Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 59 (1968)

Heft: 9

Artikel: Grundzüge des Farbfernsehens

Autor: Bernath, K.W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916039

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 02.07.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Grundzüge des Farbfernsehens

Vortrag, gehalten an der 30. Hochfrequenztagung des SEV vom 21. November 1967 in Zürich,

von *K. W. Bernath*, Bern

621.397.132:621.397.61:621.372.55

Die bis heute bekannt gewordenen Farbfernsehverfahren basieren auf dem additiven Farbmischprinzip, das im 19. Jahrhundert entdeckt und erforscht wurde (Grundfarben Rot, Grün und Blau). Das öffentliche Farbfernsehen muss mit dem bestehenden monochromen Fernsehen verträglich sein. Das von der Photographie her bekannte Prinzip der Kolorierung ermöglicht es, dieser Forderung ohne erhöhten Bandbreitebedarf nachzukommen. Die modernen europäischen Farbfernsehverfahren PAL und SECAM sind Varianten des anfangs der Fünzigerjahre in den USA entwickelten NTSC-Verfahrens. PAL weist gegenüber diesem übertragungstechnische Vorteile auf, die statistisch belegt sind. Die Spaltung Europas in PAL- und SECAM-Länder macht den Einsatz von Systemtranscodern notwendig, welche die Bildqualität nur wenig mindern. Für den weltweiten Austausch farbiger Programme sind rein elektronische Normkonverter vorgesehen.

Les procédés de télévision en couleurs connus jusqu'à ce jour sont basés sur le principe du mélange additif des couleurs découvert et étudié au cours du 19e siècle (couleurs de base rouge, vert et bleu). La télévision domestique en couleurs doit pouvoir s'adapter à la télévision monochrome existant actuellement. Le principe de la coloration déjà connu en photographie permet de satisfaire cette exigence sans augmenter la largeur de la bande requise. Les procédés européens modernes de télévision en couleur PAL et SECAM constituent des variantes du procédé NTSC développé au cours des années cinquante aux USA. Par rapport à ce dernier, PAL présente des avantages du point de vue de la technique de transmission qui sont confirmés par des données statistiques. Le partage de l'Europe en pays affiliés aux systèmes PAL d'une part, et SECAM d'autre part, exige l'intervention de transcodeurs qui ne diminuent que peu la qualité de l'image. Des convertisseurs de normes purement électroniques sont prévus pour l'échange mondial de programmes en couleurs.

1. Einleitung

Das Farbfernsehen stellt, analog zum Farbfilm, kein neues Unterhaltungsmittel dar; es will vielmehr Bestehendes und Bewährtes sinnvoll ergänzen. Farbe ist im Programm ja wohl nur dort angebracht, wo ihr eine besondere Aussagekraft zukommt. Die Kolorierung hilft einerseits mit, die Wirklichkeit noch exakter nachzubilden, beraubt aber anderseits den Menschen einer seiner letzten Möglichkeiten der unbewussten schöpferischen Mitgestaltung durch die Phantasie.

Technisch gesehen bedeutet Farbfernsehen in mancher Hinsicht verfeinertes monochromes Fernsehen. An die Stelle des Leuchtdichteauszuges treten drei Primärfarbenauszüge, die mit hoher Genauigkeit erzeugt, übertragen und empfangsseitig wiedergegeben werden müssen. Einen zentralen Problemkomplex bilden Fragen der zweckmässigen Übertragung der Farbinformation für das öffentliche Fernsehen. Nebenbedingungen von entscheidender Wichtigkeit, wie Verträglichkeit mit dem bestehenden Schwarzweiss-Fernsehen und Spektrumsökonomie, rufen nach einer Codierung der Primärfarbensignale.

Die ersten gedanklichen Ansätze für ein buntes Fernsehen gehen auf die Epoche der Jahrhundertwende zurück. Experimentell realisiert wurde es erstmals gegen Ende der Zwanzigerjahre in England *(Baird)* und in den USA *(Ives* und *Johnsrud)*. Von diesen bescheidenen ersten Versuchen bis zu einem brauchbaren Farbbild war ein weiter und beschwerlicher Weg, der erst durch das vollelektronische monochrome Fernsehen der dreissiger Jahre gangbar wurde. Weitere Stationen sind das CBS-System des Amerikaners *Goldmark* (um 1950), das amerikanische NTSC-System (1953), sowie dessen europäische Varianten SECAM (ab 1958) und PAL (1963). NTSC ist ein Akronym für *National Television System Committee*, wie der USA-Farbfernseh-Normungsausschuss genannt wurde, PAL ist eine Abkürzung für «*Phase Alternation, Line*», und SECAM geht auf den Ausdruck «*Séquentiel à mémoire*» zurück.

2. Psychophysikalische Grundlagen

Der physikalische Vorgang der Lichtdispersion im Glasprisma dürfte allgemein bekannt sein. Kurzwelliges Licht, das als blau registriert wird, erfährt eine stärkere Brechung als langwelliges, das im menschlichen Auge die Empfindung Rot auslöst. Dieser Prozess ist umkehrbar: Werden in geeigneten Winkeln zur einen Grenzfläche des Prismas spektralfarbige Lichter angemessener Stärke angebracht, tritt Licht aus dem Glaskörper aus, das als weiss empfunden wird. Es leuchtet ein, dass sich durch Ändern der Intensität der Strahlung in den einzelnen Wellenlängenbereichen auf diese Weise im Prinzip jede beliebige Farbe nachbilden lässt.

Man wird sich nun fragen müssen, ob zur Reproduktion der Farben des täglichen Lebens wirklich die ganze spektrale Farbskala benötigt wird. *Young, Maxwell* und *Helmholtz* fanden schon im letzten Jahrhundert heraus, dass sich mit den drei additiven Grund- oder Primärfarben Rot, Grün und Blau (genauer Blauviolett) fast alle in der Natur vorkommenden Farben für das menschliche Auge nachbilden lassen. Diese Erkenntnis macht man sich beim Farbfernsehen zunutze.

Im Alltag kommt der subtraktiven Farbmischung viel grössere Bedeutung zu als der additiven. Dies hängt unter an-

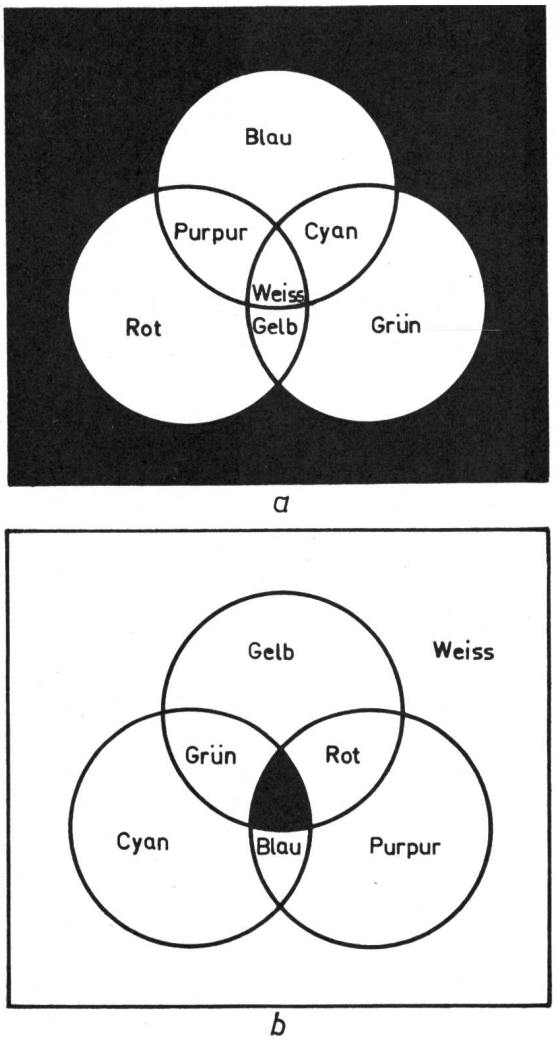


Fig. 1
Additive und subtraktive Farbmischung
Bei der additiven Farbmischung (*a*) werden farbige Lichter übereinanderprojiziert; bei der subtraktiven (*b*) werden dem weissen Licht durch Filter Farbanteile entzogen

derem damit zusammen, dass alle Pigment- oder Körperfarben subtraktiver Natur sind. Man geht bei dieser Mischungsart von weissem Licht aus und entzieht diesem geeignete Anteile roter, grüner und blauer Farbe; die subtraktiven Grundfarben sind dementsprechend Weiss minus Rot gleich Blaugrün, Weiss minus Grün gleich Purpur und Weiss minus Blau gleich Gelb. In Fig. 1 sind die additive und die subtraktive Farbmischung schematisch aufgezeigt.

Die additive Farbmischung folgt — im Gegensatz zur subtraktiven — in Verbindung mit dem menschlichen Auge weitgehend linearen Gesetzmässigkeiten. Man kann deshalb zur Festlegung der Farben ein räumliches Koordinatensystem wählen und jeder der drei Achsen eine Primärfarbe zuordnen. Eine bestimmte Farbempfindung ist in diesem Farbraum durch einen Radiusvektor definierter Richtung und Länge festgelegt. Die Grundfarben wurden 1931 in der Internationalen Beleuchtungskommission (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) erstmals genormt. Man unterscheidet zwischen den physikalischen Primärreizen *R*, *G*, *B* und den nichtphysikalischen Primärreizen *X*, *Y*, *Z*. Jene bestehen aus leicht erzeugbaren Spektrallichtern. Eine lineare Matrix verknüpft sie mit den Grössen *X*, *Y* und *Z*, die für den praktischen Gebrauch Vorteile aufweisen.

Es wird zwischen niedriger und höherer Farbmesstechnik unterschieden. Die niedrige Farbmetrik beruht auf dem Vergleich zweier Farben in dunkler Umgebung unter kleinem Bildwinkel, das menschliche Auge dient dabei gewissermassen als Nullindikator. Bezogene Farben (Simultankontrastfarben), wie etwa Braun oder Olivgrün, lassen sich auf diese Weise nicht kennzeichnen. Deren zahlenmässige Erfassung ist Gegenstand der höheren Farbmesstechnik, für die heute erste Ansätze vorliegen.

