

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 43 (1965)

Heft: 10

Artikel: Entwicklungsgeschichte der Fernsehtechnik

Autor: Karolus, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875004>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 11.05.2025

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

Entwicklungsgeschichte der Fernsehtechnik*

Die Geschichte der Fernsehtechnik kann auf einen Zeitraum von über 100 Jahren zurückblicken. Fernsehen ist keineswegs die Erfindung eines einzelnen, es ist auch nicht auf einige erfinderische Ideen zurückzuführen. Rein physikalische Entdeckungen und Untersuchungen, wie die Leitfähigkeit bestimmter Stoffe bei Belichtung (*W. Smith und May*, 1873), die Erfindung des äusseren Photoeffektes (*Hallwachs*, 1887) oder die Elektronen-Optik (*H. Busch*, 1927) bilden die Basis der heutigen Fernsehtechnik.

In meinem notwendigerweise sehr gedrängten Bericht möchte ich die Fernsehentwicklung in drei Perioden einteilen, von denen die erste Periode die Jahre 1860 bis 1920, die Zeit der Fernseherfindungen umfasst, die zweite Periode die Jahre 1920 bis 1950, die Zeit der experimentellen Entwicklung des Fernsehens und schliesslich die dritte Periode von 1950 bis heute, die Zeit der technischen Verwertung, also die Zeit des Fernseh-Rundfunks und einiger anderer Anwendungen, die das Fernsehen gefunden hat.

Die erste Periode der Fernsehtechnik

Die erste Periode der Fernsehtechnik lässt sich ohne Zwang als die Zeit der Fernseherfindungen bezeichnen. Das 1911 erschienene «Handbuch der Phototelegraphie und Teleautographie» von *Korn-Glatzel* [1] enthält Hunderte teils genialer, teils wertloser Erfindungen und Vorschläge. Diese befassen sich zum grössten Teil mit der mechanisch-optischen Zerlegung von Bildern in Zeilen und in Bildelemente unter Verwendung rotierender oder schwingender Blenden, Schlitze, Linsen, Spiegelräder usw. Von allen geistreichen Erfindern dieser Zeit seien nur *Le Blanc*, *Nipkow*, *Brillouin*, *Majorana* und *Weiller* genannt. Einen dieser Männer als den Erfinder des Fernsehens zu bezeichnen, wie dies tatsächlich geschehen ist, wäre ebenso wenig richtig, als würde man Jules Verne den Erfinder der Raumfahrt nennen.

Keiner der Vorschläge der ersten Fernsehperiode liess sich damals verwirklichen, weil weder die trägheitslose Verstärkung elektrischer Ströme noch die Übertragung hochfrequenter Signale über Leitungen oder auf drahtlosem Wege gelöst war.

In dieser ersten Periode der Fernsehtechnik wurden auch bereits Ideen für die elektronische Bildzerlegung und Bilderzeugung diskutiert, so jene von *Dieckmann* (1906), *Rosing* (1907) und *Campbell-Swinton* (1908). Die Bezeichnung «mechanisches Fernsehen» für den ersten Zeitabschnitt der Fernsehtechnik ist also nicht zutreffend.

Trägheitslose elektro-optische Wandler, trägheitslose Verstärker und die Übertragung grosser Frequenzbänder lassen sich vermeiden, wenn man in Nachbildung des menschlichen Auges mit Tausenden lichtempfindlicher Zellen auf der Aufnahmeseite des Bildes mit einer gleichen Zahl von Organen für die Helligkeitswiedergabe im Empfänger arbeitet, wobei Sender und Empfänger durch die gleiche Zahl von Kabeln oder Trägerfrequenzen miteinander verbunden sind. Solche Fernsehsysteme wurden wiederholt beschrieben und gelegentlich in primitiven Modellen ausgeführt, wie jenen von *Lux*, *Ruhmer*, *Rignoux-Fournier* u. a.

Am Ende der ersten Periode der Fernsehtechnik stehen Simultanverfahren und sukzessive Methoden als gleichwertig nebeneinander.

Die zweite Periode der Fernsehtechnik

In den Jahren 1920 bis 1950 tritt anstelle der Papiererfindungen die experimentelle Entwicklung des Fernsehens. Die Elektronenröhre stand allen Physikern und Nachrichtentechnikern 1918 zur Verfügung, und die Verwirklichung des Fernsehens konnte beginnen. Doch erst im Jahre 1924 haben Fernsehdemonstrationen des Verfassers im Physikalischen Institut der Universität Leipzig überzeugend bewiesen, dass Fernsehen sich technisch realisieren lässt. Dies war damals keineswegs selbstverständlich, im Gegenteil. In zahlreichen Veröffentlichungen, z. B. von Prof. *Aigner* (Wien), von *Campbell-Swinton* (London), und von Prof. *Korn* (Berlin), wurde immer wieder betont, dass Fernsehen trotz der Elektronenröhre und trotz der Erfolge des Rundfunks nicht möglich sei.

Als Beispiel sei aus einem Aufsatz von F. Aigner die Zusammenfassung zitiert, der den Titel trägt: «Ist nach dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik die Konstruktion eines elektrischen Fernsehers durchführbar?» Er ist 1925 in der Zeitschrift für Hochfrequenztechnik erschienen. Prof. *Aigner* schreibt:

«Vorstehende Untersuchungen zeigen, dass die Konstruktion eines elektrischen Fernsehers nach dem Prinzip der Zerlegung der Teilbilder in Bildpunkte in allen drei dabei möglichen Varianten nicht bloss auf enorme technische Schwierigkeiten stösst, sondern auch die Lösung von Problemen fordert, die mit den heute verfügbaren Mitteln überhaupt nicht gelöst werden können. Es ist daher gegenwärtig vollkommen aussichtslos, nach dem Prinzip des Bildabtast-Verfahrens einen elektrischen Fernseher zu realisieren, der imstande wäre, die an ihn eingangs gestellten, sehr bescheidenen Ansprüche zu befriedigen.»

* Vortrag, gehalten am 4. Internationalen Fernseh-Symposium in Montreux

Die bescheidenen Ansprüche, von denen Aigner spricht, beziehen sich auf eine Auflösung des Bildes in 100 Zeilen. Das Problem, das nach Ansicht von Aigner mit den 1924 verfügbaren Mitteln überhaupt nicht zu lösen sei, betraf die Lichtsteuerung auf der Empfängerseite. Aigner hatte alle ihm bekannten physikalischen Effekte, die zur Lichtsteuerung in Betracht kommen, und besonders eingehend den Faraday-Effekt diskutiert, aber an die einzige, damals mögliche Lösung dieses Problems, die Lichtsteuerung durch den Kerr-Effekt, nicht gedacht.

Die negative Einstellung von Prof. Aigner deckt sich vollständig mit derjenigen von Campbell-Swinton. Obwohl J. L. Baird 1925, also ein Jahr nach den Leipziger Vorführungen, unter Verwendung der von mir entwickelten Lichtsteuerung, in London Fernsehübertragungen gezeigt hatte, spricht Campbell-Swinton noch in einer 1929 in «Nature» erschienenen Notiz von «unüberwindlichen Schwierigkeiten».

