameraröhren, gebracht.

**Bild 8. Übertragungskennlinien verschiedener Kameraröhren**



**Bild 9. Schematischer Aufbau eines Vidikons; 1 Objektiv, 2 Photoleitertarget, 3 Strahlenerzeugersystem, 4 Elektronenstrahl, 5 Ablenkspule, 6 Fokussierspule, 7 Feldnetz, 8 Arbeitswiderstand (Videosignal)**



### 3.1. Röhren mit nichtlinearer Kennlinie

Röhren mit nichtlinearer Übertragungskennlinie (Übertragungsfaktor  $\gamma < 1$ ) zeichnen sich durch einen großen dynamischen Signalbereich aus. Typische Vertreter dieser Klasse sind das Antimontrisulfid-Vidikon ( $0,5 \leq \gamma < 1$ ) und mit Einschränkung das Selen-Vidikon. Bei diesen Röhren zeigt darüber hinaus der Signalstrom als Funktion der Signalplattenspannung keine Sättigungscharakteristik, das heißt, Bildsignal und Dunkelstrom hängen von der Signalplattenspannung ab, was eine problemlose elektronische Empfindlichkeitsregelung ermöglicht. Die obere Grenze des Regelbereichs ist dabei festgelegt durch den maximal zulässigen Dunkelstrom.

#### 3.1.1. Antimontrisulfid-Vidikon

Zu dem 1951 von der RCA entwickelten Antimontrisulfid-(Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-)Vidikon existiert eine umfangreiche Fachliteratur [13, 30 bis 38]. In der Folgezeit entstanden Entwicklungen, die eine Verbesserung des Photoleitertargets, des Elektronenstrahl-Erzeugersystems und eine Reduzierung des Röhrenformats (1" → 2/3" → 1/2"-Format) zum Ziel hatten. Spezialröhren für hochauflösende Kamerasysteme entstanden im 2"-Format [39]. Das Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Vidikon behauptet noch heute seinen Platz, vor allem bei industriellen Anwendungen wegen seines niedrigen Preises und seiner Eigenschaften: elektronische Empfindlichkeitsregelung und großer dynamischer Bereich. Der im **Bild 9** dargestellte Aufbau und die daran erläuterte Funktionsweise eines Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Vidikons sind mit Ausnahme des Photoleitertargets charakteristisch für alle

Kameraröhren dieses Typs. Durch ein Kameraobjektiv 1 wird das optische Bild auf das Eingangsfenster und damit Photoleitertarget 2 des Vidikons projiziert. Die Rückseite des Targets wird rasterförmig durch den mittels eines Strahlenerzeugersystems 3 erzeugten Elektronenstrahl 4 abgetastet. Strahlablenkung und Strahlfokussierung erfolgen im allgemeinen elektromagnetisch mit Hilfe von Ablenkspulen 5 bzw. Fokussierspulen 6. Das in der Abbildung skizzierte Feldnetz 7 sorgt für ein möglichst normales Auftreffen der Strahlelektronen auf die Targetoberfläche. In dem Bremsfeld zwischen Feldnetz und Target werden die Elektronen auf Energien nahe 0 eV abgebremst (Abtastung durch langsame Elektronen).

Das im allgemeinen direkt auf das Eingangsfenster der Kameraröhre mittels Aufdampftechnik aufgebraachte Photoleitertarget besteht aus einer transparenten leitenden Schicht aus SnO<sub>x</sub> ( $x < 2$ ) (Signalelektrode) und im Fall des Antimontrisulfid-Vidikons aus einer Schichtfolge von porösen und kompakten Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Schichten. Die Röhreneigenschaften werden maßgeblich durch Art der Schichtfolge, Anzahl und Zusammensetzung der Einzelschichten bestimmt. Auch an das Photoleitermaterial und Target sind Forderungen bezüglich spektraler Empfindlichkeitsverteilung (das heißt Bandabstand des Halbleiters), elektrischer Kapazität ( $< 2$  nF je Rasterfläche) und spezifischem Widerstand ( $> 10^{10}$  Ωcm) zu stellen. Durch Aufbringen von porösen Photoleiterschichten läßt sich die Leitfähigkeit transversal (Auflösungsvermögen) und normal (Dunkelstrom) zur Schichtoberfläche sowie die Targetkapazität (Empfindlichkeit, Trägheit) reduzieren.

Die Erzeugung eines elektrischen Signals (Videosignal) aus dem optischen geschieht in folgender Weise: Der die Oberfläche des Targets zeilenweise abtastende Elektronenstrahl lädt diese auf Katodenpotential auf. Weiterhin ankommende Elektronen werden reflektiert. Über die positiv vorgespannte Signalelektrode fließt nur der durch den Dunkelwiderstand des Targets bestimmte Dunkelstrom. Bei Lichteinfall werden durch den inneren Photoeffekt freie Ladungsträger (Elektronen und Defektelektronen) gebildet, die unter dem Einfluß des anliegenden Feldes als raumladungsbegrenzte Ströme in entgegengesetzter Richtung abfließen (Leitfähigkeitsänderung). Als Folge davon ändert sich das Potential der Oberfläche: Es entsteht eine der Helligkeitsverteilung des optischen Bildes entsprechende positive Ladungsverteilung (Potentialrelief). Die nun erfolgende Entladung dieses Reliefs durch den abtastenden Elektronenstrahl ergibt einen Entladungsstrom (Verschiebungsstrom), der sich am Arbeitswiderstand  $8$  (s. Bild 9) als Spannungsänderung (Videosignal) bemerkbar macht. Der Elektronenstrahl liest und löscht bis auf Restladungen die vorhandene Ladungsverteilung innerhalb einer Abtastperiode von im allgemeinen  $1/25$  s. Auch hier beruht die Speicherwirkung des Photoleitertargets auf der Fähigkeit des Targets, innerhalb der genannten Abtastperiode je Bildpunkt alle Ladungen zu integrieren, die von dort auftreffenden Photonen erzeugt worden sind.

Herausragende Eigenschaften des  $Sb_2S_3$ -Vidikons wurden bereits genannt. Zu nennen ist weiterhin das hohe Auflösungsvermögen des Photoleitertargets, so daß bei Verwendung spezieller, hochauflösender Elektronenstrahlssysteme Modulationstiefen im Bildsignal bis zu 90% bei einer Ortsfrequenz von 5 MHz (Normraster 9,6 mm x 12,8 mm) erreichbar sind. Nachteile dieser Röhre, die ihre Verwendung im Fernsehgrundfunk ausschließen, sind eine relativ hohe Trägheit (hoher Anteil lichtelektrischer Trägheit, verursacht durch Photoleiterhaftstellen) und der von der Signalplatten-spannung abhängige, relativ hohe Dunkelstrom. In Tabelle I, die einen Datenvergleich von  $Sb_2S_3$ -Vidikonröhren verschiedener Hersteller aufzeigt, sind Eigenschaften und Kenndaten des  $Sb_2S_3$ -Vidikons im einzelnen ablesbar. Tabelle II, am Ende dieses Kapitels, gibt darüber hinaus einen Datenvergleich dieser Röhre mit Sperrschicht-Photoleiterröhren des Vidikontyps.

### 3.1.2. Selen-Vidikon

In den ersten, 1950 von der RCA vorgestellten Vidikons wurde als Photoleiterschicht amorphes Selen verwendet [13, 30, 40]. Das Selen-Vidikon in seiner ursprünglichen Form hat heute nur noch eine begrenzte Anwendung als röntgenempfindliches Vidikon. Amor-

**Tabelle I. Daten von  $1''$ - $Sb_2S_3$ -Vidikon-Röhren verschiedener Hersteller**

Rastergröße 9,6 mm x 12,8 mm, Targettemperatur 30 °C, Dunkelstrom 20 nA, Beleuchtungsstärke 8 lx (bei 2856 K), Gitter 3: Spannung 620 V, Gitter 4: Spannung 860 V; angegebene Werte sind Mittelwerte

Hersteller Typenbezeichnung	EMI 9677	Heimann XQ 1292	Heimann 2460	Hitachi 8507	Matsushita 401-58	RCA 8541	Valvo XQ 1241
Signalplatten- spannung [V]	53	40	25	25	28	31	32
Signalstrom [nA]	250	360	400	330	290	250	310
Signalstromab- weichung in Rasterrechen [%]	8	8	5	7	8	12	10
Maximum der spektralen Ver- teilung bei $\lambda$ [nm]	480	460	470	520	-	510	510
Restsignal nach 5/20 HB [%]	16/7	15/5	7/2	7/2	8/3	11/4	9/4
Nachbild	merkl.	merkl.	schwach	schwach	schwach	merkl.	merkl.
sichtbarer Unter- grund bei Dunkel- strom ( $\geq$ ) [nA]	150	45	250	200	50	95	40
Modulationstiefe bei 5 MHz [%]	-	70	70	68	63	65	63

phes Selen bildet jedoch, allerdings definiert fremddotiert, in dem Sperrschicht-Photoleitertarget des Saticons die lichtempfindliche Photoleiterschicht. Auch die ersten Selen-Vidikon-Targets hatten bereits Sperrschichtcharakter, was einen niedrigen Dunkelstrom von  $< 1$  nA und einen Gamma-Wert von  $\approx 0,9$  bei geringen Beleuchtungsstärken zur Folge hatte. Wegen des sich ändernden Gamma-Werts bei hohen Beleuchtungsstärken (raumladungsbegrenzter Photostrom) ist diese Röhre unter 3.1. eingeordnet. Ähnlich dem  $Sb_2S_3$ -Vidikon, hat das Selen-Vidikon die Möglichkeit einer Empfindlichkeitssteuerung mittels Änderung der Platten-spannung. Es eignet sich darüber hinaus wegen seiner ausgezeichneten Speicherfähigkeit sehr gut für eine „slow scan“-Betriebsweise [41]. Entscheidender Nachteil der Röhre ist die Temperaturinstabilität des Photoleitertargets. Bei Targettemperaturen  $> 40$  °C erscheinen im Bildsignal irreversible weiße Flecke, die durch lokale Bereiche erhöhter Leitfähigkeit (Auskristallisation des amorphen Selen) gebildet werden. Auf die Möglichkeit, polykristallines Selen als Photoleitertarget zu benutzen, wurde kürzlich hingewiesen [42].