Interessiert einen nur die Farb*art*, nicht aber die Leuchtdichte einer Farbe, und beschränkt man sich auf den Farbvergleich in dunkler Umgebung, dann lässt sich die Farbe durch zwei Grössen zahlenmässig erfassen. Fig. 2 zeigt das Farbdreieck der Internationalen Beleuchtungskommission aus dem Jahre 1931. Die unregelmässig begrenzte Fläche stellt den ungefähren Bereich der Druckfarben dar. Das Dreieck der Wiedergabeprimärfarben des amerikanischen Farbfernsehens umschliesst diesen praktisch vollständig, was bedeutet, dass dieses Verfahren alle Druckfarben — und damit fast sämtliche Farben des täglichen Lebens — fehlerfrei wiedergeben kann. Die hufeisenförmige Kurve gibt den geometrischen Ort der Spektralfarben an.

Beim Farbfernsehen kommt dem Farbunterscheidungsvermögen als Funktion der Bildelementgrösse entscheidende Bedeutung zu. Farbnuancen können in grossen Bildflächen leicht erkannt werden, in kleinen indessen nicht. Bei hinreichend reduziertem Bildelement kann das menschliche Auge Farbarten auch dann nicht mehr unterscheiden, wenn diese stark voneinander abweichen, obschon die Bildelemente in ihrer Hell-Dunkel-Struktur noch deutlich wahrnehmbar sind. Die Erkenntnis, dass das Sehorgan des Menschen Helligkeitsunterschiede besser aufzulösen vermag als Farbartunterschiede bei konstanter Leuchtdichte, ist schon recht alt. Es dürfte bekannt sein, dass eine scharfe Schwarzweiss-Photographie durch mit grobem Pinsel aufgetragene Lasurfarben in durchaus befriedigender Weise koloriert werden kann. Die konsequente Verfolgung dieses Einfärbungsprinzips hat

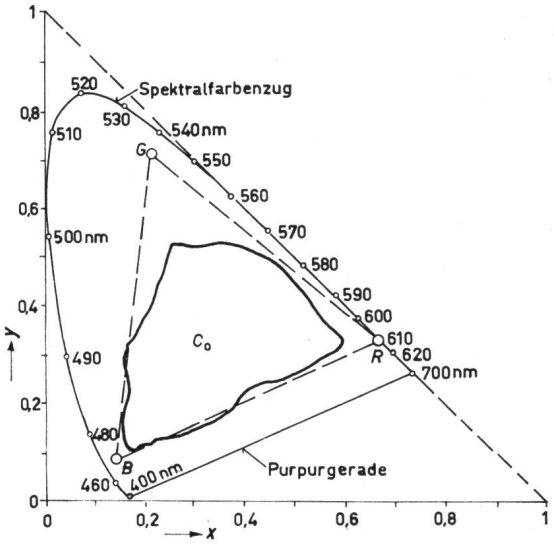


Fig. 2
CIE-Farbdreieck mit Spektralfarbenzug
Farbbereich der Druckfarben und NTSC-Empfängerprimärfarben Rot (*R*) Grün (*G*) und Blau (*B*); *C* Wiedergabe-Weisspunkt (Normlicht C, 6700 °K)

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

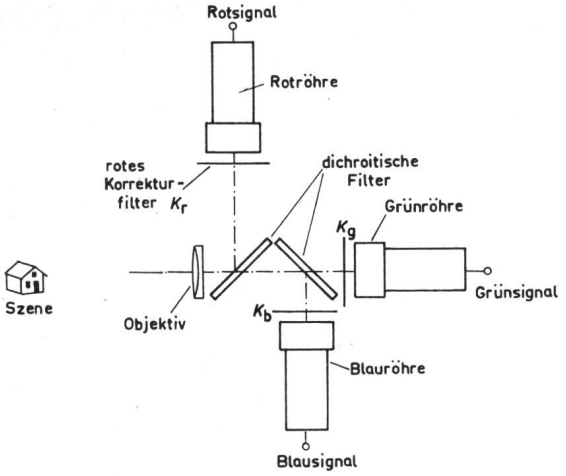


Fig. 3
Prinzipieller Aufbau einer Dreiröhren-Farbfernsehkamera
K_r, K_g, K_b rote, grüne und blaue Korrekturfilter

es dem öffentlichen Farbfernsehen ermöglicht, den Forderungen nach Kompatibilität (Verträglichkeit mit dem bestehenden monochromen Fernsehen) und Spektrumsökonomie ohne nennenswerte negative Auswirkungen auf die Qualität des wiedergegebenen Bildes nachzukommen.

Beim Farbfernsehen muss die Bildzerlegung, dem Farbraum entsprechend, wie angedeutet in drei Dimensionen erfolgen, d. h. es sind für jeden Bildpunkt drei Farbwerte zu übertragen. Alle bis heute realisierten Farbfernsehverfahren wenden das additive Farbmischprinzip an. Die roten, grünen und blauen Primärfarbenanteile werden entweder gleichzeitig auf getrennten Leitungen oder in rascher Folge zeitlich nacheinander auf einer einzigen Leitung übertragen; im ersten

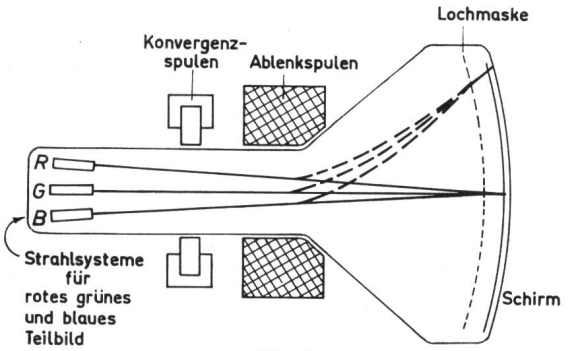


Fig. 4
Grundsätzlicher Aufbau einer Lochmaskenröhre

Fall spricht man vom Simultan-, im zweiten vom Sequenzprinzip. Simultanfernsehen ist auch auf einer einzigen Leitung im Frequenzmultiplexbetrieb möglich; das kompatible öffentliche Farbfernsehen bedient sich dieser Übertragungsart.

Beim Sequenzverfahren rotieren vor Aufnahme- und Wiedergabeanordnung Farbfilterscheiben mit roten, grünen und blauen Segmenten. Die Drehung erfolgt phasensynchron. Aus Flimmergründen muss die Bildwechselfrequenz im Vergleich zum Schwarzweiss-Fernsehen verdreifacht werden, was bei gleicher Bildauflösung auf eine dreimal grössere Übertragungsbandbreite führt. Sequenzverfahren sind aus diesen Gründen mit dem monochromen Fernsehen nicht verträglich; sie haben aber im Bildungsfernsehen, wo ja oft auf geschlossenen Schaltkreisen über kleine Distanzen gearbeitet wird, ziemliche Bedeutung erlangt, vor allem im Zusammenhang mit dem schweizerischen Eidophorverfahren.

Alle Systeme für das öffentliche Farbfernsehen arbeiten nach dem Simultanprinzip. Zum Aufspalten des Lichtes eines Bildpunktes in die Grundfarbenanteile werden dichroitische Filter verwendet. Anordnungen dieser Art reflektieren das rote oder das blaue Licht und lassen die restliche Strahlung ungehindert durchtreten. Hinter derartigen Rot- und Blauspiegeln erscheint damit die Grünkomponente des Bildpunktes. Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau einer Dreiröhren-Simultanfarbkamera. Auf den Photokathoden der drei Bildröhren entstehen über ein gemeinsames Objektiv und dichroitische Filter reelle Farbauszüge. Die Aufnahmeanordnung liefert rote, grüne und blaue Primärfarbensignale.

Das dichroitische Filter lässt sich auch wiedergabeseitig anwenden. Die roten, grünen und blauen Primärfarbensignale werden zu diesem Zweck getrennten Wiedergaberöhren zugeführt, die neben bzw. hinter dem Filtersatz angeordnet

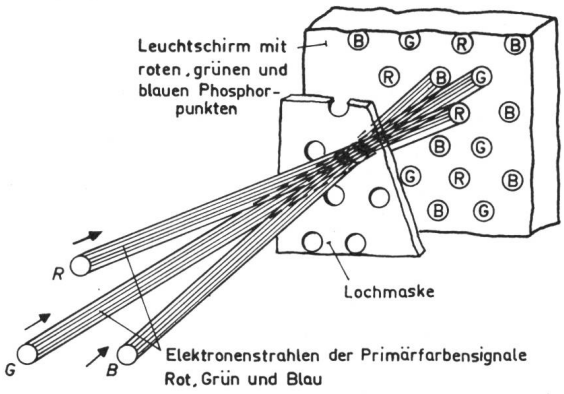


Fig. 5
Arbeitsweise der Lochmaskenröhre

sind. Das Auge des Betrachters sieht die roten, grünen und blauen Teilbilder additiv überlagert. Auch ein Übereinanderprojizieren roter, grüner und blauer Farbauszüge ist möglich.

Zur Zeit werden Farbfernsehbilder fast ausschliesslich mit der Loch- oder Schattenmaskenröhre wiedergegeben, deren Aufbau aus Fig. 4 hervorgeht. Sie unterscheidet sich äusserlich fast nur durch Gewicht und Grösse von einer monochromen Wiedergaberöhre. Im Röhrenfuss sind drei Strahlerzeugungssysteme untergebracht, je eines für den roten, grünen und blauen Farbauszug. Der Wiedergabeschirm weist rund eine Million Primärfarbenphosphorpunkte auf. Je drei benachbarte Leuchtstoffpunkte sind zu einem Rot-Grün-Blau-

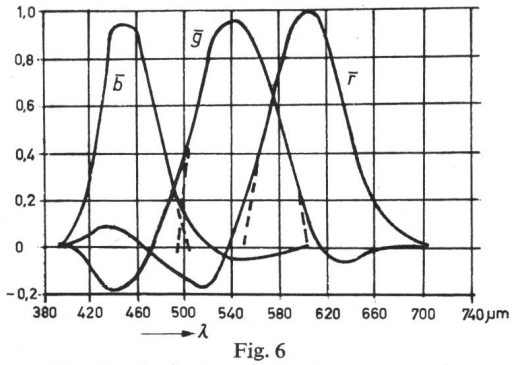
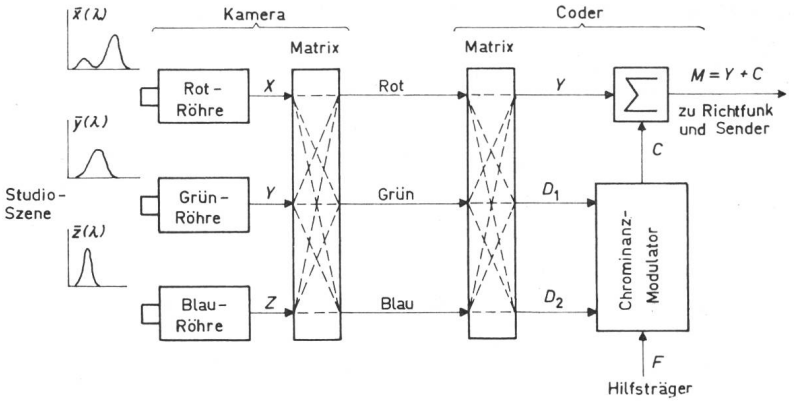