Die Vorführungen des Verfassers im Jahre 1924, denen drei Jahre Entwicklungsarbeit an der Technischen Hochschule Stuttgart und an der Universität Leipzig vorausgegangen waren, bewiesen, dass die Übertragung aller Bildelemente auf einem Kanal möglich war und zeigten gleichzeitig, an welcher Stelle die Forschung einzusetzen hatte.

Zur Bildzerlegung dienten damals bekannte mechanische Hilfsmittel, wie Nipkowscheiben und Spiegelräder. Die Umwandlung der Lichtwerte in elektrische Signale erfolgte erstmals mit Hilfe von Hochvakuumphotozellen in Verbindung mit mehrstufigen Elektronenröhrenverstärkern.

Die Helligkeit einer Kathodenstrahlröhre in der von F. Braun angegebenen Form war 1924 zur Bildwiedergabe völlig unzureichend. Deshalb wurde vom Verfasser für die Helligkeitssteuerung des Empfangsbildes der elektrostatische Kerr-Effekt eingesetzt, ein Effekt, der zwar Physikern bekannt war, aber bisher keine Anwendung in der Technik gefunden hatte (A. Karolus, DRP 471 720 vom 21. 6. 1924).

Von den nach 1924 entwickelten Vorrichtungen für die Bildzerlegung und Bildwiedergabe möchte ich die Spiegelschraube von Okolicsanyi, die Zerlegeroptik von Mihaly und die von Traub nennen. Die von Mihaly vorgeschlagene Optik ist im Prinzip eine Umkehrung des Weillerrades. Sie verwendet einen Kranz feststehender Spiegel und einen in der Achse des Kranzes rotierenden Spiegel. Die Optik von Traub ist eine Kombination eines rotierenden Spiegelpolygons mit einigen feststehenden Spiegeln.

Über die Entwicklung der Fernsehtechnik in dem ersten Jahrzehnt berichtet das von F. Schröter 1932 herausgegebene Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens [2] und der Aufsatz von F. Schröter und A. Karolus in der Festschrift «25 Jahre Telefunken», Berlin 1928 [3].

Aus der zweiten Periode der Fernsehtechnik greife ich nun einige Probleme und ihre Entwicklung in den wichtigsten Stufen heraus. Es sind dies:

a) die Hochvakuum-Photozelle;

- b) die Verstärkung der Photoelektronen durch Sekundäremission;
- c) die Elektronenoptik und die Bildwandler;
- d) die speichernde Fernsehaufnahmeröhre;
- e) die Bildwiedergabe;
- f) das Grossbild.

Die Hochvakuum-Photozelle

Einen Überblick über die Entwicklung der Hochvakuum-Photozellen geben die Bücher von Gudden [4], von Simon-Suhrmann [5], von Fleischer-Teichmann [6], von Campbell-Ritchie [7] und von Görlich [8]. In der folgenden Tabelle I sind die Werte für die mittlere Empfindlichkeit, für die optimale Wellenlänge und für die rote Grenzwellenlänge verschiedener photoelektrischer Schichten enthalten:

Tabelle I

Material	λ optimal	Grenzwellenlänge	mittlere Empfindlichkeit
Kalium hydriert	450 nm	ca. 620 nm	$0,6 \cdot 10^{-6}$ A/lm
Kalium auf Silberoxyd	—	—	3,0 A/lm
Cs auf Silberoxyd	—	ca. 850 nm	10 A/lm
Cs auf Silber	—	ca. 850 nm	30...40 A/lm
Sb ₃ Cs	450 nm	450 nm	60...120 A/lm

In der Zeitspanne von 20 Jahren konnte die Empfindlichkeit der Photozellen im Verhältnis 1:200 gesteigert werden. Die Photozellen, mit denen wir die experimentelle Entwicklung des Fernsehens begonnen haben, besaßen eine Kathode aus hydriertem Kalium; ihre Empfindlichkeit war kleiner als 0,6 μ A/Lumen.

Wie aus Tabelle I ersichtlich, haben Legierungskathoden vom Typ Sb₃Cs Empfindlichkeiten von 60...120 μ A/lm. Neuerdings ist es gelungen, Schichten mit einer spektralen Empfindlichkeit herzustellen, die jener des menschlichen Auges entspricht.

Auch die besten bisher gebauten Photozellen haben nur eine Quantenausbeute von weniger als 10%. Nur beim inneren Photoeffekt, auf den wir bei der Besprechung des Vidicons kurz eingehen werden, beträgt die Quantenausbeute bis 100%.

Die Verstärkung von Photoelektronen durch Sekundäremission

Das Phänomen der Auslösung von Sekundärelektronen wurde um 1900 durch Lenard entdeckt. Aber erst die Entwicklung der Elektronenröhre bildete den Anlass zu eingehenden Untersuchungen über dieses Gebiet. Das Buch von H. Bruining [9] enthält nahezu 400 Literaturzitate. Es sei auch auf das Buch von W. Hartmann und F. Bernhard verwiesen [10].

Auf die Ausbeute, das heisst die Zahl der ausgelösten Sekundärelektronen zur Zahl der auslösenden Elektronen, an reinen Metallen, soll nicht eingegangen

werden. An Schichten, die ähnlich aufgebaut sind wie die Photokathoden, beträgt die Ausbeute bei einer Geschwindigkeit der Primärelektronen von 200 V etwa 10. Durch Wiederholung des Prozesses lässt sich die Vervielfachung auf fast beliebig hohe Beträge steigern. Die wiederholte Vervielfachung des Elektronenstromes setzt voraus, dass möglichst alle Sekundärelektronen zur nächsten Stufe gelangen. Die Führung der Elektronen in einem mehrstufigen Multiplier ist deshalb entscheidend.

In allen statischen Elektronenvervielfachern liegen die einzelnen Prallanoden auf einer Spannung, die von Stufe zu Stufe um 100 bis 200 V ansteigt. Bei den ersten Multipliern wurden die Elektronen durch ein magnetisches Feld von einer Prallanode zur nächsten geführt. Die dazu notwendigen permanenten Magnete wurden in der folgenden Entwicklung durch elektrische Felder abgelöst. Der Feldverlauf zwischen zwei, meist schaufelförmigen Elektroden bewirkt die Bündelung der ausgelösten Sekundärelektronen auf der nächsten Dynode (*J. Rajchmann, V. K. Zworykin, N. Schätti*).

Eine Zwischenlösung des Elektronen-Multipliers nach *W. Kluge* und *G. Weiss* hatte eine Anzahl feinmaschiger Netze aus Silberdraht, die durch Cs aktiviert waren. Diese im Abstand von einigen Millimetern hintereinander liegenden Netze übernahmen den grössten Teil der ausgelösten Sekundärelektronen, und nur ein Bruchteil davon fiel erneut beschleunigt auf das nächste Netz. Die Stufenverstärkung betrug deshalb bestenfalls 3.