### 3.2. Röhren mit linearer Kennlinie (Sperrschicht-Photoleitertarget)

Die im folgenden beschriebenen Vidikon-Röhren mit Sperrschicht-Photoleitertarget zeichnen sich durch eine lineare Übertragungskennlinie ( $\gamma \approx 1$ ) aus. Der Signalstrom als Funktion der Signalplatten-spannung hat Sättigungs-

charakter; die Betriebsspannung der Röhren liegt im allgemeinen im Bereich der Signalstromsättigung. Damit entfällt die Möglichkeit einer elektronischen Empfindlichkeitsregelung bei diesem Röhrentyp.

Die Beschreibung der Röhren beschränkt sich auf die Darstellung von Aufbau und Funktionsweise des Sperrschicht-Photoleitertargets, des wesentlichen für die einzelnen Typen charakteristischen Bauteils. Auf einige Sonderbauformen der Röhren und Elektronenstrahlssysteme, wie „Bias-Lighting“ und „ACT“ (Anti-Comet-Tail) wird in Form von Schrifttumsangaben hingewiesen.

#### 3.2.1. Bleioxid-Vidikon

Das unter dem Markennamen Plumbicon 1962 von Philips entwickelte Bleioxid-(PbO)-Vidikon [43 bis 48] ist die heute praktisch ausschließlich im runderfunktartigen Fernsehbetrieb eingesetzte Fernsehkameraröhre. Diese Vorzugstellung ergibt sich im wesentlichen aus den dieser Anwendung optimal angepaßten Eigenschaften:

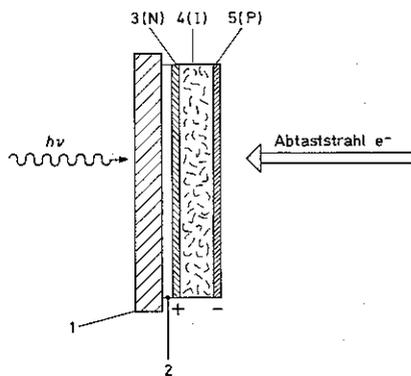
- der kompakten Bauform und einfachen Betriebsweise,
- der Fähigkeit, schnellen Bildwechseln nahezu trägheitslos zu folgen, und
- dem sehr niedrigen und über die Bildfläche sehr konstanten Dunkelstrom.

Die integrale Empfindlichkeit der Röhre ist mit der eines hochempfindlichen  $Sb_2S_3$ -Vidikons vergleichbar. Mit der Entwicklung einer „Extended Red“-Röhre [49] sowie spezieller Elektronenstrahlssysteme [50] in Verbindung mit einer Dickenreduzierung der Photo-

leiterschicht konnten zwei Nachteile, mangelnde Rotempfindlichkeit und begrenzte Auflösung, beseitigt werden. „Bias Light“- [37, 51] und ACT-Technik [52] brachten weitere Verbesserungen: Die Möglichkeit eines Kamerabetriebs bei reduzierter Beleuchtungsstärke ohne merkliche Verschlechterung der Trägheitseigenschaften und die Verbesserung des „Blooming“-Verhaltens. Letztere Techniken sind jedoch aufwendig und bringen gewisse Nachteile mit sich, so beispielsweise einen höheren und über die Bildfläche nicht mehr konstanten Dunkelstrom („Bias Lighting“).

Trotz der relativ aufwendigen Herstellung des PbO-Photoleitertargets und Problemen der Langzeitstabilität (vor allem bei der „Extended Red“-Version), wird das PbO-Vidikon heute von einer Reihe von Kameraherstellern gefertigt. Praktisch im Einsatz sind nahezu ausschließlich die Röhrenformate 1" (Fernsehrundfunk-Studiobetrieb) und 2/3" (Fernsehrundfunk-ENG, professionelles Fernsehen).

Das PbO-Sperrschicht-Photoleitertarget ist in Form einer NIP-Photodiode aufgebaut (Bild 10). Auf das Glassubstrat 1



**Bild 10. Aufbau eines PbO-Vidikon-Targets; 1 Glassubstrat, 2 Signalelektrode, 3 N-leitende Zone, 4 eigenleitende (I-)Zone, 5 P-leitende Zone**

und darauf aufgebracht, transparenter Signalelektrode 2 wird mittels Aufdampftechnik eine 10 bis 20 µm dicke Schicht der roten, tetragonalen Modifikation von PbO niedergeschlagen. Diese Modifikation stellt einen amphoteren Halbleiter dar, das heißt, durch geeignete Aufdampfbedingungen läßt sich nahe der Signalelektrode eine N-leitende Zone 3 (Sauerstoffmangel), im Anschluß daran eine eigenleitende Zone 4 (stöchiometrisches PbO) und eine P-leitende Zone 5 (Sauerstoffüberschuß) ausbilden. Beim Anlegen einer positiven Spannung an die Signalplatte und Abtasten des P-Kontakts mit einem Elektronenstrahl wird die Photodiode in Sperrichtung vorgespannt. Das heißt, die schmalen N- und P-Zonen verhindern eine Injektion von Defektelektronen aus der Signalelektrode beziehungsweise Elektronen aus dem abtastenden Elektronenstrahl in den eigenleitenden Targetbereich (niedri-

ger, von der Signalplattenspannung unabhängiger Dunkelstrom). Von Licht in diesem Bereich erzeugte Ladungsträger können sich hingegen ungehindert unter dem Einfluß des anliegenden Felds in Richtung Signalplatte (Elektronen) beziehungsweise freier Oberfläche (Defektelektronen) bewegen.

Der Photostrom erreicht einen Sättigungswert, wenn über ein ausreichend hohes Feld (Signalplattenspannung > 40 V) alle erzeugten Ladungsträger abfließen. Die Diffusionslängen der Ladungsträger in hochreinem tetragonalen PbO sind groß [53], was eine relativ große Schichtdicke der Photoleiterschicht ( $\leq 20 \mu\text{m}$ ) ohne merklichen Signalverlust erlaubt. Das und die poröse Struktur des Targets ergeben eine geringe Targetkapazität und dadurch bei praktisch nicht vorhandener lichtelektrischer Trägheit ein insgesamt sehr gutes An- und Abklingverhalten. Die poröse Struktur und die spezielle Form der PbO-Kristallite bringen jedoch als Nachteile eine extreme Empfindlichkeit des Targets gegen atmosphärische Einflüsse sowie Stabilitätsprobleme aufgrund von Diffusions- und Photodesorptionsprozessen. Kritisch sind diese Prozesse im besonderen bei der „Extended-Red“-Röhre, deren Targetoberflächenzone durch Behandlung mit Schwefelwasserstoff in eine PbO-PbS-Mischkristallphase umgewandelt ist.

### 3.2.2. Silizium-Multidioden-Vidikon

Die Konzeption, die flächenhafte Anordnung von einzelnen Silizium-Photodioden in Form eines mosaikartigen Sperrschicht-Photoleitertargets in einer Kameraröhre für die Bildtelefonie zu nutzen, wurde Ende der sechziger Jahre in den Bell-Laboratorien entwickelt [54]. Der rasche Fortschritt in der großintegrierten Schaltungstechnik auf Si-Basis trug dann dazu bei, daß das Si-Multidioden-Vidikon in kurzer Zeit Fertigungsreife erlangte. Die anfangs in diese Röhre gesetzten Erwartungen konnten jedoch wegen der insgesamt aufwendigen Fertigungstechnologie des Targets und einiger wesentlicher Nachteile der Röhre gegenüber Kameraröhren mit in Aufdampftechnik hergestellten Photoleitertargets nicht erfüllt werden. Diese Nachteile sind

- schwierig beherrschbare Fehlerfreiheit des Targets und damit Fleckenfreiheit der Röhre,
- stark temperaturabhängiger Dunkelstrom und
- begrenzte Auflösung.

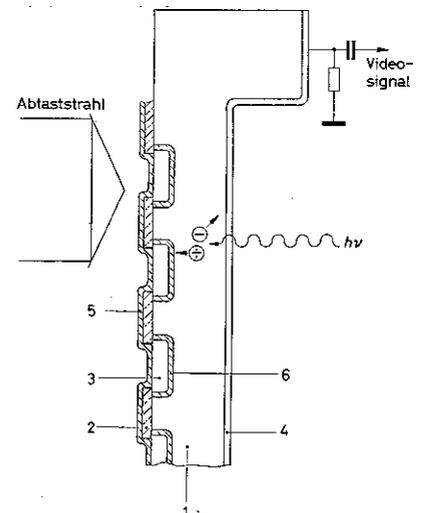
Weitere anfänglich vorhandene Nachteile, wie „Blooming“ und begrenzte Lebensdauer des Targets wegen Zerstörung durch weiche Röntgenstrahlung, konnten durch Weiterentwicklungen nahezu beseitigt werden [55, 56].

Vorteile sind die hohe Empfindlichkeit und breite spektrale Verteilung der Empfindlichkeit (über das gesamte

sichtbare bis in das IR-Spektrum reichend), die Einbrennfestigkeit und Belastbarkeit durch hohe Lichtströme.

Das Multidiodentarget hat heute noch als zentrales Bauelement der EIC- beziehungsweise SIT-Röhre (s. 2.6.), die Si-Multidioden-Röhre im Anwendungsbereich Überwachung (s. 6.) Bedeutung. Eine Reihe von Literaturarbeiten [57 bis 64] beschreibt Aufbau und Funktionsweise des Multidiodentargets. Anhand von Bild 11 sei das mittels photolithographischer und Planartechnik herzustellende Target kurz beschrieben.

Substrat der Multidiodenanordnung ist ein N-leitender (im allgemeinen phosphor dotierter) Si-Einkristall 1 mit einem spezifischen Widerstand von etwa 10 Ωcm. Diskrete, elektrisch gegeneinander isolierte Dioden werden nach Oxidation des N-Siliziums (Bildung einer SiO<sub>2</sub>-Schicht, Zone 2) durch Eindiffusion von Bor durch ausgeätzte Bereiche (Fenster) der Oxidschicht in das



**Bild 11. Aufbau eines Silizium-Multidioden-Targets; 1 N-leitender Si-Einkristall, 2 SiO<sub>2</sub>-Schicht, 3 P-leitende Zone, 4 N<sup>+</sup>-Oberflächenzone, 5 „Resistive Sea“-Zone, 6 Verarmungsrandschicht**

N-Silizium gebildet (P-leitende Zone 3). Die Ausbildung eines solchen Mosaiks aus etwa 500 000 diskreten Photodioden je Rasterfläche gewährleistet eine hinreichend niedrige Querleitfähigkeit des Photoleitertargets. Der geometrische Abstand der Photodioden ist  $\approx 20 \mu\text{m}$ , die Größe der Oxidfenster  $\approx 7,5 \mu\text{m}$ .