Fig. 6
NTSC-Farbmischkurven für die Aufnahmeseite
$\bar{b}$ blau; $\bar{g}$ gelb; $\bar{r}$ rot; λ Wellenlänge

Fig. 7
Prinzip des kompatiblen Farbfernsehens
Sendeseite
Bezeichnungen siehe im Text



Farbtripel zusammengefasst. Etwa 1 cm hinter dem Leuchtschirm ist eine metallene Lochmaske eingefügt, deren Öffnungen den Farbtripeln zugeordnet sind (Fig. 5). Der Elektronenstrahl des roten Farbauszuges trifft auf diese Weise stets nur den roten Leuchtstoff, jener des grünen Farbauszuges nur den grünen, usw. Da das menschliche Auge die einzelnen Phosphorpunkte aus normalem Betrachtungsabstand nicht auflösen kann, stellt sich, entsprechend der verhältnismässigen Anregung der Grundfarbenphosphore, eine additive Mischfarbe ein. Die gelbe Farbe ergibt sich beispielsweise durch Aufleuchten des roten und grünen Leuchtstoffs.

Es stellt sich nun die wichtige Frage, ob mit Hilfe derartiger Farbfernseh-Aufnahme- und Wiedergabeanordnungen innerhalb des Bereichs der Empfängerprimärfarben im Sinne der niedrigen Farbmetrik eine exakte Farbreproduktion möglich ist. Man kann zeigen, dass zu jedem Wiedergabe-Grundfarbentripel ein Satz von Kameraspektralkurven existiert, der dieser Grundforderung nachkommt. Fig. 6 zeigt die theoretischen Farbmischkurven des NTSC-Systems. Ihr Spektralverlauf weist zum Teil negative Anteile auf. Es ist interessant, festzustellen, dass sich diese elektrisch nachbilden lassen. Aus Rauschgründen vernachlässigt man aber fast immer die negativen Teilbereiche und versteilert dafür die Filterflanken im positiven Gebiet, was einen für die Praxis ausreichenden Ausgleich schafft.

3. Das Übertragungsproblem

Ein System für das öffentliche Farbfernsehen muss drei Grundforderungen erfüllen:

a) Die Farbsendungen müssen mit normalen monochromen Empfängern in Schwarzweiss mitempfangen werden können;
b) Farbsignale dürfen nicht mehr Bandbreite beanspruchen als monochrome Signale;
c) Monochrome Sendungen sollen mit Farbempfängern in Schwarzweiss mitempfangen werden können (Rekompatibilität).

Zur Lösung dieser recht schwierigen Aufgaben wurde das Kolorierungsprinzip herangezogen. Man überträgt als Hauptinformation ein scharfes Schwarzweissbild — und zwar genau gleich wie beim monochromen Fernsehen — und koloriert dieses mit einem unscharfen Farbbild (Fig. 24; 25). Zur Einfärbung des Schwarzweissauszuges werden zwei voneinander unabhängige Farbsignale, genauer Farb*differenz*signale, benötigt. Diese dürfen eine reduzierte Bandbreite aufweisen, was die Möglichkeit bietet, sie auf einem Hilfsträger im oberen Teil des Leuchtdichtekanals mitzuübertragen. Fig. 7 vermittelt die Sendeseite eines solchen Farbfernseh-Übertragungsverfahrens. Die Kamera weist im vorliegenden Fall $\bar{x}$ $\bar{y}$ $\bar{z}$-Farbmischkurven auf, die keine negativen Spektralanteile enthalten. Eine lineare Matrix bringt sie mit den Empfängerprimärfarben in Beziehung. Auf diese Weise ergibt sich, im Sinne der niedrigen Farbmesstechnik, eine fehlerfreie Farbübermittlung. Eine zweite, ähnliche Matrix formt aus dem roten *(R)*, grünen *(G)* und blauen *(B)* Grundfarbensignal das Leuchtdichtesignal Y und die beiden Farbdifferenz- oder Chrominanzsignale D_1 und D_2. Diese werden in zweckdienlicher Weise dem Hilfsträger aufmoduliert und dem Leuchtdichtesignal additiv überlagert. Das zusammengesetzte Zeichen wird wie ein monochromes Signal über Richtfunkstrecken übertragen und durch Sender ausgestrahlt.

Die Empfangsseite ist schematisch in Fig. 8 aufgezeigt. Der monochrome Empfänger verarbeitet, wie unten angedeutet, lediglich das Leuchtdichtesignal. Das modulierte Chrominanzsignal tritt auf dem Schirm als feines Störmuster in Erscheinung. Die subjektive Störwirkung ist aus Gründen, die noch zu erörtern sind, gering. Der Farbempfänger verarbeitet, wie im oberen Bildteil angegeben ist, zusätzlich zum Leuchtdichtesignal Y auch noch den Chrominanzvektor $\underline{C}$. Die demodulierten Farbdifferenzsignale und das Leuchtdichtezeichen werden in der Dematrix in die Primärfarbensignale Rot, Grün und Blau zurückverwandelt.

Die verschiedenen Übertragungssysteme für das öffentliche Farbfernsehen unterscheiden sich im wesentlichen nur in der Technik der Modulation und Demodulation der Farbdifferenzsignale. Allen Systemen gemeinsam ist eine Gradationsvorentzerrung der Grundfarbensignale, die der gekrümmten Wiedergabekennlinie der Strahlrohrsysteme Rechnung trägt.

4. Das NTSC-Verfahren

Das NTSC-Verfahren bildet die Grundlage aller modernen, kompatiblen Farbfernsehsysteme. Bei diesem werden die beiden Chrominanzsignale, ein «mittelbandiges» I- und ein schmalbandiges Q-Zei-

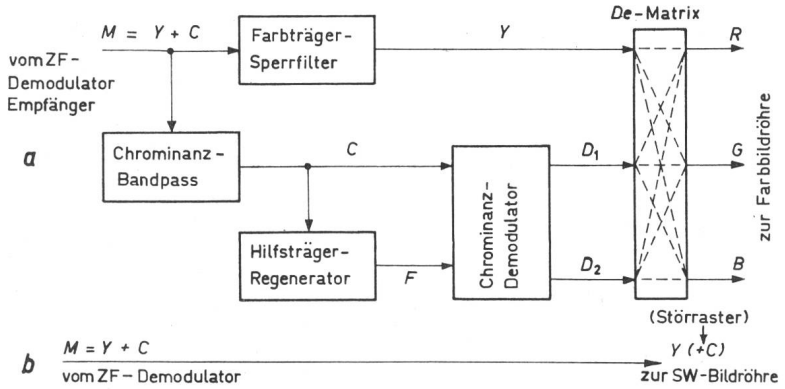


Fig. 8
Prinzip des kompatiblen Farbfernsehens
Empfangsseite
a Farbempfang; *b* Schwarzweissempfang

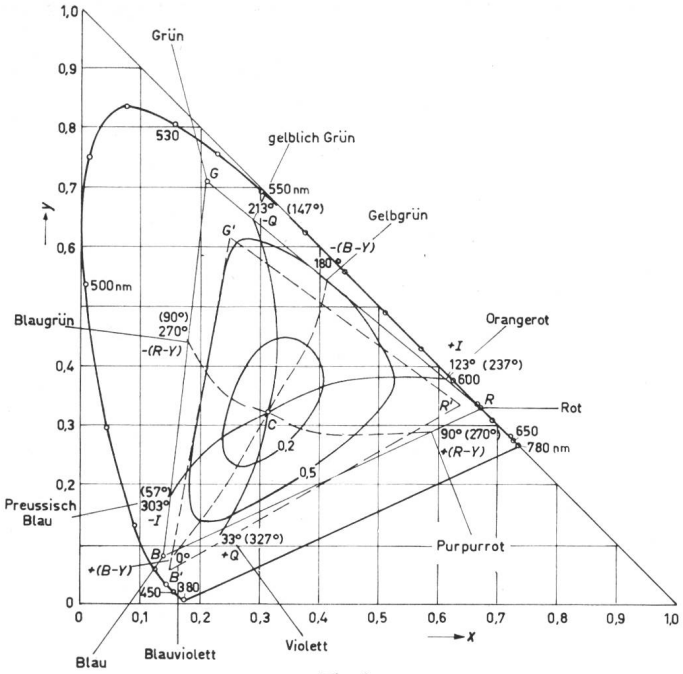


Fig. 9
CIE-Farbdreieck mit ausgeprägten Amplituden und Phasen des NTSC- und PAL-Chrominanzsignals
Ausgezogenes Dreieck *RGB:* NTSC-Empfängerprimärfarben; gestricheltes Dreieck *R′ G′ B′*: Farborte moderner Bildröhren-Leuchtstoffe
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

chen, mit einer Phasendifferenz von 90° der Amplitude eines gemeinsamen Hilfsträgers aufgeprägt, wobei der Träger selbst unterdrückt wird. Die Farbdifferenzsignale wie auch das Leuchtdichtesignal sind, wie bereits angedeutet, lineare Kombinationen der Primärfarbensignale Rot *(R)*, Grün *(G)* und Blau *(B)*.

$$Y = 0{,}30\,R + 0{,}59\,G + 0{,}11\,B$$
$$I = 0{,}60\,R - 0{,}28\,G - 0{,}32\,B$$
$$Q = 0{,}21\,R - 0{,}52\,G + 0{,}31\,B$$

Die Chrominanzsignale sind, je nach Farbe, negativ oder positiv; für neutrales Grau ($R = G = B$) verschwinden sie, entsprechend verschwindet auch das modulierte Chrominanzsignal. Der Farbdifferenzvektor $\underline{C}$, welcher der Vektorsumme der beiden geträgerten Chrominanzkomponenten entspricht, ist dem Betrage nach proportional zur Sättigung und zur Leuchtdichte der zu übertragenden Farbe; die Phase entspricht dem zu übertragenden Farbton. Für das zusammengesetzte Farbsignal ergibt sich in amerikanischer Schreibweise:

$$M = Y + \underline{C} = Y + I\cos(\omega_c t + 33^0) + Q\sin(\omega_c t + 33^0)$$

(ω_c Kreisfrequenz des Farbträgers).