Form und Ausführung der heute gebräuchlichen Multiplier sind so bekannt, dass ich darauf nicht einzugehen brauche. Mit 10...12 Stufen erreichen moderne Multiplier eine Gesamtverstärkung von $10^6 \dots 10^8$, wobei eine Grenze für die Ausgangsleistung durch die zulässige Belastung der letzten Dynode gebildet wird.

Prallbleche aus einer Magnesium-Silber- oder aus einer Kupfer-Silber-Legierung lassen sich wesentlich höher belasten als Schichten, die durch Cäsium aktiviert sind (*Romberg-Zworykin*).

Die Auslösung eines Elektrons durch ein Photon oder durch ein beschleunigtes Elektron dürfte sich in einer Zeit von etwa 10^{-12} s abspielen. Dieser Primärvorgang der Auslösung kann für alle Fernsehprobleme als trägheitslos gelten. Trotzdem hat jede Photozelle eine Trägheit, die durch die endliche Laufzeit der Elektronen zwischen der Photokathode und der Anode oder zwischen der Photokathode und der ersten Vervielfacher-Elektrode entsteht. In einem zehnstufigen Multiplier haben die Elektronen je nach der Höhe der verwendeten Spannung eine Laufzeit von $10^{-8} \dots 10^{-7}$ s. In vielen Fällen ist nicht diese Laufzeit störend, sondern die Streuung der Laufzeit, also die Differenz der Laufzeiten von Elektronen, die an verschiedenen Stellen der Photokathode ausgelöst werden. Diese Laufzeitstreuung erreicht auch in elektronenoptisch sorgfältig konstruierten Multipliern ungefähr 10^{-8} s.

Verwendet man zur Elektronenbeschleunigung eine Wechsellspannung, dann kann, wie dies zuerst von *Farnsworth* [11] gezeigt wurde, durch wiederholten Aufprall der Elektronen, die zwischen zwei symmetrischen Elektroden unter dem Einfluss der Wechsellspannung hin- und herpendeln, eine beliebig grosse Vervielfachung eines Photostromes erhalten werden. Die Bedingungen für das Zustandekommen der Pendelvervielfachung besteht darin, dass die Laufzeit der Elektronen zwischen den beiden Elektroden gleich einer halben Periodendauer der Wechsellspannung ist.

Wie Untersuchungen in meinem Laboratorium durch *H. Geest* [12] gezeigt haben, genügt die thermische Emission zur Einleitung dieser Pendelvervielfachung, wenn die Elektroden symmetrisch und durch Zäsium aktiviert sind. Der Strom steigt ohne eine Begrenzung auf beliebige Werte an. In der Notwendigkeit einer definierten Begrenzung der Vervielfachung liegt die wesentliche Schwierigkeit des dynamischen Multipliers. Sie haben sich daher in der Fernsehtechnik nicht behauptet.

Die Verstärkung des Photostromes durch Sekundäremission ist nicht nur eine Methode, mit der man fast mühelos eine millionenfache Verstärkung erhält, sie ist der Verstärkung des Photostromes durch einen üblichen Röhrenverstärker grundsätzlich überlegen. In dem letzteren Fall liegt in Serie mit der Photozelle ein Arbeitswiderstand R von $10^3 \dots 10^4$ Ohm, je nach der Bandbreite des Fernsehsignales. Dieser Widerstand R ist gleichzeitig der Eingangswiderstand des Verstärkers.

Bei Zimmertemperatur beträgt die thermische Rauschspannung $13 \mu V$, solange die Zeitkonstante, die R zusammen mit der Eingangskapazität des Verstärkers bildet, gleichzeitig die Bandbreite des Videosignales bestimmt. Soll dieses Signal ein bestimmtes S/N , zum Beispiel 40 dB erhalten, dann ist durch diese Forderung der Mindest-Lichtstrom der Fernsehaufnahme festgelegt.

Das thermische Rauschen von R ist etwa 100mal grösser als der Spannungsabfall am gleichen Widerstand, der durch den Schroteffekt erzeugt wird. Werden die vom Licht ausgelösten Elektronen innerhalb der Photozelle durch Sekundäremission verstärkt, dann liegt der Arbeitswiderstand erst am Ausgang des Multipliers. Sobald dessen Verstärkung grösser als 1000 ist, kann das thermische Rauschen von R praktisch vernachlässigt werden, und der Lichtstrom lässt sich für gleiches S/N auf 1/100 herabsetzen. Nur dank diesem grundsätzlichen Unterschied war es bereits um 1930 möglich, Fernsehbilder mit etwa 200 Zeilen mit erträglicher Studiobeleuchtung und mit befriedigendem S/N zu übertragen.

Elektronenoptik und Bildwandler

Zur Bündelung eines Kathodenstrahles wurde bereits 1899 von *E. Wiechert* eine Magnetspule eingeführt. Ein anderer Weg zur Fokussierung eines Elek-

tronenstrahles wurde durch *A. Wehnelt* 1903 angegeben: vor eine emittierende Glühkathode wird eine zylindrische Elektrode angeordnet, deren Potential negativ gegen die Kathode ist. Die physikalische Wirkungsweise der beiden Methoden wurde aber erst 1927 durch die Arbeit von *H. Busch* geklärt. Diese Arbeit ist der Ausgangspunkt des Gebietes, das wir als Elektronenoptik bezeichnen.

Die gesamte Entwicklung der Fernsehtechnik wurde durch die Elektronenoptik nachhaltig beeinflusst. Jedes Lehrbuch der Fernsehtechnik enthält darüber einen umfangreichen Beitrag.

Als Beispiel für die Anwendung der Elektronenoptik auf dem Gebiete des Fernsehens sei kurz auf den Bildwandler eingegangen. Die Emission einer transparenten, homogenen Photokathode wird durch eine elektrische oder durch eine magnetische Linse auf einem, auf positivem Potential liegenden Leuchtschirm abgebildet. Bildwandler dieser Art werden zur Sichtbarmachung von Objekten verwendet, die mit Infrarot angestrahlt werden oder die im Gebiet von $0,8 \dots 1,2 \mu\text{m}$ strahlen. Solche Ultrarot-Bildwandler wurden entwickelt durch *Zworykin*, *Heimann*, *Knoll* u. a. Eine zusammenfassende Darstellung über elektronenoptische Bildwandler gibt das Buch von *F. Eckardt* [13] und ein Bericht von *J. D. McGee* [14].

In dem später zu besprechenden Super-Ikonoskop und in dem Super-Orthicon wird die Emissionsverteilung einer transparenten Photokathode, die dem optischen Bild entspricht, durch ein Feld von etwa 1000 V beschleunigt und durch eine magnetische oder elektrische Linse auf einer «Speicherplatte» abgebildet. Durch die Einführung dieses Bildwandlers wurde ein Gewinn an Empfindlichkeit um eine Grössenordnung erreicht.