Zwei Techniken werden benutzt, um eine zu starke negative Aufladung der Targetoberfläche (hochisolierendes Oxid) durch den abtastenden Elektronenstrahl zu vermeiden:

1. die „Resistive Sea“-Technik [60]; die Aufbringung einer zusammenhängenden dünnen Schicht geeigneten Widerstands über die Diodenstruktur (Zone 5). Hierfür in Frage kommende Materialien sind Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, GaAs, SiN, Ha(Ta)N und CdTe,
2. die Technik der „Beam Landing Pads“ [60], die Aufbringung diskre-

**Tabelle II. Daten neuerer Kameraröhren**

Röhrentyp	Super-Orthikon	Vidikon, Resistron	Plumbicon, Leddicon	Si-Vidikon	Chalnicon, Pasecon	Saticon	Newvicon
Photoschicht	S 10,S 20	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	PbO (PbO-S)	Si-Dioden	CdSe	SeAsTe	ZnSe-ZnCdTe
Durchmesser [mm]	75, 115	38, 25, 18	30, 25, 18	25, 18	25, 18	25, 18	25, 18
Bildgröße auf Photoschicht [mm]	24 × 32	9,6 × 12,8	9,6 × 12,8	9,6 × 12,8	9,6 × 12,8	9,6 × 12,8	9,6 × 12,8
Lichtstrom für Weiß [mlm]	0,5/0,2	0,5 ... 200	0,5	0,2	0,08	≈0,2	≈0,1
Empfindlichkeit (sichtbarer Bereich) [μA/lm]	50, 150	variabel	400	900	1500	350	1200
Signalstrom [μA]	~ 10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Dunkelstrom [nA]	—	15 ... 20	< 1	7 ... 15	< 1	< 1	6
Trägheit, Restsignal nach 60 ms [%]	2	15 ... 25	1 ... 2	5 ... 8	10	2 ... 3	10
Kennlinie (·)	1 ... 0,6	0,85 ... 0,65	1	1	1	1	1
Modulationstiefe bei 5 MHz [%]	60 ... 80	50 ... 70	45 ... 60	40	50 ... 70	60	55
Störabstand [dB]							
ohne Entzerrung (unbewertet)	35 ... 40	45	45 ... 47	45	> 45	> 45	> 45
mit Entzerrung (bewertet)	42 ... 48	57	54 ... 56	55	55	55	55
Störsignale in Schwarz in Weiß [°]	± 3 ± 10	± 3 ± 10	± 1 ± 10	± 3 ± 10	± 1 ± 10	± 1 ± 10	± 1 ± 10
Störeffekte	Halos, Kanteneff.	Nachziehen, Dunkelstrom	Fackeleffekte bei Überbelichtungen Flecken, Dunkelstrom		Nachziehen	Temperatur max. 50 °C	Dunkelstrom
spezielle Ausführungen	untersch. Empfindlichkeiten und Störabstände	Doppelröhre „Bivicon“	ACT-System Lichtleiter für Auflicht	Auflichtröhre			

ter metallischer Inselbereiche über den einzelnen Dioden.

Die Funktionsweise des Si-Multidioden-Targets ist ähnlich der eines zusammenhängenden Sperrschicht-Photoleitertargets:

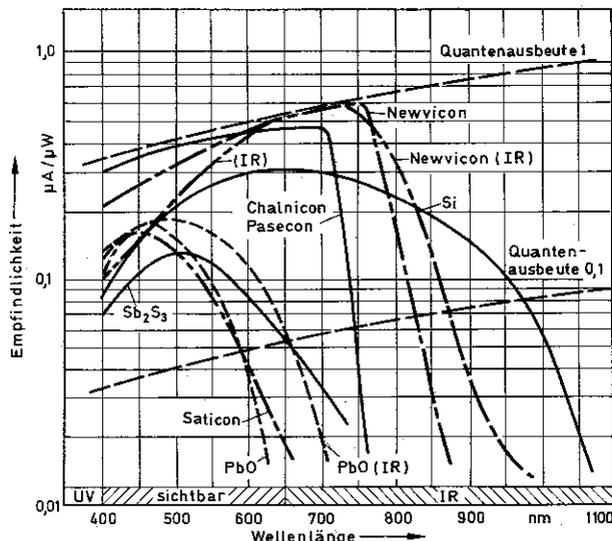
Das N-Substrat befindet sich auf positivem Potential, die Diodenseite des Targets wird durch den abtastenden Elektronenstrahl auf Null-(Katoden-) Potential gehalten. Damit ist das Target in Sperrichtung vorgespannt. Es fließt ein temperaturabhängiger geringer Dunkelstrom. Unter dem Einfluß der über den P-N-Übergängen liegenden Sperrspannung kommt es zur Ausbildung von Verarmungsrandzonen (Zone 6) unter den Dioden. Einfallendes Licht von der Substratseite her erzeugt Ladungsträger beiderlei Vorzeichens. Die Ausbildung einer schmalen N<sup>+</sup>-Oberflächenzone 4 (s. Bild 11) verhindert eine vorzeitige Rekombination der Ladungsträger [65]. Defektelektronen bewegen sich in Richtung der Verarmungszonen und entladen die aufgebaute Diodenkapazität innerhalb einer Bildperiode. Der abtastende Elektronenstrahl führt zur erneuten Aufladung bis auf Katodenpotential. Dieser Ladestrom bildet das Videosignal.

Die charakteristischen Daten der Si-Multidioden-Röhre sind der **Tabelle II** zu entnehmen; die spektrale Empfindlichkeitsverteilung zeigt **Bild 12** neben den Verteilungen anderer Kameraröhren mit Photoleitertarget.

**3.2.3. Röhren mit Hetero-Sperrschicht-Target**

In den siebziger Jahren entstanden Vidikon-Röhren mit Sperrschicht-Photo-

leitertarget, dessen gemeinsames Kennzeichen ein sperrender Übergang zwischen unterschiedlichen Substanzen (Hetero-Übergang) ist. 1972 wurde das Chalnicon von Toshiba [66 bis 70], 1973 das Saticon (= Selen-Arsen-Tellur-Vidicon) von NHK/Hitachi [71 bis 73], 1974 das Newvicon von Matsushita [74] und 1977 das Pasecon (= Panchromatic Sensitive Vidicon) von Heilmann eingeführt. Eine Reihe von ex-



**Bild 12. Spektralempfindlichkeiten verschiedener Vidikon-Kameraröhren**

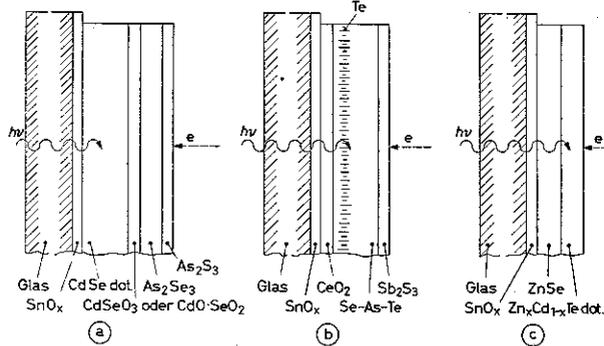
perimentellen Arbeiten [75 bis 77] behandelt Photoleitertargets mit modifizierten Hetero-Übergängen unter Verwendung von Chalcogenid-Photoleitorschichten. Die neu eingeführten Röhren haben ausnahmslos mittels Aufdampftechnik hergestellte Vielschichttargetts und zeichnen sich durch teilweise deutlich verbesserte Eigenschaften aus. Ihre Gamma-Werte liegen nahe 1, ihre Strom-Spannungs-Kennlinien haben Sättigungscharakter.

Hervorhebenswerte Eigenschaften dieser neuen Vidikon-Röhren sind eine sehr breite spektrale Verteilung und insgesamt sehr hohe lichtelektrische Empfindlichkeit (s. Bild 12) bei Chalnicon, Pasecon und Newvicon.

Die Empfindlichkeiten der drei Röhrentypen sind im sichtbaren Spektralbereich (400...650 nm) praktisch gleich (etwa das 10fache der  $Sb_2S_3$ -Vidikon-Empfindlichkeit), im Blauen haben Chalnicon und Pasecon, im Roten und Infraroten das Newvicon höhere Signale. Weiterentwicklungen mit in den nahen IR-Spektralbereich ausgedehnten Empfindlichkeitsverteilungen wurden vor kurzem eingeführt (IR-Newvicon) oder werden in Kürze erscheinen (IR-Chalnicon, IR-Pasecon). Die drei Röhrentypen sind in ihren Trägheitseigenschaften sehr ähnlich. Bei mittleren Beleuchtungsstärken liegen An- und Abklingverhalten zwischen denen des PbO- und des  $Sb_2S_3$ -Vidikons. Bei geringsten Beleuchtungsstärken kann ein sich deutlich verschlechterndes An- und Abklingverhalten beim Chalnicon und beim Pasecon durch Verwendung der „Bias Light“-Technik verbessert werden. Chalnicon und Pasecon zeichnen sich aus durch einen temperaturstabilen, sehr niedrigen Dunkelstrom ( $< 1 \text{ nA}$  bei  $30^\circ\text{C}$ ); der Dunkelstrom des Newvicon liegt höher (etwa  $10 \text{ nA}$  bei  $30^\circ\text{C}$ ) und ist stark temperaturabhängig ( $200 \dots 300 \text{ nA}$  bei  $60^\circ\text{C}$ ). Dieser erhöhte Dunkelstrom verhindert bei geringen Beleuchtungsstärken eine zu starke negative Umladung der freien Targetoberfläche und gewährleistet damit eine relativ gleichbleibende Strahlannahme, was ein von der Beleuchtungsstärke relativ unabhängiges An- und Abklingverhalten zur Folge hat.

