

## A16 Wiedergabe und Empfängertechnik

### A16.1 Funktionsweise der Farbbildröhre (CRT)

Der Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und elektrischem Signal wird beschrieben durch den Zusammenhang:

$$I_{\text{Strahl}} = f(u_{\text{Gitter}}); \text{Bildschirmleuchtdichte: } L_V \sim I_{\text{Strahl}} \quad (\text{Gl. A16.1})$$

$$L_V \sim u_{\text{Gitter}}^\gamma \quad \text{mit } \gamma \approx 2,2$$

Bei einer *Farbbildröhre* sind drei unabhängige Strahlerzeugungssysteme vorhanden, die gemeinsam abgelenkt werden. Diese liegen waagrecht in einer Linie (Bild A16.1), weshalb diese Anordnung auch *Inline-Bildröhre* genannt wird. Die drei Leuchtstoffe für Rot, Grün und Blau sind streifenförmig abwechselnd nebeneinander aufgebracht (Bild A16.2). Je nach Größe des Bildschirms beträgt der Abstand zwischen gleichen Farbstoffen zwischen 0,62 und 0,82 mm.

Die drei Elektronenstrahlen tragen jeweils die Informationen nur *eines Farbauszuges* – Rot, Grün oder Blau. Daher dürfen sie jeweils auch nur den zugehörigen Leuchtstoff erreichen,

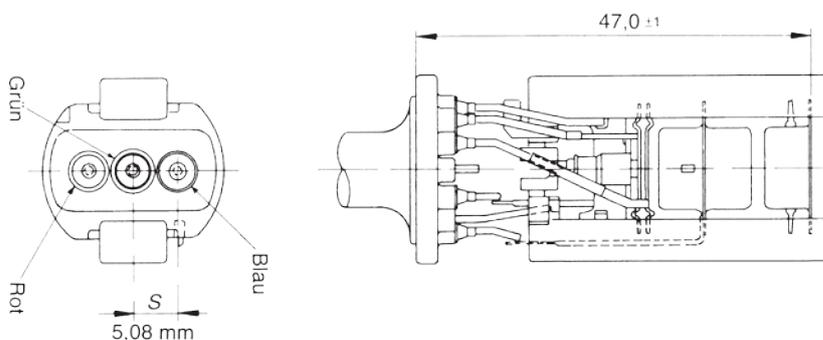


Bild A16.1 Aufbau des Strahlerzeugungssystems einer Inline-Farbbildröhre

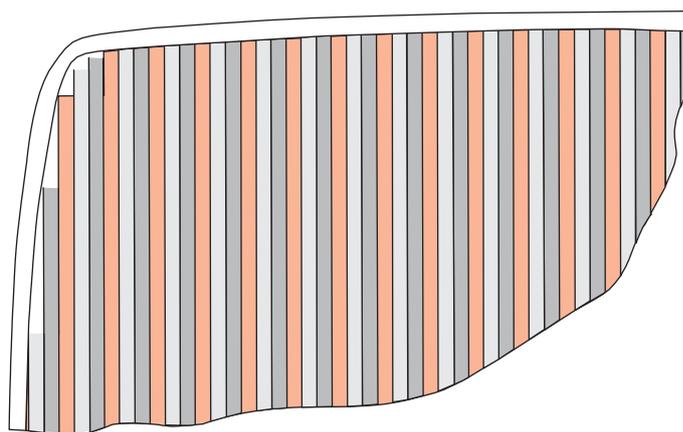


Bild A16.2 Leuchtstoffanordnung bei einer Inline-Bildröhre

sonst würde es zu Farbverfälschungen kommen. Um dieses sicherzustellen ist, vor dem Leuchtschirm eine Schattenmaske angeordnet (Bild A16.3), die schlitzförmige Löcher aufweist. Die Funktionsweise der Schattenmaske zeigt Bild A16.4. Auf dem Bildschirm mischen sich für den Betrachter die Informationen aus Rot, Grün und Blau aufgrund der Feinheit der Schattenmaske zu einem farbigen Gesamteindruck (additive Farbmischung).

Die Farb-TV-Wiedergabe beruht auf dem Prinzip der additiven Farbmischung.