Die speichernde Fernsehaufnahmeröhre

Bei allen Bildabtastern mechanischer Art, aber auch bei der elektronischen Zerlegung eines Bildes nach *Farnsworth* geben nur jene Photoelektronen ein Signal, die während der Dauer der Abtastung des betreffenden Bildes ausgelöst werden. Für ein Bild mit 10^5 Bildelementen wird also nur ein Bruchteil von $1:10^5$ des in die Kamera fallenden Lichtstromes wirksam. Bei dieser Vergeudung musste die Studiobleuchtung in den dreissiger Jahren grösser als 100 000 Lux sein.

Ein Weg, der in bestimmten Fällen diese Beleuchtung und die mit ihr verbundene Wärmeentwicklung vermeidet, besteht in der punkweisen Beleuchtung des Objektes. Dabei wird der Abtastfleck mechanisch oder elektrisch über den zu übertragenden Gegenstand bewegt (flying spot scanner). Es versteht sich von selbst, dass diese Methode der Bildabtastung nicht für grössere Szenen oder für Aussenaufnahmen brauchbar ist. Für die Übertragung von Filmen und Diapositiven wird der flying spot scanner aber auch heute noch verwendet.

Bei jeder photographischen Bildaufnahme summieren sich die Lichtwirkungen an allen Stellen des

Bildes während der gesamten Dauer der Belichtung. Es war naheliegend, aber deshalb nicht weniger schwierig, ein ähnliches Prinzip für die Fernseh-Bildaufnahme zu entwickeln. Erst durch *V. K. Zworykin* wurde 1933 bei der RCA das Speicherproblem bei der Fernsehaufnahme verwirklicht [15].

Für jedes Flächenelement des zu übertragenden Bildes werden die Lichteindrücke zwischen zwei Abtastzyklen, also über $1/25$ beziehungsweise $1/30$ s in Form elektrischer Ladungen summiert. Nach jeweils einer Bilddauer wird jedes der voneinander isolierten Speicherelemente durch einen Kathodenstrahl abgetastet und dabei «entladen». Zunächst seien in aller Kürze die Vorgänge in einer solchen Speicherröhre, dem Ikonoskop, beschrieben und anschliessend die Überlegungen angeführt, die zum Super-Ikonoskop, zum Orthicon und zum Image-Orthicon geführt haben.

Eine Glimmerplatte trägt auf der einen Seite einen leitenden Belag, die Signalplatte, auf der anderen Seite eine Vielzahl isolierter Silbertröpfchen, die durch Cäsium photoelektrisch aktiviert wurden. Das optische Bild der zu übertragenden Szene wird auf dieser, wie ein Mosaik unterteilten Photokathode entworfen. Innerhalb $1/25$ s wird dieses Mosaik durch einen scharf gebündelten Elektronenstrahl abgetastet, der durch elektrische oder magnetische Felder in bekannter Weise über die Speicherplatte bewegt wird.

Bei Belichtung emittiert jedes Silbertröpfchen eine seiner Helligkeit entsprechende Zahl Elektronen; es lädt sich also zwischen zwei Abtastungen mehr oder weniger positiv auf. Bei unbelichteter Speicherfläche oder gleichförmiger Ausleuchtung derselben sollte beim Abtasten kein Signal entstehen. In beiden Fällen tritt aber eine ausserordentlich störende Spannung auf, die dieselbe Grössenordnung wie das Nutzsignal hat. Dieses durch den Abtastvorgang selbst entstehende «Störsignal» ist auf die Sekundärelektronen zurückzuführen, die vom Abtaststrahl an dem jeweils getroffenen Speicherelement erzeugt werden.

Beim Ikonoskop betrug die Geschwindigkeit der Abtastelektronen 1000 V. Der Sekundäremissionsfaktor von Zäsium ist dabei grösser als 1, und das Potential des gerade vom Abtaststrahl getroffenen Bildelementes steigt bis auf ein Gleichgewichtspotential an, das etwa 3 V positiv ist gegenüber der Kollektorelektrode, die die Speicherplatte umgibt.

Ohne Belichtung fällt das Potential jedes Speicherelementes durch die Aufnahme der langsamen Sekundärelektronen von 3 V über Kollektorpotential auf 1,5 V unter Kollektorpotential. An belichteten Stellen wird dieser Abfall durch die Emission von Photoelektronen zum Teil kompensiert. Die Photoelektronen selbst kehren teilweise zur belichteten Stelle zurück, da während des grössten Teiles der Bilddauer kein Absaugfeld vorhanden ist. Unter diesen ungünstigen Feldverhältnissen erscheinen nur wenige Prozent der Photoemission zwischen zwei Abtastungen als Nutzsignal beim Entladen des Speichers.

Das Verhältnis der zur Speicherplatte zurückfließenden Sekundärelektronen zu den nach dem Kollektor abgeführten ist für die verschiedenen Stellen der Speicherplatte verschieden. Dementsprechend variiert das Gleichgewichtspotential, das sich beim Abtasten einstellt, um mehr als 1 V von Stelle zu Stelle des Schirmes. Diese Variationen des Gleichgewichtspotentials bilden das Störsignal.

Durch geeignete gegenphasige Wechselspannungen im Verstärker des Ikonoskopes kann das Störsignal kompensiert werden. Dies erfordert aber eine ständige Änderung der Kompensations-Wechselspannungen mit der mittleren Helligkeit des Bildes und mit der Verteilung der Helligkeit über die Bildfläche.

Die Wirkungsweise des Ikonoskopes wurde erklärt durch *Zworykin* und seine Mitarbeiter *Florin* und *Morton*, durch *H. Heimann*, *R. Theile*, *J. D. McGee* und *Lubszynski*.

Die geschilderten Nachteile des Ikonoskopes liessen sich durch Abtastung der Speicherplatte mittels langsamer Elektronen vermeiden. Solange die Geschwindigkeit der Abtastelektronen kleiner als 10 V ist, bleibt der Sekundäremissionsfaktor auch für Zäsium kleiner als 1. Zunächst war aber die Fokussierung eines Elektronenstrahles einer Geschwindigkeit von weniger als 10 V aussichtslos. Aus diesem Grunde wurde dieser scheinbar so naheliegende Weg zunächst nicht beschritten.

Die Verbindung des Ikonoskopes mit einem Bildwandler brachte eine gewisse Verringerung des Störsignales und ausserdem eine Steigerung der Empfindlichkeit um eine Grössenordnung. Dieses Super-Ikonoskop (Image-Icoscope) wurde etwa gleichzeitig und unabhängig von *Zworykin* und seinen Mitarbeitern, von *Lubszynski* und *J. D. McGee* und von *F. Schröter* angegeben.

Erst in den Jahren 1950–1952 ist es *Theile*, *Germany* und *Cope* gelungen, das Störsignal des Super-Ikonoskopes völlig zu beseitigen.

Die Abtastung eines Elektronenspeichers durch langsame Elektronen, die unabhängig von der Ablenkung senkrecht auf die Speicherplatte auftreffen, wurde 1939 durch *Rose* und *Jams* im Orthicon verwirklicht. Hier lädt der Abtaststrahl die getroffenen Bildelemente negativ bis auf Kathodenpotential auf. Das Feld vor der Kathode genügt nun, um alle ausgelösten Photoelektronen abzuführen. Der Abtaststrahl gibt nur so viele Elektronen an das getroffene Bildelement ab, als dieses während einer Bilddauer durch Photoemission verloren hat. Die übrigen Abtastelektronen werden reflektiert, nachdem sie das Potential der eben abgetasteten Speicherstelle auf Null gebracht haben.