Die Röhreneigenschaften des Saticons sind denen des PbO-Vidikons sehr ähnlich bezüglich Dunkelstrom, spektraler Verteilung und Empfindlichkeit (s. Bild 12). Letztere liegt um etwa 20% unter der des PbO-Vidikons. Durch Verwendung verbesserter Elektronenstrahlensysteme [78] konnten die Trägheitseigenschaften bis auf einen Faktor 2 denen des PbO-Vidikons angenähert werden. Das Saticon hat darüber hinaus eine dem  $Sb_2S_3$ -Vidikon vergleichbare hohe Auflösung. Wesentlicher Nachteil der Röhre ist ihre Einsatzfähigkeit in einem nach oben begrenzten Temperaturbereich ( $\leq 50^\circ\text{C}$ ). Bei höheren Temperaturen reduziert sich die Lebensdauer drastisch durch eine

**Bild 13. Aufbau verschiedener Heterosperrschicht-Targets; a) Chalnicon, Pasecon, b) Saticon, c) Newvicon**



irreversible Entstehung weißer Flecke (auskristallisiertes Selen) im Bildsignal. Vorteil ist eine gegenüber dem PbO-Vidikon vereinfachte Herstellungstechnik.

**Bild 13** zeigt den Aufbau der Heterosperrschicht-Targets der genannten Kameraröhren. Bezüglich ihrer Funktionsweise (Stromverstärkung, Speicherwirkung und Sperrverhalten) sei auf das Schrifttum verwiesen [28, 67, 73]. Die Kenndaten der Röhren sind in Tabelle II vergleichsweise zusammengefaßt.

Bild 13a zeigt einen Ausschnitt des Chalnicon- beziehungsweise Pasecon-Targets. Ähnlich den in den Bildern 3b und 3c dargestellten Targets ist auf das Glassubstrat zunächst eine transparente, leitende Schicht (Signalelektrode  $\text{SnO}_x$ ) aufgebracht. Es folgt eine 1,5 bis  $2,5 \mu\text{m}$  dicke Schicht aus N-leitendem CdSe mit für Chalnicon und Pasecon unterschiedlicher Dotierung. Dotierungselemente sind Cu, In und die Halogenide. Als dritte Schicht folgt die für das Sperrverhalten des Targets wesentliche, etwa  $100 \text{ nm}$  dicke Schicht aus  $\text{CdSeO}_3$  (Chalnicon) bzw.  $\text{CdO} \cdot \text{SeO}_2$  (Pasecon). Diese Schicht bildet mit den beiden Deckschichten aus P-leitendem  $\text{As}_2\text{Se}_3$  und  $\text{As}_2\text{S}_3$  (Chalnicon FR) oder eigenleitendem Selenid und Sulfid (Pasecon) den Hetero-Übergang des Targets.

Bild 13b zeigt den Target-Aufbau des Saticons. Auf das Glassubstrat mit  $\text{SnO}_x$ -Schicht ist zunächst eine etwa  $100 \text{ nm}$  dicke  $\text{CeO}_2$ -Schicht (Dunkelstromerniedrigung) unter die etwa  $4 \mu\text{m}$  dicke Photoleitorschicht aus mit As und Te dotiertem, P-leitendem Selen aufgebracht. Die As-Dotierung reduziert die Neigung des amorphen Selen zur Auskristallisation, die nahe der Substratseite als definiertes Profil ausgebildete Te-Dotierung erhöht die Rotempfindlichkeit des Targets. Die Selen-Photoleitorschicht bildet mit  $\text{SnO}_x$ - oder  $\text{CeO}_2$ -Schicht den Hetero-Übergang des Saticons. Eine poröse  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ -Deckschicht sorgt für eine optimale Strahlannahmecharakteristik (SE-Koeffizient, Querleitfähigkeit).

Das in Bild 13c dargestellte Newvicon-Target besteht aus zwei auf die Signalelektrode aufgetragenen Schichten: N-leitendes ZnSe und In-dotiertes, P-

leitendes  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}$  Te. Beide Schichten bilden den Hetero-Übergang. Licht mit einer Wellenlänge  $> 460 \text{ nm}$  passiert die ZnSe-Schicht im wesentlichen ungeschwächt („Fenster-Effekt“) und wird in der  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}$  Te-Schicht vollständig nahe der Grenzfläche absorbiert. Dieser „Fenster-Effekt“ ist unter anderem die Ursache für eine Quantenausbeute des Newvicon-Targets von praktisch 100%.

#### 4. Außerhalb des Sichtbaren empfindliche Fernsehkameraröhren

Auf für Röntgen-, UV- und IR-Strahlung empfindliche Kameraröhren vom Vidikontyp sei kurz, insbesondere in Form von Schriftumsangaben, hingewiesen.

##### 4.1. Röntgenempfindliche Röhren

Röntgenstrahlenempfindliche Vidikon-Röhren [79, 80] haben als Photoleiter den bereits bekannten Verbindungshalbleiter PbO oder elementaren Halbleiter Se in der amorphen Modifikation. Die Halbleiterschichten sind direkt auf ein Beryllium-Eingangsfenster aufgebracht, das die Röntgenstrahlung nahezu ungeschwächt passieren läßt und gleichzeitig als Signalelektrode dient. Beide Röhrentypen haben als Nachteil eine begrenzte Lebensdauer und zeigen störende Einbrenneffekte. Nach Aufbringung einer Leuchtsubstanz mit für Röntgenstrahlung hoher spezifischer Lichtemission ( $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) auf das Eingangsfenster (Faseroptik) eines  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ -Vidikons ist auch dieser Röhrentyp als röntgenstrahlenempfindliches Vidikon benutzt worden. Ebenfalls mit Erfolg in Röntgen-Fernsehsystemen eingesetzt wurden modifizierte Si-Multitioden-Vidikons [81].

##### 4.2. UV-empfindliche Röhren

Chalnicon und Pasecon mit Quarz-Eingangsfenster sind aufgrund der Empfindlichkeit ihrer CdSe-Photoleitorschichten für UV-Strahlung bis zu einer Grenzwellenlänge von  $280 \text{ nm}$  als UV-empfindliche Röhren nutzbar. Etwas weiter in den UV-Bereich (Grenzwellenlänge  $250 \text{ nm}$ ) reicht die Empfindlichkeit des um 1960 von der EMI entwickelten  $\text{As}_2\text{Se}_3$ -Vidikons [82, 83].

Es hat Trägheitswerte ähnlich dem  $Sb_2S_3$ -Vidikon und die für Vidikon-Röhren mit Sperrschicht-Photoleitertarget typischen optoelektrischen Daten (niedriger Dunkelstrom,  $\gamma \approx 1$ ).

#### 4.3. IR-empfindliche Röhren

Das bis zu einer Grenzwellenlänge von  $1,1 \mu\text{m}$  im nahen IR-Bereich einsetzbare Si-Multidioden-Vidikon wurde in 3.2.2. diskutiert. Bis zu einer Grenzwellenlänge von  $1,9 \mu\text{m}$  nutzbar ist ein IR-Vidikon mit PbO-PbS-Photoleiterschicht [84 bis 88]. Bild 14 zeigt die spektrale Empfindlichkeitsverteilung dieses Vidikons im roten und nahen IR-Spektralbereich.

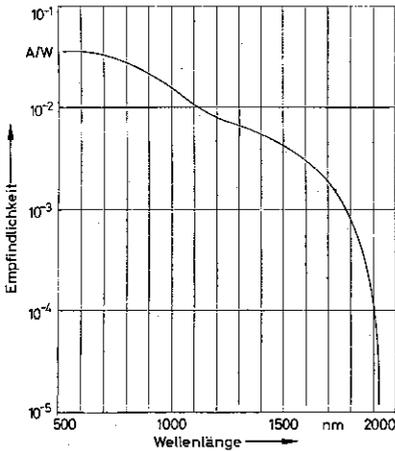


Bild 14. Spektrale Empfindlichkeitsverteilung eines IR-Vidikons

PbS ist aufgrund seines geringen Bandabstands als IR-empfindliche Photoleiterschicht geeignet. Sein ebenfalls geringer spezifischer Widerstand von  $10^3$  bis  $10^4 \Omega\text{cm}$  erfordert jedoch eine besondere Präparationstechnik, denn nur bei ausreichend hohem spezifischen Widerstand der Photoleiterschicht ist die notwendige Speicherwirkung gewährleistet. Der Aufbau des genannten Targets ist folgendermaßen: Auf Glassubstrat und transparente  $\text{SnO}_x$ -Schicht ist eine PbO-PbS-Mischkristallschicht aufgebracht. Die genaue Zusammensetzung und der Phasenzustand dieser Schicht sind unbekannt. Möglicherweise ist keine Mischkristallbildung vorhanden, und es handelt sich um zusammengesetzte Kristallite mit PbS-PbO-Hetero-Übergang. Auf die PbO-PbS-Schicht folgt eine poröse PbO-Schicht zur weiteren Optimierung des Targetwiderstands und letztlich zur Verbesserung der Strahlannahme eine  $Sb_2S_3$ -Schicht. IR-Röhren mit PbO-PbS-Photoleitertarget haben im sichtbaren Spektralbereich eine gegenüber dem  $Sb_2S_3$ -Vidikon um 50% reduzierte Empfindlichkeit, ein zwischen PbO- und  $Sb_2S_3$ -Vidikon liegendes Trägheitsverhalten und eine Grenzauflösung von 6 MHz.

Eine im fernen IR-Spektralbereich (Grenzwellenlänge  $15 \mu\text{m}$ ) einsetzbare

Röhre ist das pyroelektrische Vidikon [89 bis 92]. Die Röhre ist einem konventionellen Vidikon im Aufbau sehr ähnlich, außer daß Photoleitertarget und Glaseingangsfenster ersetzt sind durch ein IR-empfindliches, pyroelektrisches Target (beispielsweise TGS = Triglycinsulfat) bzw. ein Fenster aus für IR-Strahlung durchlässigem Material (beispielsweise Ge, Transmissionsbereich  $8 \dots 14 \mu\text{m}$ ). Am Target wird unter Nutzung des pyroelektrischen Effektes ein durch die einfallende IR-Strahlung aufgebautes Temperaturmuster umgewandelt in ein Ladungsmuster, das rückwärtig vom Elektronenstrahl abgetastet wird.