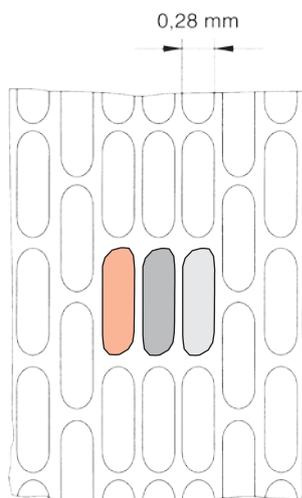


Bild A16.3

Ausschnitt einer Schlitz- Schattenmaske

Neben den Kathodenstrahlröhren mit einer Schlitz- oder Loch-Schattenmaske, die i.Allg. aus speziellen Blechen hergestellt werden, werden bei den Trinitron-Farbbildröhren als Schlitzmaske senkrecht gespannte Drähte verwendet. Da die Drähte exakt parallel verlaufen müssen und sich auch bei Erschütterungen nicht zu sehr bewegen dürfen, werden die Drähte sehr stark gespannt, wozu ein stabiler, schwerer Rahmen benötigt wird. Zusätzlich müssen die auftretenden Kräfte auf diesen Rahmen durch ein dickeres Glas bei der Röhrenkonstruktion aufgefangen werden, so dass Trinitron-Farbbildröhren mit größerer Bilddiagonale sehr schwer werden.

Das Bild einer solchen Farbbildröhre ist aber besonders hell, da die Draht-Schattenmaske wesentlich weniger Fläche abschattet als die Blech-Schattenmaske und daher mehr Leuchtstoff angeregt werden kann. Die Anordnung und die Abstände der Leuchtstoffe im Vergleich sind in Bild A16.5 dargestellt.

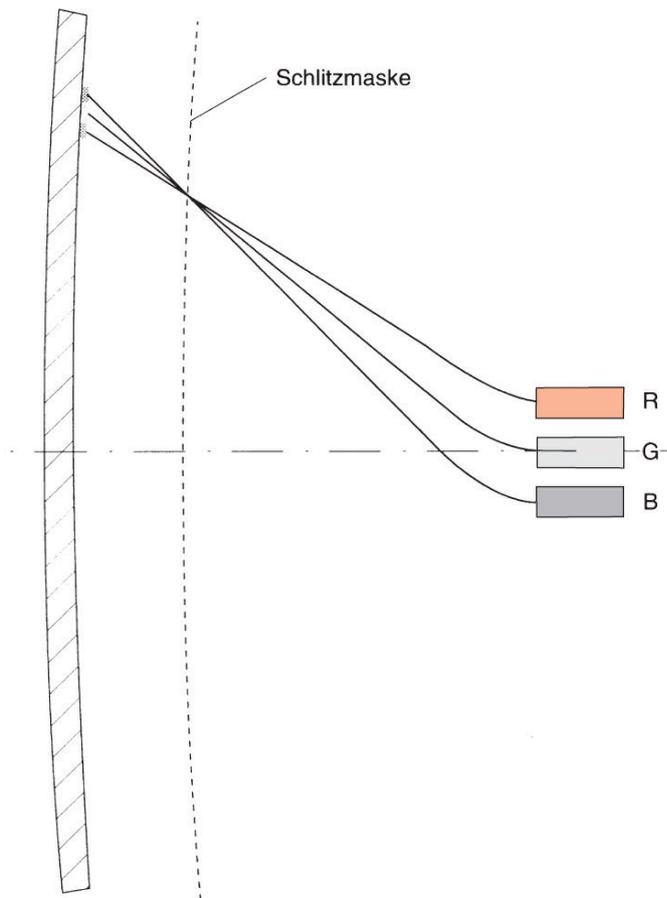


Bild A16.4 Funktion der Schattenmaske zur Trennung der Information von Rot, Grün und Blau

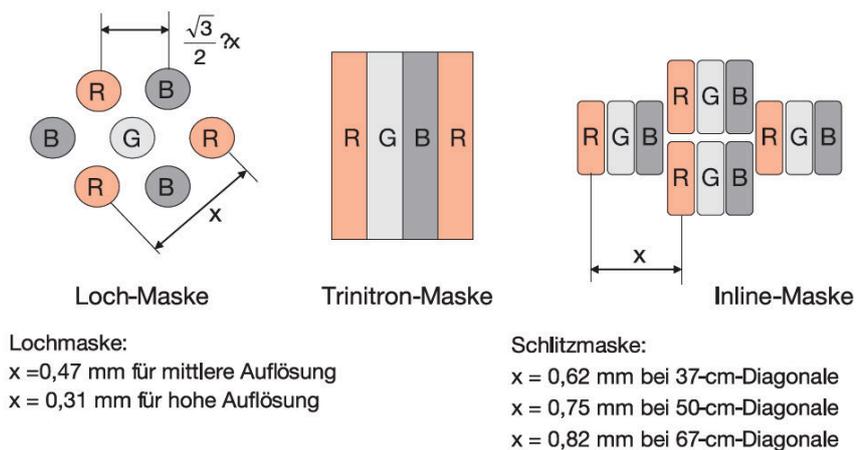


Bild A16.5 Anordnung der Farbstoffe bei Loch-, Schlitz- und Trinitron-Maske

**A16.2 Analoge Empfängertechnik**

Zur Wiedergewinnung des BAS-Signals werden die hochfrequenten Signale über den HF-Eingang (Antennenbuchse) des Fernsehempfängers, wie in Bild A16.6 dargestellt, dem Tuner zugeleitet. Dieser enthält eine schwach selektive HF-Verstärkerstufe, eine Misch- und Oszillatorstufe für den UHF- sowie eine Mischstufe und eine Oszillatorstufe für den VHF-Bereich.