Die Endstufe dieser Entwicklung bildet das 1946 von *Rose*, *Weimer* und *Law* beschriebene Image-Orthicon, das eine Kombination eines Orthicons mit einem Bildwandler darstellt [16]. Als neues Element hat das Image-Orthicon einen Speicher in Form einer Glasplatte von etwa 40 mm Durchmesser und einer Dicke von wenigen tausendstel Millimeter.

Durch eine Leitfähigkeit des Glases gleichen sich die Ladungen, die einander auf der Glasplatte gegenüberliegen, in etwa $1/25$ s aus. In einem Abstand von 50μ vor der Glasplatte befindet sich ein äusserst feines Drahtnetz, das zur Definition der Kapazität der Rasterelemente und zur Absaugung der Sekundärelektronen dient.

Die Aufladung der Glasplatte erfolgt durch das Drahtnetz hindurch mit dem vorgeschalteten Bildwandler. Die Abtastung der gespeicherten Ladung geschieht mit Hilfe langsamer Elektronen, die überall senkrecht auf die Platte auftreffen.

Die Empfindlichkeit des Image-Orthicons erreicht etwa das 100fache des Zworykinschen Ikonoskopes. Es ist völlig frei von Störsignalen. Die theoretische Grenze der Empfindlichkeit ist jedoch bis heute nicht erreicht. Durch Vergrösserung der Quantenausbeute des primären Photoprozesses sollte es möglich sein, auch die Empfindlichkeit des Image-Orthicons noch erheblich zu steigern.

Eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der speichernden Fernsehaufnahmeröhre enthält ein Bericht des Verfassers [17] und eine Arbeit von *R. Theile* [18].

Halbleiteraufnahmeröhre

Die Quantenausbeute des inneren lichtelektrischen Effektes erreicht bei vielen Halbleitern 100%. In einem Stoff wie Selen beträgt der photoelektrisch ausgelöste Strom einige Milliampere je Lumen, also das 1000fache des Sättigungsstromes einer guten Alkalischiicht. Dies war der Grund für die bereits in den dreissiger Jahren beginnenden Versuche, halbleitende Schichten in Fernsehaufnahmeröhren zu verwenden. Untersuchungen von *Knoll*, *Theile*, *Krahwinkel*, *Salow* u. a. hatten keinen Erfolg.

Die erste brauchbare Aufnahmeröhre mit einem Halbleiter war das «Vidicon» der RCA, das von *Weimer* 1950 beschrieben wurde [19]. Als Halbleiter wurde Selen verwendet, das in einer Schichtdicke von wenigen μ auf einer leitenden transparenten Unterlage aufgebracht war. Die transparente Schicht erhält eine Spannung von $+10 \dots +30$ V. Die dieser Schicht gegenüberliegende Seite stellt sich beim Abtasten durch Elektronen kleiner Geschwindigkeit auf Kathodenpotential ein. Der Dunkelwiderstand des Halbleiters muss so hoch sein, dass trotz der hohen Feldstärke innerhalb $1/25$ s kein merklicher Potentialausgleich stattfindet. Wird auf dem Halbleiter ein Bild entworfen, so werden durch die erzeugte Leitfähigkeit die hellen Bildelemente zwischen zwei Abtastvorgängen etwa 2 V positiv gegenüber der Kathode. Der Abtaststrahl gibt an diese positiv aufgeladenen Bildelemente so viele Elektronen ab, bis ihre gespeicherte Ladung kompensiert ist. Bei diesem Ladungsausgleich entsteht in der Signalplatte und damit am Eingangswiderstand des Verstärkers ein Stromstoss.

Die Empfindlichkeit eines solchen einfachen Speicherrohres beträgt etwa das 100fache des Ikonosko-

pes; sie erreicht aber noch nicht jene des Image-Orthicons. Das Auflösungsvermögen solcher Halbleiterschichten ist völlig ausreichend. Anstelle von Selen wird heute vorzugsweise Antimontrisulfid oder Bleioxyd (Plumbicon von *Philips*) verwendet. Trotzdem in den letzten Jahren ausserordentlich viele photoelektrische Halbleiter untersucht wurden, ist es bisher nicht gelungen, alle Nachwirkungen an beleuchteten Stellen auf wenige Millisekunden herabzusetzen.

Die Bildwiedergabe

Mit wenigen Ausnahmen (*Fischer, Scophony*) wird das Bild am Fernsehempfänger durch eine Kathodenstrahlröhre erzeugt. Ein durch eine Spannung von 10...20 kV beschleunigter Elektronenstrahl, trifft zu einem Brennfleck von 0,5...1 mm² Fläche konzentriert, auf einem Leuchtschirm auf, der aus ZnS oder CdS oder einem Gemisch der beiden besteht.

Die Helligkeit einer modernen Bildröhre beträgt fast das 1000fache der alten Braunschen Röhre. Die entscheidenden Schritte in dieser Entwicklung sind:

a) Entdeckung der Gesetze der Elektronenoptik und ihre Anwendung auf die Strahlerzeugung, auf die Intensitätssteuerung und auf die Ablenkung.

b) Entwicklung von Phosphoren mit wesentlich grösserer Ausbeute (*Schleede, Bartels, Leverenz, Clausen*).

c) Steigerung der Beschleunigungsspannung

d) Beseitigung des Ionenfleckes

e) Vermeidung der Schirmaufladung.

Die beiden zuletzt genannten Erscheinungen wurden durch die heute allgemein angewandte Metallisierung des Leuchtschirmes behoben. Ein Aluminiumbelag vor dem Phosphor wurde erstmals 1935 von *De Quervain* vorgeschlagen. Dieser Aluminiumbelag, in einer Dicke von 500...5000 Å, wird nicht direkt auf den Phosphor aufgedampft, sondern auf eine Zwischenschicht aus Nitrozellulose oder dergleichen, die später beim Ausheizen zerstört wird. Der nach Beseitigen der Zwischenschicht verbleibende Aluminiumbelag ist optisch spiegelblank und reflektiert das vom Phosphor nach der Rückseite emittierte Licht in die Richtung des Beschauers.

Ein weiterer Lichtgewinn entsteht bei der Aluminiumierung dadurch, dass eine Aufladung des Leuchtschirmes beseitigt wird. Die meisten Phosphore haben für Elektronen von mehr als 5 kV Geschwindigkeit einen Sekundäremissionskoeffizienten kleiner als 1. Daher lädt sich der Schirm auf ein Potential auf, das unter dem der Anode liegt. Die Lichtausbeute einer solchen Röhre steigt bei Erhöhung der Strahlspannung über 5 kV nicht an. Für den metallisierten Leuchtschirm wächst die Lichtausbeute mit zunehmender Spannung stetig.