Die nominellen Übertragungsbandbreiten betragen:

Y-Signal: 4,2 MHz,
I-Signal: 1,3 MHz,
Q-Signal: 0,5 MHz.

Im Chrominanz-Frequenzbereich $\leq 0{,}5$ MHz lässt sich auch schreiben:

$$M = Y + \underline{C} = Y + V\cos\omega_c t + U\sin\omega_c t$$

wobei

$$V = 0{,}878\,(R - Y)$$
$$U = 0{,}493\,(B - Y)$$

Für die Farbträgerphase folgt:

$$\varphi = \arctan\frac{I}{Q} + 33^0$$

bzw.

$$\varphi = \arctan 1{,}78\,\frac{V}{U}$$

Fig. 9 zeigt ausgeprägte Amplituden und Phasen des modulierten NTSC- und PAL-Chrominanzsignals im CIE-Farbdreieck. Die Linien konstanter Phase sind wegen der Gradationsvorentzerrung gekrümmt. Die Chrominanzamplituden müssen, wenn man sie im Farbdreieck darstellen will, erst durch die Leuchtdichte dividiert werden. Obschon die Farbdifferenzsignale die Leuchtdichte als Faktor mitenthalten, trägt diese in einem linearen System nichts zur Leuchtdichte des wiedergegebenen Bildes bei. Die Chrominanzsignale sind rein elektrische Übertragungsgrössen, die sich auf dem Bildschirm nur zusammen mit dem entsprechenden Leuchtdichtesignal physikalisch exakt demonstrieren lassen. Die Bandbreitediskriminierung im Chrominanzbereich verhindert unter günstigen Übertragungsbedingungen jegliches Übersprechen zwischen *I*- und *Q*-Komponente. Sie rechtfertigt sich anderseits aus der Tatsache, dass das menschliche Auge in Richtung Orangerot–Himmelblau ($+I$...$-I$) schärfer sieht als in Richtung Laubgrün–Violett ($-Q$...$+Q$); auch sind in normalen Bildern jene Farben häufiger anzutreffen als diese.

Empfangsseitig wird zum Rückgewinnen der *I*- und *Q*-Komponenten vom Prinzip der synchronen Demodulation Gebrauch gemacht. Ein lokaler Farbträgeroszillator ist phasenstarr an ein besonderes Farbsynchronsignal (engl. burst) gekoppelt, das aus einem Farbträgerschwingungszug definierter Phase besteht und im horizontalen Austastintervall — für den Fernsehteilnehmer unsichtbar — mitübertragen wird. In Fig. 10 ist schematisch das Zeilenoszillogramm eines Farbbalkensignals wiedergegeben, wie es für Prüfzwecke häufig verwendet wird. Die Zeichnung gilt sowohl für das NTSC- als auch für das PAL-System (identische Leuchtdichtewerte und Chrominanzamplituden).

Damit sich Leuchtdichte- und moduliertes Chrominanzsignal gegenseitig möglichst wenig stören, wird ein Kunstgriff angewendet, indem für die Frequenz des Farbträgers ein ungerades Vielfaches der halben Zeilenfrequenz gewählt wird. Als Folge dieser Massnahme mittelt sich die Farbinfor-

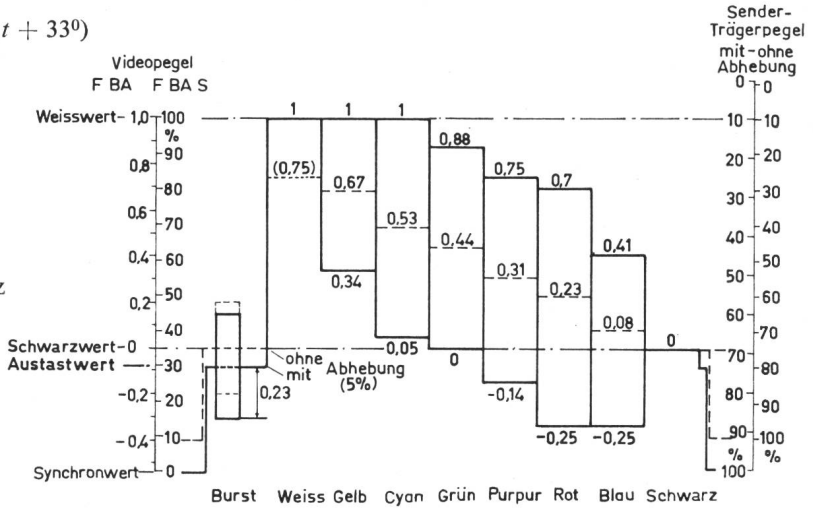


Fig. 10
Vertikales Farbbalkensignal
(100 % Sättigung, 75 % Amplitude), mit Weiss- und Schwarzsignal, über eine Zeile gesehen

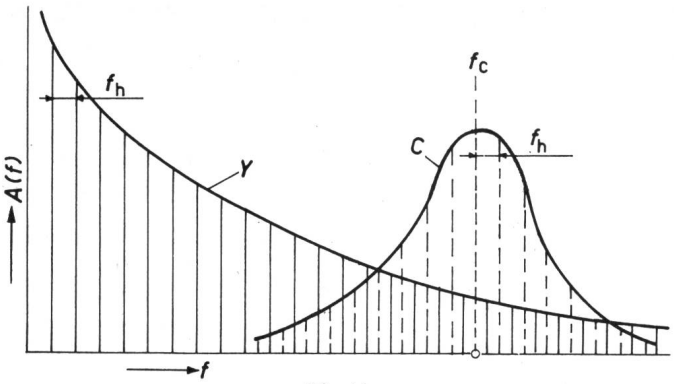


Fig. 11
Prinzip der Verschachtelung von Leuchtdichte- und Chrominanzspektrum beim NTSC-Verfahren
A Amplitude; *f* Frequenz; f_C Farbträgerfrequenz; f_h Zeilenfrequenz; *C* Chrominanzsignal; *Y* Luminanzsignal

mation über zwei Vollbilder im kompatiblen Schwarzweissbild örtlich vollständig aus, zumindest für unbewegte Bildinhalte und ruhende Augenpupillen des Betrachters. Dieses Frequenzverschachtelungsprinzip ist schon seit Anfang der dreissiger Jahre bekannt (*Merz* und *Gray*) (Fig. 11). Jede im Bild eingezeichnete Spektralkomponente der Zeilengrundfrequenz ist von Seitenbändern im Abstand von Vielfachen der Bildwechselfrequenz begleitet. Das amerikanische NTSC-System weist folgende Rasterfrequenzen auf:

Halbbildfrequenz: 59,94 Hz,
Zeilenfrequenz (525 Zeilen): 15734,264 ±0,044 Hz,
Farbträgerfrequenz: 3,579545 MHz ±10 Hz.

Die Farbträgerfrequenz entspricht dem 455fachen Wert der halben Zeilenfrequenz.

Die Aufspaltung der Farbinformation in ein Leuchtdichtesignal und zwei Farbdifferenzsignale («Prinzip der konstanten Luminanz») bringt noch einen weiteren Vorteil mit sich. Experimente, die in der Schöpfungsperiode der NTSC-Norm durchgeführt wurden, zeigten, dass das menschliche Auge auf Farbart-Fremdstörungen bei konstanter Leuchtdichte weniger empfindlich reagiert als umgekehrt auf Leuchtdichte-Fremdstörungen bei konstanter Farbart. Der NTSC-Chrominanzkanal ist damit für sich verhältnismässig störunempfindlich.

Das NTSC-System wurde aufgrund von Vorarbeiten, die bei der Industrie der USA geleistet worden waren, von einem Team hervorragender amerikanischer Wissenschafter und Techniker in verhältnismässig kurzer Zeit entwickelt, und gleich darauf, im Dezember 1953, in den USA öffentlich eingeführt.

5. Europäische Varianten des NTSC-Verfahrens

Zunächst könnte man natürlich fragen, warum überhaupt ausser dem amerikanischen Verfahren noch andere Lösungen zur Diskussion gestellt wurden.

Technik bedeutet zu einem guten Teil dauernde Evolution. Im natürlichen Spannungsfeld zwischen Normung, Fortschrittsdenken und Wirtschaftsinteressen ergeben sich Ermessensfragen. Eine direkte Übernahme der NTSC-Norm stand wegen den unterschiedlichen Bildwechselfrequenzen (USA: 60 Hz, Europa: 50 Hz) nie ernsthaft zur Diskussion.

Für die verhältnismässig langsame Entwicklung des Farbfernsehens in den USA im ersten Dezennium lassen sich viele Gründe ins Feld führen, auf die hier im einzelnen nicht eingetreten werden kann. Ein Hauptgrund — sicherlich nicht der einzige — dürfte die oft unbefriedigende Bildqualität gewesen sein. Die unsichere Farbtonübermittlung, die dem NTSC-System als Folge seiner grossen Phasenempfindlichkeit anhaftet, muss dabei nach unsern langjährigen experimentellen Erfahrungen eine vielleicht nicht entscheidende, aber doch massgebliche Rolle gespielt haben. Denn wird auf dem oft recht komplizierten und weiten Weg vom Studio zum Heimempfänger durch unvollkommene Geräte oder Mehrwegeempfang die Phase des Bildinhaltes im Vergleich zur Phase des Farbsynchronsignals etwas verfälscht, entstehen Farbtonfehler, auf die unser Auge sehr empfindlich reagiert (Fig. 26). Demgegenüber lassen sich sowohl beim PAL- als auch beim SECAM-Verfahren übertragungsbedingte Farbtonfehler fast vollständig vermeiden (Fig. 27).