Eine Signalerzeugung erfolgt nur bei Änderungen der einfallenden Strahlungsintensität, das heißt, nur mit Hilfe einer Modulationstechnik („Panning“ oder „Chopping“) ist die Bilderzeugung einer stationären „thermischen Szene“ möglich [93]. Bezüglich der Details der Signalerzeugung sei auf Literaturarbeiten [91, 92, 93] verwiesen.

Die spektrale Empfindlichkeitsverteilung der Röhre läßt sich in weiten Grenzen durch die Verwendung passender Fenstermaterialien und durch Aufbringung geeigneter Absorptionsschichten auf die der IR-Strahlung zu gewandten Seite des Targets variieren.

Die ersten pyroelektrischen Vidikons hatten Edelgasfüllung geringen Drucks zur Vermeidung unerwünschter Aufladungen des hochisolierenden Targets durch den abtastenden Elektronenstrahl. Nachteile dieser Technik waren eine reduzierte Empfindlichkeit, Signalungleichmäßigkeiten über die Rasterfläche und begrenzte Lebensdauer. Inzwischen wurden diese Nachteile durch die Entwicklung einer Vakuumröhre [94] beseitigt. Die Verwendung neuer Targetmaterialien wie DTGS (deuteriertes Triglycinsulfat), DTGFB (deuteriertes Triglycin-Fluorberyllat) sowie modifizierter Elektronenstrahlsysteme (LFG = „Laminar Flow Gun“) brachte weitere Verbesserungen bezüglich Empfindlichkeit, Temperatur- und geometrischer Auflösung [95]. Heute erreichbare Werte sind

bei einer minimal auflösbaren Temperatur von  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

eine geometrische Auflösung von 6 Lp/mm.

#### 5. Farbstreifen-Kameraröhren

Farbfernsehkameras erzeugen neben dem Luminanzsignal die für den Aufbau eines Farbgebildes notwendigen Auszüge in den Grundfarben Rot, Grün und Blau (Chrominanzsignale R, G, B). In einer konventionellen Dreiröhren-Kamera erfolgt die Aufteilung in die drei Grundfarben optisch durch geeignete Filter. Bei Verwendung von einer oder zwei Kameraröhren in einer Farbkamera (Einröhren- oder Zweiröhren-Kamerasysteme) kann die Zerlegung

der Farbvorlage beispielsweise mit speziellen Farbstreifenfiltern („optische Codierung“) durchgeführt werden. Insbesondere bei Einröhren-Kamerasystemen vereinfacht sich der Kameraaufbau erheblich, unter anderem wegen des Fortfalls von Konvergenzkorrekturen zur Einhaltung der geforderten Farbdeckungsgenauigkeit. Die Streifenfiltertechnik stellt jedoch hohe Anforderungen an die zu verwendende Kameraröhre, besonders hinsichtlich Auflösungsvermögen (Gleichmäßigkeit über Abtastfläche), Gamma-Charakteristik und spektraler Empfindlichkeitsverteilung. Darüber hinaus sind zur Beseitigung der den verschiedenen Techniken inhärenten farbmetrischen Probleme zum Teil aufwendige elektronische Korrekturschaltungen notwendig.

Im folgenden werden zwei Typen von Farbstreifenröhren beschrieben, die auf verschiedenen Systemtechniken (Frequenzmultiplex- und Zeitmultiplex-Technik) beruhen, und die in käuflichen Kamerasystemen zum Einsatz kommen. Über Details der vielfältigen Techniken zur RGB-Ableitung aus einer einzigen Kameraröhre informieren eine Reihe von Literaturarbeiten [96 bis 98].

#### 5.1. Farbstreifen-Vidikon – RGB-Ableitung in Frequenzmultiplex-Technik

Bei dem von der RCA entwickelten „Spektralex“-Verfahren [99] benutzt man zur Ableitung der RGB-Signale eine Frequenzmultiplex-Technik. Das vor dem Eingangsfenster eines Vidikons angeordnete Farbstreifenfilter besteht aus zwei Streifengruppen (Cyan = Rot-Stopp und Gelb = Blau-Stopp) gleicher Streifenbreite (Bild 15 a). Die Rot-Stopp-Streifen sind gegenüber den vertikalen Blau-Stopp-Streifen in einer Schräglage von  $45^\circ$  aufgebracht, so daß sich beim horizontalen Abtasten eine um den Faktor  $\cos 45^\circ$  unterschiedliche Trägerfrequenz für die beiden Farbkomponenten ergibt (Frequenzmultiplex). Für die Grünkomponente des Lichts sind die beiden Streifengruppen durchlässig. Am Kameraausgang entstehen damit zwei Trägerschwingungen, die mit dem Blau- und Rotanteil, wie er durch die komplementäre Blau-Stopp- und Rot-Stopp-Charakteristik vorgegeben ist, moduliert sind. Die Grünkomponente läßt sich aus dem Basisband des Frequenzspektrums ableiten.

Ein modifiziertes Farbstreifenfilter mit unter  $45^\circ$  gekreuzten Streifengruppen (Bild 15b) verwendet Siemens beim „Interplex“-Verfahren [100]. Die optische Codierung erfolgt dabei mit einer doppelt modulierten Trägerschwingung. Die beiden Farbanteile sind dem gleichen Träger mit einer von Zeile zu Zeile um  $45^\circ$  verschobenen Phase aufmoduliert (Phasemultiplex). Wegen der Erhöhung der Luminanzbandbreite ließ

sich bei diesem Verfahren die Auflösung im Bildsignal deutlich verbessern. Die Ausnutzung der vollen Bandbreite betrifft allerdings nur Vertikalstrukturen. Die Folge davon sind „cross-colour“-Fehler bei Schrägstrukturen.

Das beschriebene Filter wird entweder über Faseroptik an die Photoleitschicht eines Vidikons angekoppelt oder mit Hilfe einer besonderen Technik in die Röhre integriert. Als Photoleitschicht wird im allgemeinen  $Sb_2S_3$  benutzt. Bei Verwendung von CdSe-Photoleitschichten (s. 3.2.3.) läßt sich die Empfindlichkeit einer Farbstreifenröhre merklich steigern.

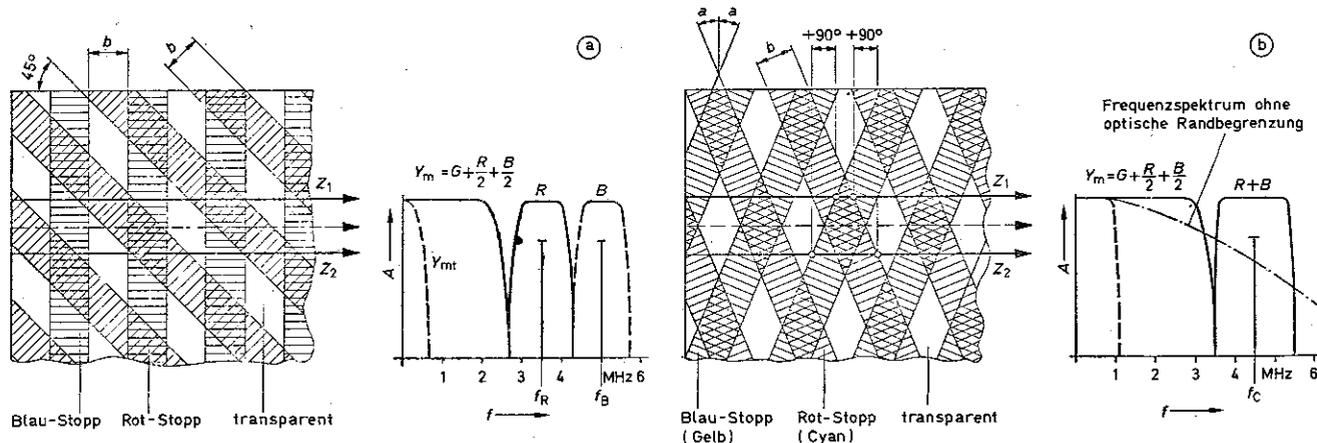


Bild 15. Streifenfilteranordnungen (links) und Lage der Frequenzspektren (rechts) für a) Frequenzmultiplex-Verfahren („Spektraplex“) und b) Phasemultiplex-Verfahren („Interplex“)

## 5.2. Dreielektroden-Farbstreifen-Vidikon – RGB-Ableitung in Zeitmultiplex-Technik

Um eine RGB-Ableitung in Zeitmultiplex-Technik (punktsequentiell) handelt es sich bei dem von Hitachi entwickelten Dreielektroden-Farbstreifen-Vidikon [101]. Es beruht auf dem Prinzip des bereits Ende der fünfziger Jahre von der RCA vorgeschlagenen Tricolor-Vidikons [102]. Das Target dieses Vidikons besteht aus senkrechten, parallelen Rot-, Grün- und Blau-Streifen (Farbstreifentripel), auf die mittels photolithographischer Technik deckungsgleich getrennte Signalelektrodenstreifen für die drei Farbkomponenten aufgebracht sind. Im 1"-Röhrenformat liegen die Streifenbreiten bei etwa  $20\ \mu\text{m}$ , so daß sich auf der üblichen Abtastfläche mehr als 600 Streifen unterbringen lassen. Die Anzahl der Streifentripel bestimmt die Auflösung der Röhre; heute realisierbare Werte liegen bei 300 Fernsehzeilen. Die zur jeweiligen Farbkomponente gehörigen Signalstreifen sind miteinander elektrisch verbunden (LSI-Technik), so daß sich daran direkt die RGB-Signale abnehmen lassen. Kapazitatives Übersprechen der Komponenten wird durch Rückkopplungstechnik (geringe Vorverstärker-Eingangs-Impedanz) reduziert. Auf die Farbstreifen

und Elektrodenstruktur ist mittels Aufdampftechnik eine zusammenhängende Photoleitschicht aufgebracht. Der übrige Aufbau des Vidikons ist konventionell. Beim Abtastvorgang des Elektronenstrahls, der gewissermaßen als elektronischer Schalter wirkt, erfolgt die Ableitung der drei Farbwertsignale  $R$ ,  $G$ ,  $B$  in zeitlicher Aufeinanderfolge (Zeitmultiplex). Wegen der elektrischen Trennung der Signalplatte in drei Gruppen von Signalelektroden ist eine Trennung der Signale bereits in der Kameraröhre möglich. Kameraröhre und System haben als Nachteile eine begrenzte Auflösung und relativ hohen Lichtbedarf. Dem stehen entscheidende Vor-

stens 20 Jahre das Fernsehen in Schwarz-Weiß-Technik. In den USA wurden schon die ersten Farbfernsehübertragungen des Unterhaltungsrundfunks mit drei oder vier Super-Orthikons durchgeführt, entsprechend den Erfordernissen der Aufteilung des sichtbaren Spektrums in drei Farbkanäle und zum Teil einem zusätzlichen Luminanzsignal für hohe Bildauflösung.