ZnS-Phosphore mit Aluminiumschicht erreichen Lichtausbeuten von 4...6 HK/W.

Weiterhin beseitigt die Aluminiumschicht die Beschädigung des Phosphors durch das Bombardement

negativer Ionen (Ionenfleck). Vor der Einführung der Metallisierung musste jede Fernsichtbildröhre eine «Ionenfalle» enthalten. Bei einer Spannung von 12...15 kV erreicht der metallisierte Schirm einer Bildröhre eine Helligkeit von rund 1000 Lux. Mit Rücksicht auf das bei 50 Rasterwechseln störende Flimmern, wäre in einer Fernsehempfängerröhre ein Phosphor erwünscht mit einer Abklingdauer gleich der Bilddauer ($\frac{1}{25} \dots \frac{1}{30}$ s).

Der Einfluss der Raumbeleuchtung auf den Bildkontrast wurde durch die Verwendung von Grau- oder Filterglas erheblich verringert.

Die ständige Vergrösserung der Fernsichtbildröhre fällt zeitlich erst in die dritte Epoche der Fernsehtechnik. Dass hierbei gleichzeitig der Bildwinkel von etwa 30° auf rund 100° vergrössert wurde, darf nicht unerwähnt bleiben.

Es wurde wiederholt von *F. Schröter* vorgeschlagen, das Speicherprinzip auch auf die Wiedergaberöhre anzuwenden. In einer solchen speichernden Empfangsröhre wäre es theoretisch möglich, die heutige Bildfrequenz herabzusetzen und damit entweder das notwendige Frequenzband zu verkleinern oder dem Bild eine höhere Auflösung zu geben. Da in einer solchen Speicherempfangsröhre alle Stellen des Bildes gleichzeitig wiedergegeben werden, würde dies eine erheblich grössere Bildhelligkeit ermöglichen. Eine solche Speicherröhre ist aber bis heute nicht verwirklicht.

Als Literatur zur Fernsichtbildröhre sei auf das Buch von *M. v. Ardenne* [20] und den Bericht von *H. Moss* [21] verwiesen.

Die Entwicklung des Fernsehgrossbildes

Kaum ein anderes Gebiet der Fernsehtechnik hat so viel Interesse gefunden wie das Grossbild, und auf keinem Gebiet der Fernsehentwicklung steht der technische oder der wirtschaftliche Erfolg in einem ähnlichen Missverhältnis zur aufgewandten Arbeit.

Die Anforderungen an ein Grossbild haben sich seit 1930 nicht geändert: verlangt wird eine Bildzerlegung in 600...800 Zeilen, eine Bildgrösse von 20...40 m², ein Lichtstrom von 2000...5000 Lumen und geringe Betriebskosten.

Von den bisherigen Versuchen möchte ich erwähnen:

a) Die Zwischenfilmprojektion. Sie wurde bearbeitet von *Baird, Castellani, Karolus, Schubert* u. a. Alle Versuche scheiterten an den zu hohen Betriebskosten. Nur ein ähnliches Verfahren wurde zur technischen Reife entwickelt und wird laufend eingesetzt, nämlich der Projektor von *Kelvin & Hughes* (London). Dieser, entwickelt von *G. Wikkenhauser*, ermöglicht die Aufzeichnung, Entwicklung, Fixierung, Wässerung und Trocknung eines Radarbildes in wenigen Sekunden.

b) Das Projektionsverfahren von *Scophony* in London (*Jeffry, Okolicsanyi, Wikkenhauser*). Die Lichtsteuerung erfolgt mittels einer Ultraschall-

anordnung, wie sie 1932 von *A. Karolus* entwickelt wurde [22]. Die Information einer Bildzeile wird in eine Amplitudenmodulation einer laufenden Ultraschallwelle umgewandelt. Die Bewegung der Schallwelle wird durch ein kleines rotierendes Spiegel-polygon optisch aufgehoben. Der Scophonyprojektor arbeitet also bereits mit einem Speicherverfahren, wenn auch nur über eine Zeile [23].

Als die Versuche 1940 eingestellt wurden, war der Lichtstrom für ein grosses Kino nicht ausreichend, dagegen völlig für eine mittlere Projektionsfläche. Die Bildschärfe mit 405 Zeilen war ausgezeichnet, ebenso die Wiedergabe von Halbwerten.

c) Ein Mehrkanalverfahren wurde von mir in den Jahren 1926–1930 entwickelt. Das Licht einer Bogenlampe wurde in einer Vierfach-Kerr-Zelle moduliert und durch ein Polygon mit 24 Spiegeln über die Bildfläche verteilt. Das so entstandene 96-Zeilen-Bild hatte mit einem Kohle-Lichtbogen eine ungenügende Helligkeit. Verwendet man eine Kerr-Zelle mit etwa 200 getrennten, in Zeilenform angeordneten Elektroden und eine Hg- oder Xenon-Hochdrucklampe in Kapillarform, dann kann ein beliebig grosser Lichtstrom erhalten werden.

d) Mit einem Empfangsbild, das aus einer Vielzahl von Lichtquellen aufgebaut ist, lässt sich zwar der eingangs geforderte Lichtstrom erzeugen, dagegen ist die Auflösung eines solchen Bildes bis heute ungenügend. *H. Jves* demonstrierte 1927 in den Bell-Laboratorien (New York) einen Empfänger mit 2500 Glimmlampen. Diese durch Hochfrequenz angeregten Glimmlampen bestanden aus einer zeilenförmigen Neonröhre mit 2500 Aussenelektroden. Als Verteiler diente ein mechanischer Kommutator mit 2500 Kontakten. Die Bildgrösse war kleiner als $\frac{1}{2} \text{ m}^2$ [24].

1930 führt *J. L. Baird* ein Bild vor, das aus 2100 Glühlampen aufgebaut war. Auch hier erfolgte die Verteilung des Bildsignales auf die Glühlampen durch einen rotierenden mechanischen Verteiler mit 2100 Kontakten.

In den Jahren 1933–1935 wurde in meinem Laboratorium in Leipzig ein Grossbild entwickelt, dessen Bildwand aus 10 000 einzelnen Glühlämpchen von 0,3 Watt bestand. Dieses 100-Zeilen-Bild hatte eine Fläche von $2 \times 2 \text{ m}$. Die Stromverteilung wurde zuerst durch 100 mechanische Verteiler mit je 100 Kontakten vorgenommen, später durch einen Koordinatenschalter ersetzt, bei dem die Verteilung des Videosignales in der einen Koordinate durch einen Elektronenstrahlschalter, in der zweiten Koordinate durch einen mechanischen Kommutator von nur 100 Kontakten erfolgte. Die Bildfrequenz betrug 50 Bilder/s. Die Glühlämpchen waren in Kreuzschienenanordnung geschaltet und die Rückwege der Ströme durch Gleichrichter gesperrt.

Die Helligkeit war auch für nicht verdunkelte Räume ausreichend. Das Grossbild wurde 1935 auf der Funkausstellung in Berlin vorgeführt [25].