5.1 Das PAL-Verfahren

Das von *Loughlin* angegebene und von *Bruch* empfangsseitig entscheidend verbesserte PAL-Verfahren wendet zunächst das gleiche Codierungsprinzip wie das NTSC-Verfahren an. Im Gegensatz zu diesem wird aber der Drehsinn des Chrominanzvektors, auf das Farbdreieck bezogen, von Zeile zu Zeile gewechselt. Phasenfehler des Übertragungsweges bewirken nun zeilenweise gegenläufige Farbtonfehler, die empfangsseitig, entweder visuell oder elektrisch, über benachbarte Zeilen des Halbrasters ausgemittelt werden. Für die elektrische Kompensation, die der visuellen vorzuziehen ist, wird eine Laufzeitleitung benötigt, welche das codierte Chrominanzsignal um eine volle Zeile verzögert. (Eine prinzipiell gleichartige Verzögerungsleitung benötigt auch der SECAM-Empfänger).

Man setzt bei PAL und SECAM voraus, dass sich die Farbart im Fernsehbild in senkrechter Richtung über be-

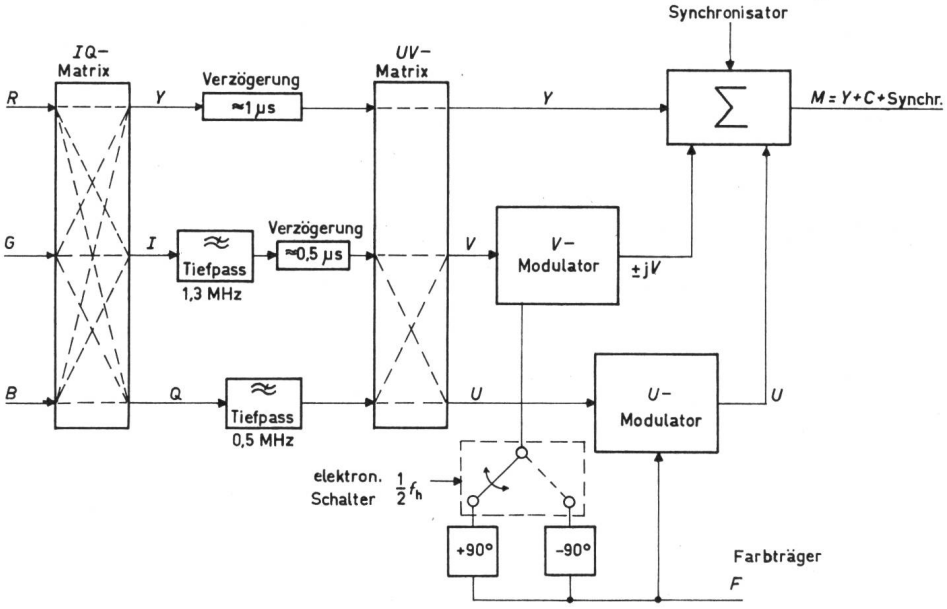


Fig. 12
PAL-Coder mit Bandbreitediskriminier-Vormatrix
(IQ-Matrix)
Erklärungen siehe im Text

Fig. 13
Ausschnitt aus dem kompatiblen Schwarzweissbild beim PAL-System
(1 Halbbild)

nachbarte Zeilen im Mittel nur wenig ändert. Die Praxis zeigt, dass dies für normale Bildinhalte weitgehend zutrifft. Das beschränkte Auflösungsvermögen des menschlichen Gesichtssinnes für reine Farbartübergänge hilft naturgemäss entscheidend mit, dass praktisch kein Schärfeverlust zu beobachten ist.

Die zeilenweise Änderung des Drehsinnes des Farbartvektors äussert sich in spektraler Darstellung in einem zeilenweisen Vertauschen der Seitenbänder des modulierten Chrominanzsignals. Ungerade Komponenten des Amplitudengangs und gerade Komponenten des Phasengangs um den Farbträger herum, d. h. lineare Verzerrungen des modulierten Farbdifferenzsignals, werden im Decoder (Standard-PAL; Fig. 29), oder im menschlichen Auge («Simple PAL») über zwei Zeilen kompensiert (frequenzmässige Interpretation des Phasenwechselprinzips). Beim NTSC-Verfahren ergeben sich in solchen Fällen Farbsäume (Fig. 28).

Fig. 12 zeigt das Blockschema des PAL-Coders, der sich in drei Punkten vom NTSC-Coder unterscheidet. Zunächst wird nicht in IQ-Richtung, sondern in UV-Richtung moduliert. Dann wird die V-Trägerphase von Zeile zu Zeile umgepolt. Schliesslich wird nicht mit einem Farbträger-Viertelzeilenoffset, sondern mit einem Träger-Viertelzeilenoffset, und zusätzlichem 25-Hz-Trägerversatz gearbeitet. Dies ist deshalb notwendig, weil durch die zeilenweise Umpolung der V-Komponente ein Offset nach dem NTSC-Verfahren für diesen Signalanteil aufgehoben würde, was eine störende vertikale Linienstruktur zur Folge hätte. Zeilenfrequenz f_h, Halbrasterfrequenz f_v und Farbträgerfrequenz f_c sind bei PAL nach folgender Beziehung miteinander verknüpft:

$$f_h = \frac{f_c - \frac{1}{2} f_v}{284 - 1/4}$$

In Fig. 13 ist ein Ausschnitt aus einem Halbraster des kompatiblen PAL-Schwarzweissbildes wiedergegeben, aus dem die geometrische Struktur des PAL-Offsets deutlich hervorgeht. Zur örtlichen Ausmittelung der Farbträgerstruktur werden vier Vollraster benötigt.

Der einfache PAL-Decoder weist, analog zum PAL-Coder, im Unterschied zum NTSC-Decoder lediglich eine zeilensynchrone Rückpolung der V-Komponente auf. Der PAL-Decoder mit Verzögerungsleitung ist dem einfachen PAL-Decoder vorzuziehen, weil er eine bessere Farbtonfehlerausmittlung gewährleistet. Seine Funktionsweise geht aus Fig. 14 hervor. Das verzögerte und das unverzögerte Chrominanzsignal werden Addier- und Subtrahierstufen zugeführt. Im Addierteil ergänzen sich die über benachbarte Zeilen gleiche Winkel aufweisenden U-Komponenten des Kolorierungssig-

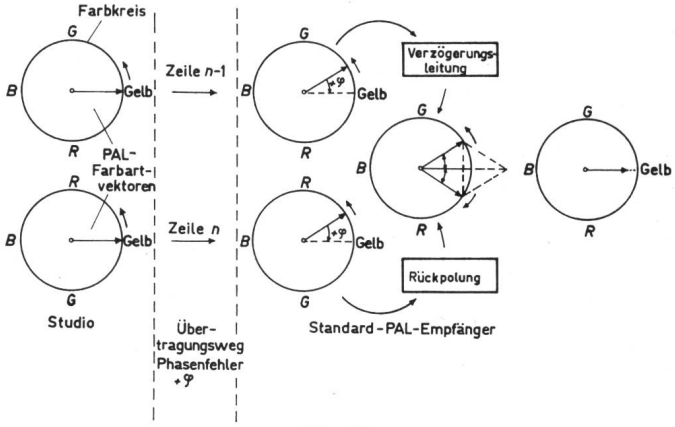


Fig. 15
Farbtonfehlerkompensation beim PAL-Verfahren
(Standard-PAL)
Bezeichnungen siehe im Text

nals zu einem U-Summenvektor. Die V-Komponente weist über benachbarte Zeilen eine Phasenverschiebung von 180° auf, wodurch sie herausfällt. Durch Subtraktion des verzögerten Chrominanzsignals vom direkt gesendeten Zeichen wird, analog dazu, die V-Komponente gewonnen, die noch zeilenweise rückgepolt werden muss.

In Fig. 15 ist der selbsttätige Phasenfehlerausgleich des PAL-Verfahrens schematisch aufgezeigt. Es ist angenommen,

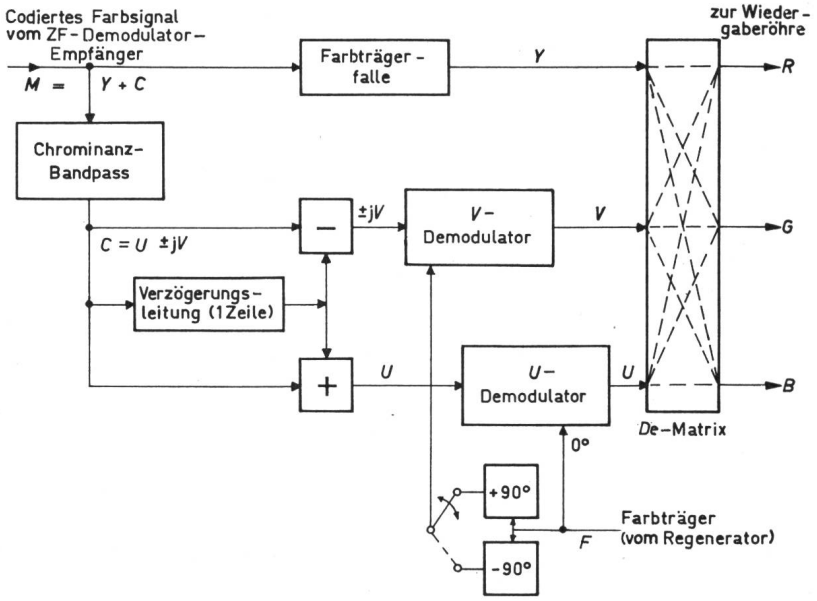
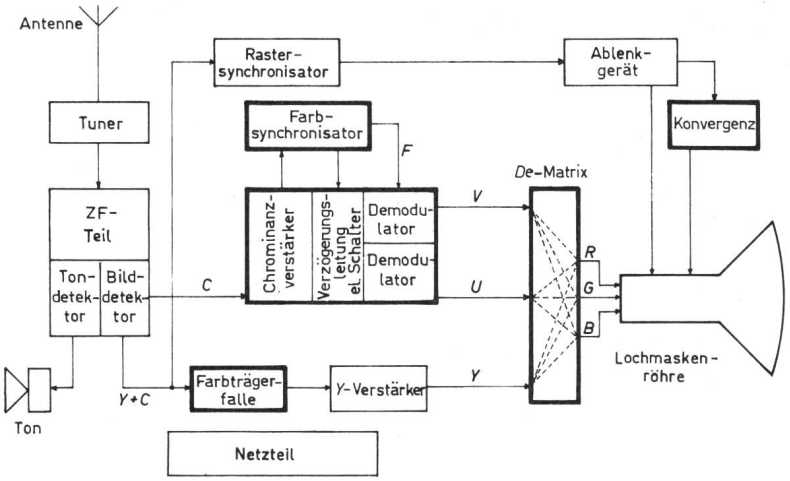