Die Forderung nach einer stark verkleinerten Kameraröhre gegenüber dem Super-Orthikon wurde durch die merkliche Gewichts- und Raumaufweitung der Farbkameras, einschließlich Objektiv, immer dringender. Die Weiterent-

teile wie sehr gute Weißbalance und Farbwiedergabe gegenüber.

## 6. Anwendungen

In Verbindung mit lichtstarken Objektiven konnten die ersten elektronischen Bildzerlegerröhren, die Dissector-Röhre und das Ikonoskop, für Freilichtübertragungen, erstere bei hohen Lichtstärken (Sonnenlicht) und letzteres auch bei schwächeren Lichtverhältnissen, eingesetzt werden. Bildsendungen aus dem Studio mit dem Ikonoskop machten erhöhte künstliche Beleuchtung notwendig. Super-Ikonoskop und Orthikon, insbesondere das Emitron, erleichterten wegen einer bedeutenden Empfindlichkeitssteigerung dem Fernseh-rundfunk die Lösung der Beleuchtungsprobleme und waren viele Jahre im Einsatz.

Erst das Super-Orthikon leitete aber einen markanten Abschnitt im Fernseh-rundfunk ein. Nahezu unabhängig von Lichtverhältnissen waren Fernsehsendungen qualitativ hochwertiger Bilder möglich. Mit gutem Störabstand, auch noch bei relativ geringem Lichtpegel, konnte man schnell bewegte Bilder übertragen, wenn eine sorgfältige Einstellung der Röhre, insbesondere vor Beginn der Sendung, erfolgt war. Das Super-Orthikon beherrschte für wenig-

wicklung einer Röhre vom Vidikontyp wurde dadurch in verstärktem Umfang vorangetrieben.

Für den Fernseh-rundfunk kam mit Rücksicht auf Trägheitslosigkeit, Empfindlichkeit und Spektralverteilung zunächst nur das Plumbicon in Frage. Bei relativ dicken Photoleitschichten (etwa  $20\ \mu\text{m}$ ) wurde anfangs der Targetdurchmesser mit  $1/4''$  gewählt. Verbesserungen der Schichten (geringere Dicke) und der Elektronenstrahlensysteme für die Abtastung ermöglichten bei befriedigender Bildauflösung den Übergang zur  $1''$ -Röhre und in Sonderfällen (Reportage-Kameras) zur  $2/3''$ -Röhre.

Soviel über die Anwendung der verschiedenen Kameraröhren im Studio des Fernseh-rundfunks, bei der Übertragung von Filmbildern und im Bereich der Normwandlung, bei denen das Vidikon mit Antimontrisulfid-Schicht gewisse Vorteile (Verminderung des Flimmerns) bot.

Im 2. Weltkrieg fand auch das Super Ikonoskop in Verbindung mit der entsprechenden Kamera für Beobachtungs- und Zielaufgaben eine anderweitige Anwendung. Seit etwa 1952 bediente man sich auf vielen technischen Gebieten, in der Wissenschaft und besonders auch in der Medizin, des „closed

Tabelle III. Arbeits- und Anwendungsbereiche von Fernsehkameraröhren

Röhrentyp	Ikonoskop, Orthikon	Super-Ikonoskop	Super-Orthikon	Isocon	SEC-, SIT-, EIC-Röhren	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> -Vidikon	PbO-Vidikon	Si-Vidikon	Saticon	Chalnicon, Pasecon	Newvicon	UV-, IR-Vidikon	pyroelektrisches Vidikon
Arbeitsbereich	10 <sup>-2</sup> bis 4 × 10 <sup>-1</sup>	2 × 10 <sup>-4</sup> bis 4 × 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-7</sup> bis 2 × 10 <sup>-5</sup>	2 × 10 <sup>-5</sup> bis 4 × 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup> bis 10 <sup>2</sup>	5 × 10 <sup>-2</sup> bis 10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup> bis 2 × 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup> bis 10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup> bis 2 × 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup> bis 2 × 10 <sup>-1</sup>	—	—
Anwendung		(+)	(+)				+		+				
Technik allgemein			+		+	+	+	+	+	+	+		
Wissenschaft			+	+	+	+	+						
Medizin				+		+	+	+					+
Reprographie										+			
Röntgen, UV und nahes IR						+	*)	+		+	+		+
langwelliges IR (Wärme)													+

\*) in Verbindung mit Fluoreszenzschirm

circuit television". Davon seien einige Anwendungsgebiete im folgenden aufgeführt und die dabei vorzugsweise verwendeten Röhren angegeben.

Der Einsatz von Fernsehcameras begann mit der Beobachtung und Überwachung der Fertigungsprozesse in Walzwerken, Gießereien und in Kernkraftwerken, das heißt, meist an Orten, an denen der Mensch aus Gründen hoher Temperaturen, schädlicher Strahlung, Lärm usw. sich nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen aufhalten konnte. Auf diesen Gebieten und bei der Verkehrsüberwachung, Sicherung von Gebäuden, Dokumenten-Check-Übertragung ist im wesentlichen das Vidikon mit Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Target mit ausreichender Empfindlichkeit und günstiger Übertragungscharakteristik ( $\gamma < 1$ ) im Einsatz. Schon 1953 fand die 1/2"-Ausführung großes Interesse bei der Untersuchung des Inneren von Rohrleitungen.

Mit der Verkleinerung der Aufnahme-röhren zum 2/3"-Format für eine kleinere Kamera ist die Fernsehbeobachtung in Kaufhäusern, allgemein bei der Raum- und Torüberwachung sowie auf Intensivstationen im Krankenhaus möglich geworden. Neue Vidikontypen mit vor allem bezüglich Empfindlichkeit verbessertem Photoleitertarget eröffneten die Möglichkeit, bei geringerem Lichtpegel zu arbeiten. So werden bei der Beobachtung im Tunnel, an Bahnübergängen und Bahnsteigen zu allen Tageszeiten Röhren vom Typ Chalnicon, Pasecon, Newvicon und solche mit Si-Target eingesetzt.

Die Einführung der Fernstechnik in der Medizin, insbesondere durch den Einsatz des Vidikons in der Fernseh-kette der Röntgenanlage, hatte eine bedeutende Verringerung der Strahlendosis bei der Diagnose zur Folge. Plumbicon und Pasecon mit geringerer Trägheit oder höherer Empfindlichkeit erweiterten die Anwendungsmöglichkeiten. Ist eine Beobachtung in Krankenzimmern im Dunkeln mit unsichtbarem Licht (nahes Infrarot) notwendig, kommen die Röhren mit Si-Target bis 1,1 µm und die Pb-O-S-Röhre mit einer Spektralempfindlichkeit bis 1,9 µm in Betracht. Ebenso finden diese Röhren Anwendung bei der Augendiagnose im Bereich 0,8...1,4 µm. Drei schmalbandige Bereiche werden getrennt aufgenommen und als Farbbild im Sichtbaren mit den drei RGB-Grundfarben wiedergegeben (Falschfarben-Fernsehen). Hierbei werden die gegenüber dem Sichtbaren veränderten Reflexionseigenschaften genutzt (beispielsweise bessere Unterscheidung eines Tumors im Auge von der Umgebung) [103].

Für die Übertragung von farbigen Bildern sowohl für Lehrzwecke (zum Beispiel Beobachtung einer medizinischen Operation) als auch in der Farbprographie werden Vidikon, Plumbicon, Chalnicon, Pasecon und Saticon eingesetzt.

Im militärischen Bereich finden die genannten IR-Röhren sowie das Pyrotron mit seiner Empfindlichkeit für langwelliges IR (bis 15 µm) Verwendung. Kameraröhren mit Höchstempfindlichkeiten wie SEC-, EIC- oder SIT-Röhren

sowie Super-Orthikon und Isocon dienen für Nachtbeobachtung bis zu minimalen Beleuchtungsstärken von 10<sup>-6</sup> lx (auf der Photokathode).

Im Ultraviolett-Bereich steht das As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-Vidikon zur Verfügung. Die Direktübertragung von Röntgenbildern kann mit PbO- und Se-Schichten beziehungsweise Röhren mit Faseroptikeingang in Verbindung mit einem fluoreszierenden Material auf der Außenfläche der Faseroptik vorgenommen werden. Diese Methode ist auf technische Anwendung unter Benutzung ausreichender Dosisleistung beschränkt.

In Tabelle III sind einige Anwendungsgebiete und die dafür vorzugsweise verwendbaren Röhren zusammengestellt.

#### Schrifttum

- [1] Farnsworth, P. T.: Television by electron image scanning. J. Franklin Inst. Bd. 218 (1934), S. 411.
- [2] Dieckmann, M.; Hell, R.: DRP 450 187 (1925/27).
- [3] Hartmann, W.: Die Bildsondenröhre. Hausmittlg. der Fernseh AG, Juli 1939, S. 130.
- [4] Zworykin, V. K.: The Iconoscope, a modern version of the electric eye. Proc. Inst. Radio Engng. Bd. 22 (1935), S. 16.
- [5] Heimann, W.; Wemheuer, K.: Beitrag zur Wirkungsweise des Elektronenstrahlbildabstators. Elektr. Nachr.-Tech. Bd. 15 (1938), S. 1.
- [6] Mc Gee, J. D.; Lubszynski, H. G.: EMI-cathode ray television tube. J. Inst. Electr. Engng. Bd. 84 (1939), S. 468.
- [7] Rose, A.; Iams, H. A.: The Orthicon. RCA Rev. Bd. 4 (1939), S. 186.