In Fortführung dieser Tableauentwicklung haben wir in den Jahren 1936–1939 ein derartiges Bild von

$4 \times 5 \text{ m}$ Grösse mit 200 Zeilen, und 40 000 Lämpchen aufgebaut. Jede senkrechte Zeile wurde aus einem getrennten Verstärker betrieben. Im Gegensatz zum ersten Bild erfolgte die Verteilung des Bildsignales in beiden Koordinaten elektronisch. Die vorgeführten Personen wurden durch einen flying spot scanner abgetastet [26].

e) Verfahren zur Grossprojektion des Schirmbildes einer Hochleistungs-Kathodenstrahlröhre wurde durch zahlreiche Firmen entwickelt: bei der Telefunken-Gesellschaft (Berlin) durch *Knoll, Diels* und *Theile*, bei der Fernseh-GmbH (Darmstadt) durch *R. Möller, Th. Mulert* und *E. Schwartz*, bei der Cinema Television (London) durch *West* und *Lance*, bei Philips (Eindhoven) durch *H. Rinia* und *J. Haantjes*, bei der Radio Corporation of America durch *V. K. Zworykin* und Mitarbeiter [27].

Die Lichtleistung aller Grossprojektionen dieser Art endete bei etwa 1000 Lumen. Durch Verwendung von Richtschirmen konnten Bilder von 10 bis 20 m^2 mit genügender Helligkeit vorgeführt werden.

Die Spannung solcher Projektions-Kathodenstrahlröhren betrug 60...80 kV; der Strom in der Spitze einige Milliampere. Der Leuchtschirm wurde teilweise durch zirkulierendes Wasser gekühlt. Die Lichtausbeute betrug etwa 4 HK/W. Durch die RCA und die Philips wurden für die Projektionen des Schirmbildes Schmidt-Linsen entwickelt, deren Öffnungsverhältnis etwa 1 betrug.

f) Einen völlig neuen Weg für ein Fernsehgrossbild beschritt *F. Fischer* (Zürich). Der «Eidophor» wurde 1948 erstmals einem grösseren Kreis vorgeführt [28].

Auf einer dünnen Ölschicht von etwa 50 cm^2 schreibt ein vom Videosignal modulierter Kathodenstrahl ein Ladungsbild. Die örtlich veränderlichen Ladungen deformieren die Ölschicht zu einem Reliefbild. Die Amplitudenmodulation des Bildsignales wird zuvor in eine periodische Geschwindigkeitsmodulation umgewandelt. Die Zähigkeit und die Leitfähigkeit der Ölschicht sind so bemessen, dass sich eine Deformation innerhalb einer Bilddauer ausgleicht. Das Reliefbild wird in einer Schlierenoptik projiziert.

Trotz der bei einer Schlierenoptik unvermeidlichen Lichtverluste erreichen die Bilder mit einer Xenon-Hochdrucklampe als Lichtquelle die Lichtstärke eines normalen Kinoprojektors.

g) Mehrere, im Prinzip ähnliche Bildprojektoren verwenden anstelle der Ölschicht einen Schirm aus Kristallen. In der sog. Blauschiffröhre (Skiatron von *A. H. Rosenthal*) wird die durch *R. Pohl* entdeckte Blaufärbung der KCl-Kristalle bei Elektronenbombardement verwendet. Durch ein elektrisches Feld kann die Verfärbung in etwa 1 s wieder gelöscht werden.

Die Anzahl der durch einen Kathodenstrahl der üblichen Stromstärke erzeugten Farbzentren ist jedoch für ein Fernsehbild nicht ausreichend. Dagegen sind speichernde Kathodenstrahl-Oszillographen mit KCl-Schirmen handelsüblich.

Man kann als Speicherschicht auch einen Kristall aus Ammonium- oder Kaliumphosphat (ADP-Kristalle) verwenden. Lädt man diesen durch einen bewegten Kathodenstrahl auf etwa 10 kV auf, dann entsteht in ihm eine von Punkt zu Punkt verschiedene Doppelbrechung. Im polarisierten Licht lässt sich die Verteilung der Doppelbrechung projizieren. Die Ladungen müssen dann entweder durch Sekundäremission oder durch langsame Elektronen innerhalb einer Bilddauer beseitigt werden.

Bereits 1938 wurde von *M. v. Ardenne* ein speichernder Grossbildprojektor ähnlicher Art vorgeschlagen, dessen Speicherschicht aus einem Einkristall aus Zinkblende bestehen soll [29].

Es ist mir nicht bekannt, dass einer der beiden zuletzt genannten Vorschläge bisher verwirklicht wurde.

Die dritte Periode der Fernsehentwicklung

Die Träger der Fernsehforschung sind in dieser Periode, wie auch schon im zweiten Zeitabschnitt, zum grössten Teil die Laboratorien der Radioindustrie, also in den USA die *Radio Corporation of America*, die *General Electric Company*, die *Philco Corporation*, die *Columbia Corporation* und die *Bell-Laboratorien*, in Deutschland die *Telefunken-Gesellschaft*, die *Fernseh-GmbH*, die *Fa. Siemens & Halske*, in Frankreich die *Compagnie des Compteurs* und die *Compagnie Générale de Télégraphie sans fils (CSF)* und in England die *Firmen Baird, Electrical and Musical Industries* sowie *Marconi*.

Die Zeit von 1950 bis heute ist im wesentlichen charakterisiert durch die industrielle Verwertung der bisher beschriebenen Entwicklung. In England wurden bereits 1936 durch die BBC regelmässige Fernsehsendungen begonnen. Ohne den zweiten Weltkrieg wäre 1939 der Fernsehrundfunk in Deutschland eingeführt worden. So wurde der Start der Television praktisch um 10 Jahre verschoben, und erst im Jahre 1947 begannen in den USA regelmässige Fernsehsendungen in der bekannten Norm von 525 Zeilen.

Die lawinenartige Zunahme der Fernsehteilnehmer, gemessen am Umsatz an Fernsehempfängern, die ähnlich rapid zunehmende Zahl von Fernsehsendern, die ständig steigende Leistung dieser Sender von wenigen hundert Watt bis auf 100 Kilowatt, das Vordringen zu immer höheren Frequenzen, der Ausbau der Fernsehweitverbindungen, zunächst über Kontinente, heute via Satelliten zwischen Amerika und Europa, sind Meilensteine auf dem Weg der dritten Etappe.

Zum Schluss möchte ich noch auf einige Anwendungen eingehen, die die Fernsehtechnik ausserhalb des Rundfunks gefunden hat.

Ein Industriefernseher (closed loop television) besteht aus einer speichernden Bildaufnahmeröhre, die gewöhnlich mit Halbleiter arbeitet, einer Kathodenstrahlbildröhre, einem Hochfrequenzkabel zur Übertragung des Videosignales und den notwendigen Einrichtungen zur Erzeugung der Ablenkung und deren Synchronisierung.