Fig. 14
Schaltprinzip des Standard-PAL-Decoders
(Decoder mit Verzögerungsleitung)
Bezeichnungen siehe im Text

Fig. 16
Blockschema des PAL-Heimempfängers
Die fett ausgezogenen Schaltteile sind farbspezifisch. Die Gitter-Kathodenstrecken der Strahlerzeugungssysteme der Wiedergaberöhre bilden oft einen Teil der De-Matrix (im Schema nicht eingezeichnet)



dass ein gelber Farbton zu übertragen sei, und dass durch Unvollkommenheiten des Übertragungsweges die Phase des Bildinhaltes gegenüber der Burstphase um $\varphi \approx +30^0$ verfälscht sei. Der Phasenfehler verschiebt auf der nicht umgepolten Zeile den Farbton gegen Grün (oberer Teil der Figur). Auf der nächstfolgenden Zeile des Halbrasters dreht der Chrominanzvektor — durch das Umpolen der *V*-Komponente — im Chrominanzkreis in umgekehrter Richtung, was im linken unteren Bildteil durch Vertauschen von Rot *(R)* und Grün *(G)* berücksichtigt ist. Das verzögerte und das rückgepolte unverzögerte Zeichen addieren sich vektoriell zu einem Summensignal (Mitte rechts der Fig. 15), das frei von Phasenfehlern ist. Durch Halbieren des

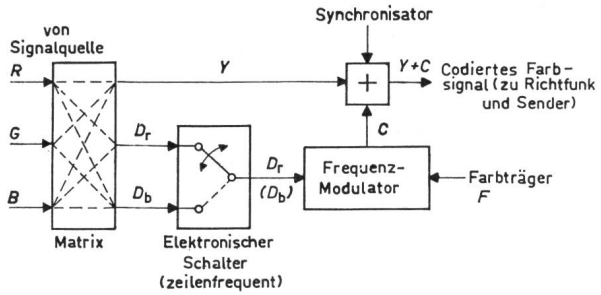


Fig. 17
SECAM III-Coder
Bezeichnungen siehe im Text

Summenzeigers wird der ursprüngliche Gelb-Vektor zurückgewonnen, der entsprechend dem Cosinus des Fehlerwinkels etwas verkürzt ist. Die farbtonrichtig wiedergegebene Farbe ist damit leicht entsättigt, was erfahrungsgemäss kaum als störend empfunden wird (Fig. 27). Ein weiteres Verringern dieses Restfehlers ist grundsätzlich möglich («Neu-PAL»).

Fig. 16 vermittelt den funktionellen Aufbau des PAL-Heimempfängers. Die mit breitem Strich umrandeten Schaltteile sind farbspezifisch, die restlichen Einheiten entsprechen in ihrer Arbeitsweise jenen eines normalen monochromen Empfängers.

Das phasenfehler-unempfindliche PAL-Verfahren ist im Grunde genommen ein optimalisiertes NTSC-Verfahren. Die

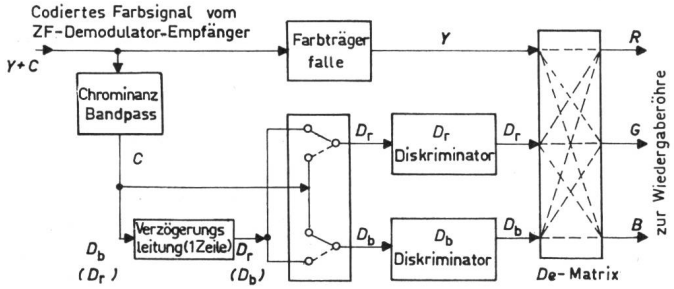


Fig. 18
SECAM III-Decoder
Bezeichnungen siehe im Text

unnötig hohe Vertikalauflösung des NTSC-Kolorierungssignals wird dabei gegen eine «narrensichere» Farbtonstabilisierung eingetauscht. Bezüglich Fremdstörverhalten ergeben sich kaum Unterschiede, was für das französische SECAM-Verfahren mit seinen verschiedenen Varianten nicht zutrifft.

Beim SECAM-Verfahren werden die beiden Farbdifferenzsignale zeilenweise sequentiell übertragen, wodurch einfache Modulationsverfahren angewendet werden können, die nach der Arbeitshypothese von *De France* weitere Übertragungstoleranzen als ein Zweiphasenprinzip zulassen. Das heutige SECAM-System — in Frankreich im Januar 1967 unter der Bezeichnung «SECAM III» offiziell eingeführt — macht von der Frequenzmodulation Gebrauch. Fig. 17 zeigt das vereinfachte Blockschema des Coders, für den sich eine genaue Beschreibung erübrigt. Die zeilenweise abwechselnden modulierten Farbdifferenzsignale:

$$D_r = -1{,}9\,(R - Y)$$
$$D_b = 1{,}5\,(B - Y)$$

werden auch bei diesem Verfahren dem Leuchtdichtesignal *Y* additiv überlagert. Im Blockschema des Decoders (Fig. 18)

Fig. 24: Leuchtdichteauszug (kompatibles Farbfernsehen).

Fig. 25: Chrominanzauszug (kompatibles Farbfernsehen; Grundleuchtdichte leicht angehoben).

Fig. 26: Pegelabhängiger Phasenfehler von 30°, Modifiziertes NTSC-System.

Fig. 27: Pegelabhängiger Phasenfehler von 30°; PAL-System, Standard-PAL-Decoder.

Fig. 28: Unsymmetrischer Amplitudengang um Farbträger (3 dB/100 kHz), modifiziertes NTSC-System.

Fig. 29: Unsymmetrischer Amplitudengang um Farbträger (3 dB/100 kHz); PAL-System, Standard-PAL-Decoder.

Fig. 30: Ungünstige Mehrwegempfangslage im Mattenquartier in Bern (Band-IV-Versuchssender Bantiger).
Reflexionssignale von der Kirchenfeldbrücke erzeugen im NTSC-Bild starke Farbsäume (30 a).
Das Standard-PAL-Bild (30 b) zeigt keine, das PAL-Bild mit einfachem Decoder ohne Laufzeitleitung (30 c) nur geringe Farbsäume.
Die Empfangsantenne befand sich bei allen drei Aufnahmen genau in der gleichen Lage.

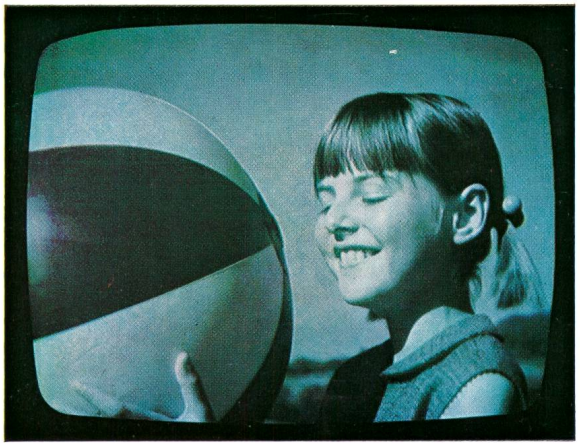


Fig. 24

Fig. 25

Fig. 26

Fig. 27

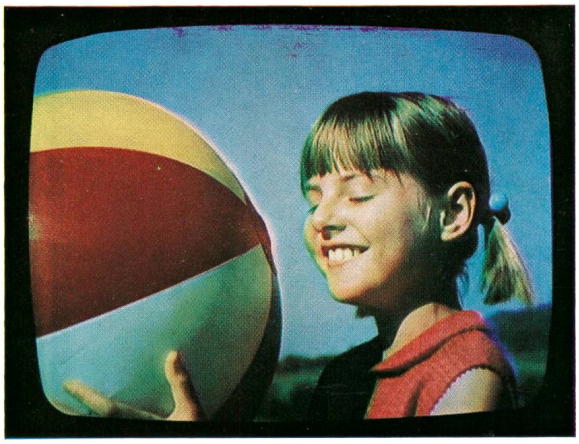


Fig. 28

Fig. 29

Fig. 30 a

Fig. 30 b

Fig. 30 c

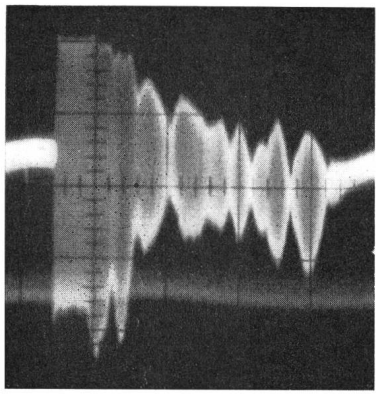


Fig. 19
Videofrequentes Spektrum in einer ungünstigen Empfangslage
(Matte, Bern;
vgl. Fig. 30a, b, c)
Frequenzbereich:
0,5...5 MHz

erkennt man links oben die Filter zur Aufspaltung des Gesamtsignals in Leuchtdichte- und Chrominanzanteil, links unten die Verzögerungsleitung, an deren Ausgang das Farbdifferenzsignal der Vorzeile abgenommen werden kann, in der Mitte unten ein zweipoliger elektronischer Umschalter und rechts unten die beiden Chrominanzdiskriminatoren und die Dematrix. Es ist leicht einzusehen, dass bei geeigneter Schaltphase des Kommutators der D_r-Diskriminator stets ein D_r-Signal und der D_b-Diskriminator immer ein D_b-Zeichen erhalten. Um den Geräuschabstand zu verbessern, wird mit video- und trägerfrequenter Vorbetonung gearbeitet.

Neben diesem gewissermassen offiziellen SECAM-System ist im Jahre 1966 eine Version mit amplitudenmoduliertem Chrominanzsignal — SECAM IV- oder NIIR-System genannt — bekannt geworden. (Die Bezeichnung NIIR bezieht sich auf eine russische Forschungsstelle.) SECAM IV liegt systemtechnisch gewissermassen in der Mitte von NTSC, PAL und SECAM III. Inwieweit diese Abart noch Chancen für die Zukunft hat, scheint weniger eine technische als eine politische Frage zu sein.