- [8] Mc Gee, J. D.: A review of some television pick-up tubes. *J. Inst. Electr. Engng. Bd. 97* (1950), S. 377.
- [9] Rose, A.; Weimer, P. K.; Law, H. B.: The Image Orthicon, a sensitive television pick-up tube. *Proc. Inst. Radio Engng. Bd. 34* (1946), S. 424.
- [10] Weimer, P. K.: The Image Isocon. *RCA Rev. Bd. 10* (1949), S. 366.
- [11] Theile, R.; Fix, H.: Fernseh-Bild-aufnahmeröhren: Eine vergleichende Betrachtung der heute verfügbaren Kameraröhren. *RME Bd. 25* (1959), S. 448.
- [12] Tihany, K.: Brit. Pat. 315 362 (1928/29), Roberts, C. E. C.: Brit. Pat. 318 331 (1928/29), Schoultz, E. G.: Franz. Pat. 539 613 (1921/22), Zeitlin, A.; Zeitlin, W.: DRP 503 899 (1924/30), Sabbah, C. A.: USA Pat. 1 694 982 (1925/28), USA Pat. 1 706 185 (1925/29), Zworykin, V. K.: USA Pat. 1 691 324 (1925/28).
- [13] Weimer, P. K.; Forgue, S. V.; Goodrich, R. R.: The Vidicon — photoconductive camera tube. *Electronics Bd. 23* (1950), S. 70, u. *RCA Rev. Bd. 12* (1951), S. 306.
- [14] Lubszynski, H. G.; Rodda, S.: Brit. Pat. 422 666. Mc Gee, J. D.; Lubszynski, H. G.: EMI-cathode ray television tube. *J. Inst. Electr. Engng. Bd. 84* (1939), S. 468.
- [15] Theile, R.; Pilz, F.: Übertragungsfehler der Super-Orthikon-Fernseh-Kameraröhre. *Arch. Elektr. Übertr. Bd. 11* (1957), S. 17.
- [16] Weimer, P. K.: Measurement of secondary emission of insulators at low primary energies. *Phys. Rev. Bd. 74* (1948), S. 1219.
- [17] Cope, A.; Borkan, H.: Isocon scan: A low-noise wide dynamic range camera tube scanning technique. *Appl. Optics Bd. 2* (1963), S. 253.
- [18] ● Götze, G. W.: Transmission secondary emissions from low density deposits of insulators. *Adv. Electr. Electr. Phys. Bd. 16*, New York, Academic Press 1962.
- [19] Götze, G. W.; Boerio, A. H.: Secondary Electron Conduction (SEC) for signal amplification and storage in camera tubes. *PWC IEEE Bd. 52* (1964), S. 1007.
- [20] Heimann, W.; Herrmann, M.; Kunze, C.: SEC-television pick-up tubes. 5th Sympos. Int. Telev. Montreux 1967.
- [21] Kamamura, T.: A proximity focused SEC-Vidicon. *NHK Lab. Note Ser. Nr. 212*, June 1977.
- [22] Green, D.; Nathanson, H. C.; Götze, G. W.: Low light level camera tube utilizing silicon diode. *IEEE Int. Electr. Dev. Meeting, Oct. 1969*.
- [23] Shirouzu, S.; Migashiro, S.; Tsuji, S.; Horiuchi, S.: Television camera tube with silicon electron multiplication target. *Suppl. J. Jap. Soc. Appl. Phys. Bd. 39* (1970), S. 253.
- [24] Robinson, G. A.: The Silicon Intensifier Target tube: Seeing in the dark. *J. SMPTE Bd. 86* (1977) Nr. 6, S. 414—418.
- [25] Gordon, E. I.: A little light on material requirements for electronic pick-up tubes. *Trans. Metall. Soc. AIME Bd. 245* (1969), S. 517.
- [26] Dillenburger, W.: Daten neuerer Bildaufnahmeröhren und Lichtbedarf einer Fernseh-Studio-Kamera. *RME Bd. 41* (1975), S. 275.
- [27] Weimer, P. K.: From camera tubes to solid-state sensors. *RCA Rev. Bd. 36* (1975), S. 385.
- [28] Berger, K.; Illenberger, A.; Ruprecht, G.: Hochempfindliche Halbleitertargets für Fernsehaufnahmeröhren. *Bosch Tech. Ber. Bd. 5* (1975), S. 51.
- [29] Bailey, P.: Photo conductive camera tubes. *J. Royal Telev. Soc. Bd. 16* (1976), S. 8.
- [30] Vine, B. H.; Janes, R. B.; Veith, F. S.: Performance of the vidicon, a small developmental television camera tube. *RCA Rev. Bd. 13* (1952), S. 3.
- [31] Heimann, W.: Eigenschaften und Anwendungen von Fernsehbildaufnahmeröhren mit Widerstandsfotorschichten. *Arch. Elektr. Übertr. Bd. 9* (1955), S. 13.
- [32] Kunze, C.: Wirkungsweise, Eigenschaften und Aufbau des Vidicons. 6. Jahrestag. d. Elektrotechn., Weimar 1955, Tagungsbericht S. 151 (Berlin 1955).
- [33] Heimann, W.: Zum Problem der Nachwirkungserscheinungen im Vidicon. *Arch. Elektr. Übertr. Bd. 10* (1956), S. 73.
- [34] Miller, L. D.; Vine, B. H.: Improved developmental one-inch vidicon for television cameras. *J. SMPTE Bd. 67* (1958), S. 154.
- [35] Heimann, W.: Möglichkeiten der Verringerung der Nachwirkungserscheinungen bei Kameraröhren vom Typ Vidicon. *Arch. Elektr. Übertr. Bd. 13* (1959), S. 221.
- [36] Lubszynski, H. G.; Taylor, S.; Wardley, J.: Some aspects of vidicon performance. *J. Brit. IRE Bd. 20* (1960), S. 323.
- [37] Rome, M.: Recent advances in vidicons. *IRE Trans. on Broadcasting, Bd. PGBC-7* (1961), S. 12.
- [38] Dillenburger, W.: Die derzeitigen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Vidicons. *Elektr. Rdsch. Bd. 16* (1962), S. 205.
- [39] Heimann, W.: Über die Entwicklung einer Vidicon-Kameraröhre mit vergrößerter Photokathode (2" Durchmesser). *Rundfunk-Techn. Mitt. Bd. 6* (1962), S. 111.
- [40] Weimer, P. K.; Cope, A. D.: Photoconductivity in amorphous Selenium. *RCA Rev. Bd. 12* (1951), S. 314.
- [41] Johnson, R. E.: Vidicon performance characteristics at slow scan rates. *RCA Rev. Bd. 27* (1966), S. 57.
- [42] Moore, R. M.; Busanovich, Ch. J.; Kozielec, F.; Fischer, J. T.: An experimental crystalline-selenium vidicon. *IEEE Trans. Electron. Dev. Bd. ED-23* (1976), S. 534.
- [43] Heijne, L.: The lead oxide vidicon. *Acta Electronica Bd. 2* (1957), S. 124.
- [44] Heijne, L.: Photoconductive properties of lead-oxide layers. *Philips Res. Repts. Suppl. Bd. 4* (1961).
- [45] de Haan, E. F.; van der Drift, A.; Schampers, P. P. M.: The Plumbicon, a new television camera tube. *Philips Tech. Rev. Bd. 25* (1964), S. 133.
- [46] van Doorn, A. G.: The Plumbicon compared with other television camera tubes. *Philips Tech. Rev. Bd. 27* (1966), S. 1.
- [47] du Chatenier, F. J.: Space-charge-limited photocurrent in vapour-deposited layer of red lead monoxide. *Philips Res. Repts. Bd. 23* (1968), S. 142.
- [48] Goodman, A. M.: An approximate model of the beam-blocking contact in a PbO-Vidicon. *RCA Rev. Bd. 36* (1975), S. 408.
- [49] de Haan, E. F.; Klaassen, F. M.; Schampers, P. P. M.: Eine experimentelle Plumbicon-Aufnahmeröhre mit erhöhter Empfindlichkeit für rotes Licht. *Philips Tech. Rdsch. Bd. 26* (1965), S. 76.
- [50] van Roosmalen, J. H. T.: New possibilities for the design of plumbicon tubes. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-18* (1971), S. 1087.
- [51] Bailey, P. C.: Developments in Leddicon camera tubes. *GEC J. Sci. Tech. Bd. 42* (1975), S. 84.
- [52] Schut, T. G.: New ACT-Plumbicon tubes. *Proc. Int. Telev. Symp. Montreux 1977*.
- [53] du Chatenier, F. J.: Some properties of vapour-deposited layers of red lead monoxide. *Proc. 3rd Photo-conductivity Conference, Stanford 1969*, S. 199.
- [54] Crowell, M. H.; Buck, T. M.; Labuda, E. F.; Dalton, J. V.; Walsh, E. J.: A camera tube with a silicon diode array-target. *BSTJ Bd. 46* (1967), S. 491.
- [55] Rogers, R. L.; Henry, W. N.: Non-blooming and other advantages in silicon-target camera tube technology. *IEEE Int. Electron. Dev. Meeting Abstr. Bd. 22* (2), Dec. 1972.
- [56] Singer, B. M.; Kostelec, J.: Theory, design and performance of low-blooming silicon diode array imaging targets. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-21* (1974), S. 84.
- [57] Wendland, P. H.: A charge-storage diode vidicon camera tube. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-14* (1967), S. 285.
- [58] Buck, T. M.; Casey, H. C.; Dalton, J. V.; Yamin, M.: Bulk and surface properties on image sensing silicon diode arrays. *BSTJ Bd. 47* (1968), S. 1827.
- [59] Hofstein, S. R.: Silicon vidicon target with electronically variable light sensitivity and spectral response. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-15* (1968), S. 1018.
- [60] Crowell, M. H.; Labuda, E. F.: The silicon diode array camera tube. *BSTJ Bd. 48* (1969) S. 1481.
- [61] Woolgar, A. J.; Benneth, C. J.: Silicon diode array tubes and targets. *J. Royal Telev. Soc. Bd. 13* (1970), S. 53.
- [62] Losehand, R.; Welsch, W.: Ein trägeitsames Multidioden-Vidicon für optische und elektrische Signalspeicherung. *NTZ Bd. 8* (1972), S. 369.
- [63] Ballamy, W. C.; Knolle, W. R.; Locker, L. D.: Hafnium tantalum nitride resistive sea for the silicon diode-array camera tube target. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-20* (1973), S. 1147.
- [64] Neuhauser, R. G.: The silicon-target vidicon. *J. SMPTE Bd. 86* (1977) Nr. 6, S. 408—413.
- [65] Schroder, D. K.; Guldborg, J.; Green, G.; Nathanson, H. C.; Wickstrom, R. A.: Influence of the n<sup>+</sup>-layer-on the gain of electron exited silicon diode-array targets. *J. Appl. Phys. Bd. 41* (1970), S. 5038.
- [66] Shimizu, K.; Kiuchi, Y.: Characteristics of the new vidicon-type camera tube using CdSe as a target material. *Jap. J. Appl. Phys. Bd. 6* (1967), S. 1089.
- [67] Shimizu, K.; Yoshida, O.; Aihara, S.; Kiuchi, Y.: Characteristics of experimental CdSe-vidicons. *IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-18* (1971), S. 1058.
- [68] Yoshida, O.: Chalnicon — a new camera tube for color TV use. *Jap. Electr. Engng. Oct. 1972*, S. 40.
- [69] Yoshida, O.; Shimizu, K.: New camera tubes of color television. *J. SMPTE Bd. 84* (1975) Nr. 1, S. 11.
- [70] Hashimoto, J.; Murata, T.: High performance pick-up tube Chalnicon. *Toshiba Rev. Bd. 101* (1976), S. 26.
- [71] Goto, N.; Isozaki, Y.; Shidara, K.: New photoconductive camera tube Saticon. *NHK Lab. Note Ser. 170* (1973).
- [72] Goto, N.; Isozaki, Y.; Shidara, K.; Maruyama, E.; Hirai,