Derartige Industriefernseher werden auf folgenden Gebieten eingesetzt:

- a) die Fernablesung von Instrumenten;
- b) die Beobachtung von Verbrennungsvorgängen, Explosionen, Abschüssen von Raketen, Einschlägen und anderem;
- c) die Überwachung von Prozessen und Vorgängen in strahlungsgefährdeten Gebieten, beispielsweise in der Reaktortechnik;
- d) die Kombination der Fernseh-Aufnahmekamera mit einem Mikroskop; dabei besteht die Möglichkeit, Objekte ohne Einfärbung durch Beleuchtung mit ultrarotem oder ultraviolettem Licht im sichtbaren Bereich wiederzugeben;
- e) die Anwendung in Unterricht und Forschung: die Vorführung von chirurgischen Eingriffen, von biologischen Objekten, von physiologischen Vorgängen usw. Von grosser Bedeutung hierfür wäre der Einsatz von Fernseh-Grossprojektionen;
- f) Unterwasserkameras;
- g) Verkehrsüberwachung und -regelung, Rangierbetrieb;

h) Nachtsehgeräte, bei denen das Vidicon mit einer im Infrarot empfindlichen Schicht ausgerüstet ist.

Mit Fernsehanlagen, deren Zeilenzahl auf etwa 200 beschränkt bleiben kann, sollten die vor etwa 20 Jahren eingestellten Fernsehsprechversuche («Fernsehtelephon») wieder aufgenommen werden, möglichst mit gleichzeitiger Übertragung der Farbe in einem einfachen Simultanverfahren oder mit Farbwechsel durch rotierende Farbfilter.

In diesem Aufsatz konnten nur einige Probleme der Fernsehentwicklung herausgegriffen werden. Auf die Entwicklung des Farbfernsehens konnte mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum nicht eingegangen werden. Es sei aber auf die umfangreiche Literatur über Farbfernsehen verwiesen [30]. Auch die parallel zu den behandelten Problemen laufende Entwicklung der Hochfrequenztechnik, der Verstärker, der Sender, der Kabel usw. konnte nicht berücksichtigt werden.

Adresse des Autors: Prof. Dr. August Karolus, Wybüelstrasse 3, CH-8702 Zollikon/ZH.

Bibliographie

- [1] *A. Korn und G. Glatzel*: Handbuch der Phototelegraphie und Teleautographie. O. Nemnich, Leipzig, 1911.
- [2] *F. Schröter*: Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens. J. Springer, Berlin, 1932.
- [3] *F. Schröter und A. Karolus*: Festschrift 25 Jahre Telefunken, Berlin, 1928.
- [4] *B. Gudden*: Lichtelektrische Erscheinungen. J. Springer, Berlin, 1928.

- [5] *H. Simon und R. Suhrmann*: Lichtelektrische Zellen. J. Springer, Berlin, 1932.
- [6] *R. Fleischer und H. Teichmann*: Die lichtelektrische Zelle. Th. Steinkopf, Dresden, 1932.
- [7] *N. R. Campbell and D. Ritchie*: Photoelectric Cells. J. Pittmann, London, 1930.
- [8] *P. Görlich*: Die lichtelektrischen Zellen, ihre Herstellung und ihre Eigenschaften. Geest & Portig, Leipzig, 1951.
P. Görlich: Recent Advances in Photoemission, Advances in Electronics, Bd. 11. Academic Press, New York, 1959.
- [9] *H. Bruining*: Physics and Applications of Secondary Emission. Pergamon Press Ltd, London, 1954.
- [10] *W. Hartmann und F. Bernhard*: Photovervielfacher und ihre Anwendung in der Kernphysik. Akad. Verlag, Berlin, 1957.
- [11] *P. Farnsworth*: Television by Electron Image Scanning. Journ. Franklin Inst. **218** (1934) S. 411.
- [12] *H. Geest*: Laufzeiterscheinungen an Photozellen, Jahrb. d. drahtl. Telegraphie **57** (1941) 75...83.
- [13] *F. Eckardt*: Elektronenoptische Bildwandler und Röntgenbildverstärker, J. A. Barth, Leipzig, 1962.
- [14] *J. D. McGee and W. L. Wilcock*: Photo-Electronic Image Devices. Advances of Electronics, Bd. XII, Acad. Press, New York, 1960 und vol. XVI, Acad. Press, 1962.
- [15] *V. K. Zworykin*: The Iconoscope, a modern version of the human eye. Proc. I. R. E. **22** (1934) 16...22.
- [16] *A. Rose, P. K. Weimer und H. B. Law*: The Image Orthicon. Proc. I. R. E. **34** (1946) 424...432.
- [17] *A. Karolus*: Die Entwicklung der speichernden Fernseh-Aufnahmeröhre. Zs. f. angew. Physik, **4** (1952) 71...77.
- [18] *R. Theile*: Die Signalerzeugung in Fernseh-Bildabstrahlröhren. Archiv f. elektr. Übertrag. **7** (1953), Hefte 1, 6 und 7.
- [19] *P. K. Weimer, Forgue u. a.*: The vidicon, a photoconductive camera tube. Electronics, New York **23** (1950) 70...73.
- [20] *M. v. Ardenne*: Die Kathodenstrahlröhre. J. Springer, Berlin, 1933.
- [21] *H. Moss*: Cathode Tube Progress in the Past Decade. Advances in Electronics, Vol. II (1950) Acad. Press, New York.
- [22] *A. Karolus*: Patent über Lichtmodulation durch Ultraschall, DRP 684 230, 1932.
- [23] *H. W. Lee*: The Scophony Television Receiver, Nature **142** (1938) 59...62.
- [24] *H. E. Jves, Frank Gray and J. W. Horton*: Am. Inst. of Electrical Eng., Juli 1927.
- [25] *A. Karolus*: Das Grossbildproblem beim Fernsehen, in «Fernsehen», herausgegeben von F. Schröter. J. Springer, Berlin, 1937.
- [26] *A. Karolus und W. Hasel*: Über den Aufbau von Grossbildanlagen nach dem Zellenrasterverfahren. Jahrb. d. elektr. Fernmeldewesens, G. Heidecker, 1939.
- [27] *R. Möller und R. v. Felgel*: Fernseh-Grossbilderzeugung mit Braunscher Röhre. Jahrbuch d. elektr. Fernmeldewesens, G. Heidecker, Berlin, 1939.
- [28] *H. Thiemann*: Fernseh-Grossprojektion nach dem Eidophorverfahren. S. E. V. **40** (1949) 585...595.
- [29] *M. v. Ardenne*: Methoden und Anordnungen zur Speicherung beim Fernsehempfang. Telegr.-, Fernspr., Funk- und Fernsehtechnik (1938) 518...524.
- [30] *Ch. J. Hirsch*: A Review of Recent Work in Color Television. Advances in Electronics, vol. V (1953), Acad. Press, New York.
D. G. Fink: Television Engineering Handbook. McGraw-Hill, New York, 1957.
K. Mcil Wain and Ch. E. Dean: Principles of Color Television. J. Wiley, New York, 1956.
J. W. Wentworth: Color Television Engineering. McGraw-Hill, New York, 1955.