Man wird sich nun fragen müssen, ob die europäischen Farbfernsehvarianten gegenüber dem NTSC-Verfahren neben Vorteilen nicht auch Nachteile aufweisen. Der damit zusammenhängende Problemkomplex ist vielschichtig und kann hier nur sehr summarisch behandelt werden.

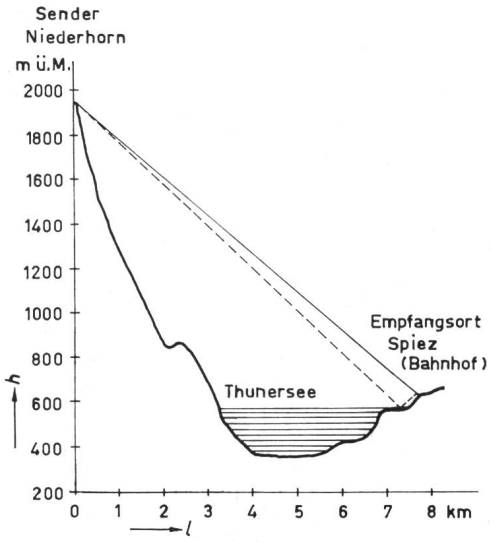


Fig. 20
Profil Niederhorn—Spiez
l Entfernung; *h* Höhe

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unterschiede hinsichtlich der Bildqualität zwischen den verschiedenen Spielarten unter sehr günstigen Übertragungsbedingungen vernachlässigbar klein sind, dass sie aber unter nicht idealen Verhältnissen unter Umständen recht deutlich werden. In solchen Fällen hat das PAL-Verfahren im statistischen Mittel bisher die besten Resultate ergeben. Der kostenmässig um einige Prozente höhere Aufwand im PAL-Empfänger dürfte durch grössere Toleranzen, die die Massenfertigung vereinfachen, praktisch ausgeglichen werden.

Die asymptotische Grenzqualität, die der einzelne Fernsehteilnehmer vom Farbfernsehen erwarten darf, hängt wesentlich von den Wellenausbreitungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger ab. Apparaturen lassen sich vervollkommnen, wogegen die Propagation nur indirekt, etwa durch Verbessern der Empfangsantenne, beeinflusst werden kann. Den statistisch signifikanten Vorteilen des PAL-Verfahrens in ungünstigeren Empfangslagen kommt deshalb grundsätzliche Bedeutung zu. Während bei NTSC stärkere Echos Farbsäume ergeben, sind solche bei PAL nicht zu erkennen. Fig. 19 zeigt das den Figuren 30 a, b und c zugeordnete videofrequente Spektrum des Empfangsortes (Matte, Bern; Sender: Band IV, Bantiger). Ein Vergleich dieses

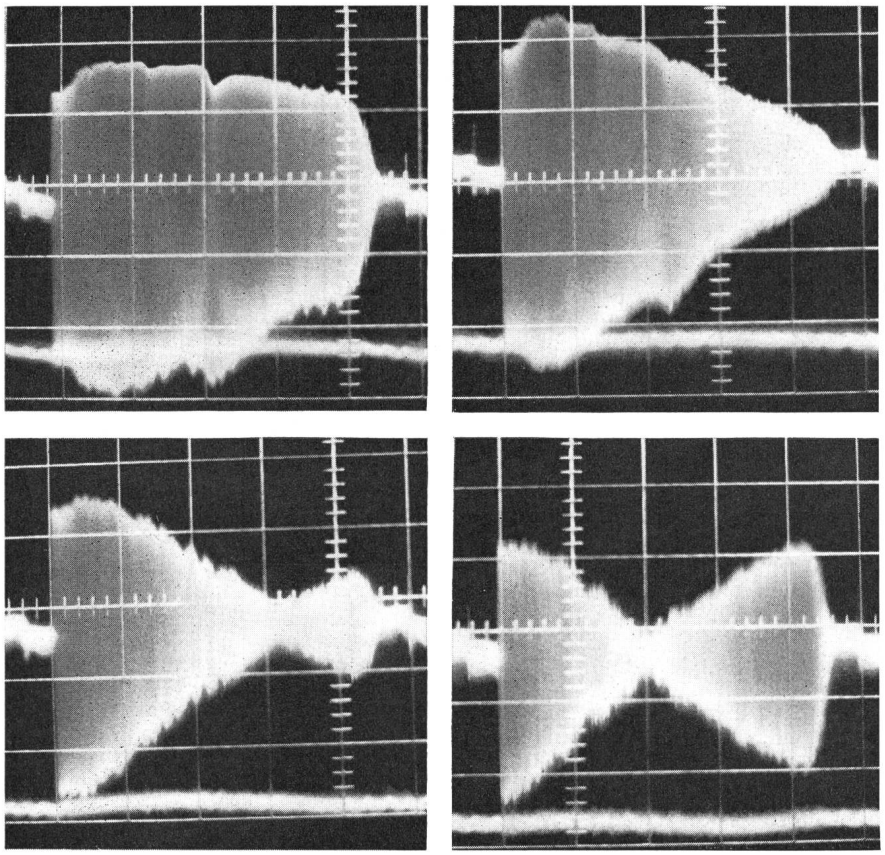


Fig. 21
Empfang des Fernsehsenders Niederhorn beim Bahnhof Spiez
Videofrequentes Spektrum als Funktion der Masthöhe der Antenne (10-Element-Yagi-Typ), mit starkem ortsabhängigen Selektivschwund; Frequenzbereich: 0,5...5 MHz (Wobbelsignal). Die Masthöhen lagen im Bereich 7...10 m.

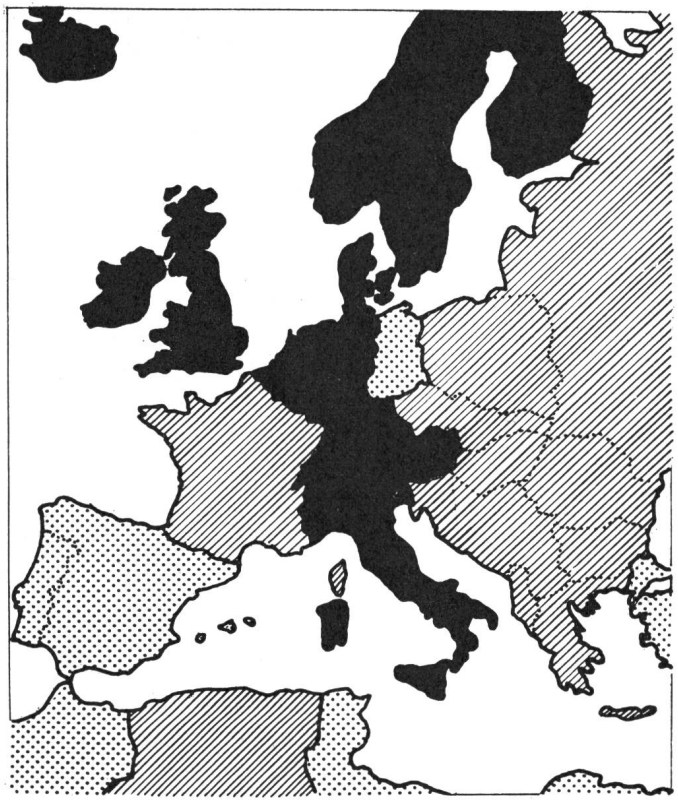


Fig. 22
Europakarte mit PAL- und SECAM-Ländern
(Stand: Herbst 1967)

PAL SECAM unentschieden

sehr schlechten Amplitudengangs mit dem farbmässig noch befriedigenden Standard-PAL-Bild von Fig. 30b lässt erkennen, dass das PAL-System Ausserordentliches leistet. Das SECAM III-System würde in dieser Empfangslage mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeprägtes Farbart-Grobstrukturrauschen zeigen, was damit zusammenhängt, dass ein frequenzmoduliertes Übertragungsverfahren empfangsseitig dauernd einen Träger benötigt. Mittlere oder grosse farbige Bildflächen, deren eine oder beide Chrominanzkomponenten frequenzmässig zufälligerweise gerade in ein Minimum des ausbreitungsbedingten ortsabhängigen Selektivschwundes fallen, werden stark verrauscht wiedergegeben. Beim NTSC- und beim PAL-System lässt sich demgegenüber die Empfangsantenne sozusagen immer in der Weise montieren, dass die selektiven Minima ausserhalb der unmittelbaren Umgebung des Farbträgers zu liegen kommen. (Änderung der Feinstruktur des elektromagnetischen Feldes im Hinblick auf ein optimales Farbbild.) Grossflächige Chrominanzrauschstörungen lassen sich bei diesen Systemen, die ja mit Amplitudenmodulation arbeiten, damit fast immer vermeiden.

Tiefer ortsabhängiger Selektivschwund kann mitunter auch in äusserlich ideal scheinenden Empfangslagen beobachtet werden. Fig. 20 zeigt das Profil Niederhorn—Spiez. Der Thunersee bildet für den Fernsehsender Niederhorn eine fast vollkommene Reflexionsebene; die Laufzeitdifferenz zwischen direktem und gespiegeltem Strahl ist aber in den höher gelegenen Quartieren des Dorfes bereits so gross, dass starker ortsabhängiger Selektivschwund auftritt. In Fig. 21 sind, als Funktion der empfangsseitigen Antennenmasthöhe, typische Spektren wiedergegeben. Ein Ausblenden des Reflexionssignals ist mit tragbarem Antennenaufwand kaum durchzuführen, da der Winkel zwischen direktem und reflektiertem Signal nicht sehr gross ist. (Man beachte, dass das Profil vierfach überhöht ist.) Da der Seepegel während des Jahres schwankt, sind langsame Spektrumsschwankungen nicht zu vermeiden. Auch in solchen Fällen, die in bergigen Ländern gar nicht so selten sind, ist PAL den andern Verfahren überlegen. Die Abteilung Forschung und Versuche der Generaldirektion der schweizerischen PTT-Betriebe hat — im Rahmen der europäischen Farbfernsehnormungsbestrebungen — Problemen dieser und ähnlicher Art ihre besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Die Aufspaltung Europas in PAL- und SECAM-Länder (Fig. 22) ruft nach Systemtranscodern. Das Arbeitsprinzip einer solchen Anordnung ist aus Fig. 23 ersichtlich. Das Gerät besteht im wesentlichen aus einem Decoder der Norm A und einem in Kette geschalteten Coder der Norm B. Das von Chrominanzanteilen völlig befreite Leuchtdichtesignal der Norm A wird von der B-Norm direkt übernommen. Das Trennen von Leuchtdichte und Chrominanz stellt besondere Probleme. Obschon ein vollständiges Separieren mit Hilfe von Kammfiltern bei NTSC und PAL grundsätzlich möglich ist, wird heute fast ausschliesslich von der einfacheren Hoch-Tiefpass-Filtermethode Gebrauch gemacht, wobei ein Teil der mit dem Chrominanzsignal verschachtelten Leuchtdichteinformation durch nichtlineare Versteilerung der Hell-Dunkel-Kanten zurückgewonnen wird («Crispening»-Technik). Die Erfahrung lehrt, dass ein auf diese Weise umcodiertes Farbfernsehbild bei normalen Bildinhalten nur geringfügig vom Original abweicht. Beim Umformen von SECAM III auf PAL lässt sich eine Verschachtelung der Luminanz- und Chrominanzzeichen nur unter der Voraussetzung erzielen, dass das SECAM-Raster den hohen Stabilitätsanforderungen von PAL genügt. Notfalls lässt sich vorübergehend aber auch ohne Verkämmung recodieren; dies beeinflusst die Farbbildqualität kaum, wohl aber die Güte des kompatiblen Schwarzweissbildes.