- T.; Fujita, F.: Saticon, a new photoconductive camera tube with Se-As-Te target. IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-21 (1974), S. 662.
- [73] Neuhauser, R. G.: The Saticon color television camera tube. J.SMPTE Bd. 87 (1978) Nr. 3, S. 147—152.
- [74] N. N.: Newvicon — a new high sensitivity TV camera tube. Electr. Tube Div. Matsushita Electr. Corp., Internal Communication 1974.
- [75] Berger, K.; Illenberger, A.; Ruprecht, G.: Stromverstärkung in ZnSe/CdSe-Photoleiterschichten. Solid State Electron. Bd. 18 (1975), S. 785.
- [76] Wronski, C. R.: Semiconductor heterojunction vidicons. RCA Rev. Bd. 36 (1975), S. 425.
- [77] Nogami, M.; Okamoto, S.; Nishida, R.: A uniform CdS-CdTe-As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> heterojunction target for pick-up tubes. Shizuoka Univ. Hamamatsu, Japan. Private Mitteilung.
- [78] Ehata, S.; Fukushima, M.; Goto, N.; Ogusa, C.: New 18 mm Saticon h 8397 a. Proc. Int. Telev. Symp. Montreux 1977.
- [79] Keller, M.; Ploke, M.: Sichtbarmachung von Röntgenbildern mittels einer auf Röntgenstrahlen ansprechenden Fernsehaufnahmeröhre. Z. Angew. Phys. Bd. 7 (1955), S. 562.
- [80] ● Smith, C. W.: An X-ray sensitive photoconductive pick-up tube. Adv. Electr. Electron. Phys., S. 345. New York, Academic Press 1960.
- [81] Chester, A. N.; Loomis, T. C.; Weiss, M. M.: Diode array camera tubes and X-ray imaging. BSTJ Bd. 47 (1968), S. 345.
- [82] Kolomiets, B. T.; Lyubin, V. M.: Sov. Phys. Doklady Bd. 4 (1959), S. 1345.
- [83] ● Wardley, J.: An improved UV-sensitive vidicon. Adv. Electr. Electron. Phys., Photo-electr. Image Dev., S. 227. London, Academic Press 1962.
- [84] ● Heimann, W.; Kunze, C.: Development of an infra-red vidicon-type pick-up tube with a lead sulphide target. Adv. Electr. Electron. Phys., Photo-electr. Image Dev., S. 217. London, Academic Press 1962.
- [85] Heimann, W.; Kunze, C.: Infrared-Vidicon. Infrared Phys. Bd. 2 (1962), S. 175.
- [86] Gaedke, W.: Eine ultrarotempfindliche Fernsehbildaufnahmeröhre. Nachrichtentech. Bd. 12 (1962), S. 256.
- [87] Gaedke, W.; Jüpner, T.: Trägheitsuntersuchungen an Fernsehaufnahmeröhren vom Vidicon-Typ mit ultrarotempfindlicher Fotoleiterschicht. Tech. Mitt. RFZ Bd. 7 (1963), S. 92.
- [88] Hagemann, G.: Über die 1,9  $\mu$ m Photostör- und die Tunnelleitung höchstohmiger heterogener n-PhS-p-PbO-Aufdampfschichten in Resistor-Ladungsspeicherröhren. Z. Angew. Phys. Bd. 16 (1963), S. 100.
- [89] Holeman, B. R.; Wreathall, W. M.: Thermal-imaging camera tubes with pyroelectric targets. J. Phys. D: Appl. Phys. Bd. 4 (1971), S. 1898.
- [90] Charles, D. R.; LeCarvenec, F.: Infrared pick-up tube with electronic scanning and uncooled target. Adv. Electr. Electron. Phys. Bd. 33 A (1972), S. 279.
- [91] Walton, R.; Smith, C.; Harper, B.; Wreathall, W. M.: Performance of the pyroelectric vidicon for thermal imaging in the 8—14 micron band. IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-21 (1974), S. 462.
- [92] Garn, L. E.; Petito, F. C.: Thermal imaging with pyroelectric vidicons. IEEE Trans. on Electron. Dev. Bd. ED-24 (1977), S. 1221.
- [93] Garn, L. E.; Sharp, E. J.: Pyroelectric vidicon target materials. IEEE Trans. Parts. Hybrids, Packaging. Bd. PHP-10 (1974), S. 208.
- [94] Conklin, T.; Singer, B.; Crowell, M. H.; Kurczewski, R.: Theory and performance on pyroelectric vidicon with an electronically generated pedestal current for the cathode potential stabilized mode. IEDM Tech. Digest (1974), S. 451.
- [95] Singer, B.: Pyroelectric vidicons — the IR-imaging dark horse. Amperex Electro-Optical Systems Design, July 1975.
- [96] Pritchard, D. H.: Stripe-color-encoded single tube color-television camera systems. RCA Rev. Bd. 34 (1973) Nr. 6, S. 217—266.
- [97] Schönfelder, H.; Bock, G.: Einröhren- und Zweiröhren-Farbkamerasysteme. Funkschau Bd. 18 (1975), S. 111, und Bd. 19 (1975), S. 59.
- [98] Bock, G.: Vergleichende Analyse von Ein- und Zweiröhren-Farbkamerasystemen. Fernseh- u. Kino-Tech. Bd. 29 (1975) Nr. 2, S. 31—36.
- [99] N. N.: Spektraplex — Auf dem Weg zur Einröhren-Farbfemerkamera. Funkschau Bd. 43 (1971), Nr. 16, S. 505.
- [100] Koubek, M.: Interplex — A new versatile full-resolution single tube color TV camera system. IEEE Trans. on Broadcasting. Bd. BC 22 (1976), S. 80.
- Koubek, M.: „Interplex“-Einröhren-Farbkamerasystem hoher Auflösung. Fernseh- u. Kino-Tech. Bd. 29 (1975) Nr. 9, S. 273—277.
- [101] N. N.: Single tube gives three color signals. Electronics Bd. 47 (1974), Nr. 1, S. 6E.
- [102] Borkan, H.: Simultaneous signal separation in the tricolor vidicon. RCA Rev. Bd. 21 (1960), S. 3.
- [103] Köhler, H. W.; v. Denffer, H.; Mertz, M.: Anwendung der neuen IR-Farbfemertechnik in der Ophthalmologie. Biomed. Tech. Suppl. Bd. 21 (1976), S. 119.

*The report describes the basic principles, as well as the construction and function of different television camera tubes. Beginning with a short introduction concerning tubes actually interesting only from the historical point of view, the authors particularly deal with camera tubes with photoconductive target that have taken the place of the former tubes working for more than 20 years exclusively with photoemissive targets in TV broadcast and technical and scientific application. By means of tables, a data comparison of the tubes is carried out. After considering the colour strip camera tubes and those sensible beyond the visible range, the fields of application of the various tubes are finally discussed.*

*L'article décrit les principes et la structure ainsi que le fonctionnement de différents tubes de caméra de télévision. En commençant par une courte introduction sur les tubes qui, aujourd'hui, ne sont plus que d'intérêt historique, les auteurs traitent surtout de tubes de caméra avec target photoconductif qui, aujourd'hui, ont remplacé dans la télévision professionnelle ainsi que dans les domaines technique et scientifique les tubes anciens, qui travaillèrent pendant presque 20 ans exclusivement avec des couches de photoémission. Les tableaux présentent une comparaison des caractéristiques des tubes. A la suite de réflexions faites sur les tubes de caméra avec filtre réticule et les tubes sensibles au-delà du spectre visible, sont discutés les domaines d'application des différents tubes.*

*La disertación describe los fundamentos, la estructura y la forma de trabajo de diferentes tubos en cámaras de televisión. Empezando con una pequeña introducción sobre tubos interesantes hoy sólo históricamente, los autores abordan principalmente el tema de los tubos para cámaras con blancos fotoconductores. Estos últimos han sustituido hoy en día en la Radiotelevisión, en los campos técnicos y científicos, a los tubos que durante casi veinte años han operado exclusivamente con capas fotoemisoras. En los cuadros sinópticos, se realiza una comparación de datos referentes a los tubos. Después de una consideración sobre lo sensible fuera de lo visible y sobre los tubos de franjas de colores, se lleva a efecto finalmente una discusión sobre los campos de aplicación de cada tubo.*