Viel schwieriger als eine Transcodierung bei festen Zeilen- und Bildwechselfrequenzen ist eine Normwandlung bei unterschiedlichen Rasterfrequenzen durchzuführen; man spricht in einem solchen Fall von Norm*konversion*. Zur Zeit werden von der British Broadcasting Corporation in London, unter Anwendung neuartiger Prinzipien, vollelektronische Normkonverter für das monochrome und farbige Fernsehen entwickelt. Es ist ja besonders beim Farbfernsehen sehr wichtig,

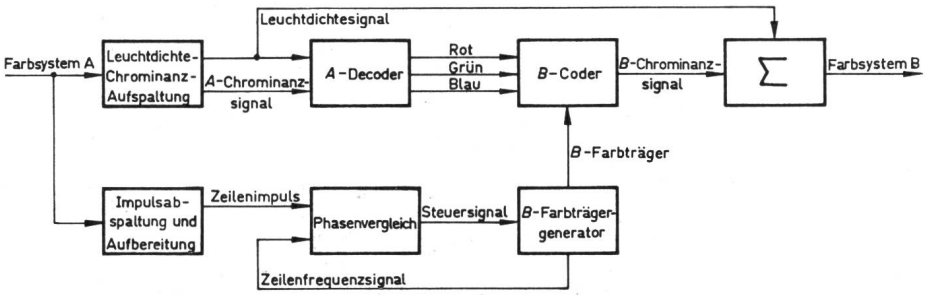


Fig. 23
Funktionsschema des Farbfernseh-Systemtranscoders

dass der qualitätsmindernde Prozess der elektrooptischen Zwischenabbildung vermieden werden kann. Die bisherigen experimentellen Ergebnisse lassen erwarten, dass der weltweite Programmaustausch beim Farbfernsehen über Magnetband, erdgebundenen Richtfunk oder Satellitenverbindungen schon in verhältnismässig naher Zukunft verwirklicht werden kann.

Literatur

[1] *B. D. Loughlin:* Recent improvements in bad-shared simultaneous color-television systems. Proc. IRE 39(1951), S. 1264...1279.

[2] *D. G. Fink:* Color television standards. Selected papers and records of the National Television System Committee. New York/London, McGraw-Hill, 1955.

[3] *H. De France:* Le système de télévision en couleurs séquentiel-simultané. Onde électr. 38(1958), S. 479...483.

[4] *W. D. Wright:* The Measurment of Colour. London, Hilger and Watts, 1964.

[5] *W. Bruch:* Das PAL-Farbfernsehsystem. Prinzipielle Grundlagen der Modulation und Demodulation. NTZ 17(1964), S. 109...121. S. 109...121.

[6] *R. Theile:* Le Developpement de la télévision en couleurs compatible. Différentes propositions pour la transmission des signaux de couleur. Rev. UER –(1965)93A, S. 194...204.

[7] *W. Bruch:* Die Kenndaten des PAL-Fersehsignals. Funkschau 38(1966), S. 663...665.

[8] The Issue of worldwide color television standards. Papers and discussions presented at the IEEE International Convention. Trans. IEEE broadcast and television receivers BTR–12(1966)2.

[9] *K. W. Bernath:* Über die Störempfindlichkeit der Farbfernsehverfahren NTSC, PAL und SECAM III beim drahtlosen Heimempfang, unter besonderer Berücksichtigung des Mehrwegeempfanges. Techn. Mitt. PTT 44(1966), S. 353...369 und 403...418.

[10] Arrêté du 20 janvier 1967: Normes des émissions de télévision en couleur dans les bandes de fréquence comprises entre 470 MHz et 960 MHz (bandes IV et V). Journal officiel de la République Française 99(1967)20, S. 899.

[11] *N. Mayer:* Technik des Farbfernsehens in Theorie und Praxis, NTSC, PAL, SECAM. Berlin-Borsigwalde, Verlag für Radio-, Foto- und Kinotechnik, 1967.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *K. W. Bernath,* Adjunkt, Abteilung Forschung und Versuche der Generaldirektion PTT, Speichergasse 6, 3000 Bern.

Ausbreitung von Wanderwellen auf mehrphasigen Freileitungen im Hinblick auf die Form der Einschwingspannung bei Abstandskurzschlüssen

Von *H. Karrenbauer,* Kassel

621.372.2:538.551.26

An einer dreiphasigen Versuchsleitung wurden Messungen der vom Schalter unbeeinflussten Einschwingspannungen bei verschiedenen Abstandskurzschlussfällen durchgeführt. Die gemessenen Einschwingspannungen zeigen in ihrem Verlauf bemerkenswerte Abweichungen von den Kurvenformen, die sich auf rechnerischem Wege unter der Annahme unendlich hoher Leitfähigkeit der Leiterseile und des Erdreiches ergeben. Diese Abweichungen können darauf zurückgeführt werden, dass sich auf der verlustbehafteten Mehrphasenleitung im Gegensatz zur verlustlosen Mehrphasenleitung Wellen mit unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit und Dämpfung ausbilden. Zur Erfassung dieser Vorgänge wird die endliche Leitfähigkeit der Leiterseile und der Erde in die Untersuchungen einbezogen. Hierbei kann durch Anwendung der Fourier-Transformation auf die für eingeschwungene, sinusförmige Vorgänge bekannten Impedanz- und Admittanzbeläge der verlustbehafteten Mehrphasenleitung zurückgegriffen werden. Die auf diese Weise mit Hilfe digitaler Rechnung erhaltenen Einschwingspannungen geben die Messergebnisse an der Versuchsleitung gut wieder.

Des mesures de tensions transitoires non influencées par l'interrupteur et se rapportant à diverses distances de court-circuits furent exécutées sur une ligne d'essai triphasée. L'allure des tensions transitoires mesurées présente des déviations remarquables par rapport aux courbes calculées en présumant une conductibilité illimitée des câbles de ligne et de la terre. Ces déviations peuvent s'expliquer par le fait, qu'à l'encontre des lignes polyphasées dépourvues de pertes, les lignes polyphasées comportant des pertes engendrent des ondes à vitesse de propagation et amortissement différenciés. Afin de saisir ces phénomènes, les recherches se basent sur une conductibilité limitée des câbles de ligne et de la terre. Par l'application de la transformation de Fourier on peut se référer aux impédances et admittances connues des phénomènes transitoires sinusoïdaux des lignes polyphasées présentant des pertes. Les tensions transitoires ainsi déterminées à l'aide de calculs digitaux concordent bien avec les résultats des mesures effectuées sur les lignes d'essai.

1. Einleitung

Das Anwachsen der Kurzschlußströme in den Hochspannungsnetzen hat im letzten Jahrzehnt die Beanspruchung der Leistungsschalter durch Abstandskurzschlüsse immer mehr in den Vordergrund treten lassen. Dieser Fehlerfall ist dadurch gekennzeichnet, dass der Kurzschluss nicht unmittelbar hinter den Schalterklemmen, sondern einige hundert bis einige tausend Meter vom Schalter entfernt auf der Leitung auftritt. Dann ist zwar durch das zwischen Schalter und Kurzschlussstelle gelegene Leitungsstück der Kurzschlußstrom gegenüber dem Klemmenkurzschluss etwas vermindert, jedoch führt der hochfrequente Ausgleichsvorgang der auf der Leitung bestehenden Spannungsverteilung beim Ausschalten zu hohen Anfangssteilheiten der Einschwingspannung, wodurch in der Beanspruchung des Schalters die Verminderung des Kurzschlußstromes mehr als wettgemacht werden kann.

Im Hinblick auf die Prüfung der Schalter in den Hochleistungsprüffeldern wird in der Schaltertechnik zur Kennzeichnung des Kurzschlusskreises die sog. unbeeinflusste Einschwingspannung benutzt, die beim Unterbrechen des Ausschaltstromes durch einen idealen Synchronschalter ohne Bogenspannung und Restleitfähigkeit auftritt. Durch die Angabe der so definierten unbeeinflussten Einschwingspannung und des Ausschaltstromes ist die Beanspruchung eines Leistungsschalters bei der Kurzschlussausschaltung in einem Netz eindeutig festgelegt [13][1]).

In der Literatur wird die Berechnung der unbeeinflussten Einschwingspannung bei Abstandskurzschlüssen und die Diskussion ihrer Bedeutung für den Schalter in vielen Fällen auf einphasige Leitungsanordnungen beschränkt [7; 8; 9]. Wo auch andere Schaltfälle behandelt werden, wird die unbeeinflusste Einschwingspannung im allgemeinen nur bis zu ihrem ersten Scheitel verfolgt [5; 6]. Lediglich in einer Arbeit von *Kummerow* [17] ist der Verlauf der unbeeinflussten Einschwingspannung am erstlöschenden Schalterpol bei dreiphasigem Abstandskurzschluss ohne Erdberührung während einiger Perioden dargestellt, wobei eine dämpfungsfreie Leitung zugrunde gelegt wurde.

Umfangreiche Messungen der unbeeinflussten Einschwingspannungen bei verschiedenen Abstandskurzschlussfällen sind von *P. Baltensperger* [14] und von *A. Eidinger* und *J. Jussila*

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.