HF-Bildsignal und HF-Tonsignal werden mit der gleichen Oszillatorfrequenz gemischt.

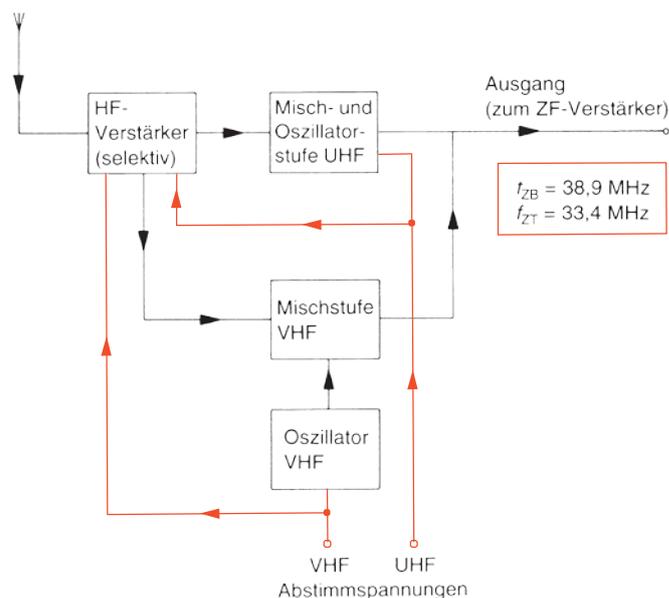


Bild A16.6 Blockschaltbild eines Fernsehgeräte-Tuners

Da nach Kapitel 10 (s. *Ergänzungen*) der Träger des 1. HF-Tonsignals um 5,5 MHz und des 2. Tonsignals (bei Stereo- oder Mehrkanalton-Betrieb) um 5,7421875 MHz über dem Träger des HF-Bildsignals liegt, ergibt sich ein ZF-Tonsignal, das um 5,5 MHz bzw. 5,7421875 MHz unterhalb des ZF-Bildsignals liegt.

Als Beispiel ergibt sich für Kanal 37:

$$\text{Kanal 37: Träger HF-Bildsignal: } 599,25 \text{ MHz} = f_{\text{BT}}$$

$$\text{Träger 1. HF-Tonsignal: } 604,75 \text{ MHz} = f_{\text{TT1}}$$

$$\text{Träger 2. HF-Tonsignal: } 604,99219 \text{ MHz} = f_{\text{TT2}}$$

$$\text{Oszillatorfrequenz: } 638,15 \text{ MHz} = f_0$$

$$\text{ZF-Bildsignal: } f_{\text{ZB}} = f_0 - f_{\text{BT}} = 638,15 \text{ MHz} - 599,25 \text{ MHz} = 38,9 \text{ MHz}$$

$$\text{1. ZF-Tonsignal: } f_{\text{ZT}} = f_0 - f_{\text{TT1}} = 638,15 \text{ MHz} - 604,75 \text{ MHz} = 33,4 \text{ MHz}$$

$$\text{2. ZF-Tonsignal: } f_{\text{ZT}} = f_0 - f_{\text{TT2}} = 638,15 \text{ MHz} - 604,99219 \text{ MHz} = 33,1572 \text{ MHz}$$

Am Ausgang des Tuners stehen das ZF-Bildsignal und die ZF-Tonsignale zur Verfügung. Die Abstimmung des Tuners auf den Kanal erfolgt durch eine besondere Abstimmstufe.

Die Abstimmstufe liefert eine Abstimmgleichspannung, mit deren Hilfe HF-Verstärker und Oszillator auf den gewünschten Kanal abgestimmt werden.

Wie in Kapitel 10 (s. *Ergänzungen*) beschrieben, erfolgt die analoge terrestrische und analoge Kabel-TV-Übertragung in **Restseitenband-Amplitudenmodulation** (RSB-AM). Daher ergeben sich für die Bildsignalfrequenzen bis 1,25 MHz höhere Amplituden, da diese Frequenzen in beiden Seitenbändern enthalten sind (Bild A16.7).

Die erforderliche Amplitudenanpassung im unteren Frequenzbereich erfolgt durch die Nyquist-Filterung im ZF-Verstärker, der eine festgelegte Durchlasskurve einhalten muss (Bild A16.8).

ZF-Bildsignal und ZF-Tonsignal werden in demselben ZF-Verstärker verstärkt.

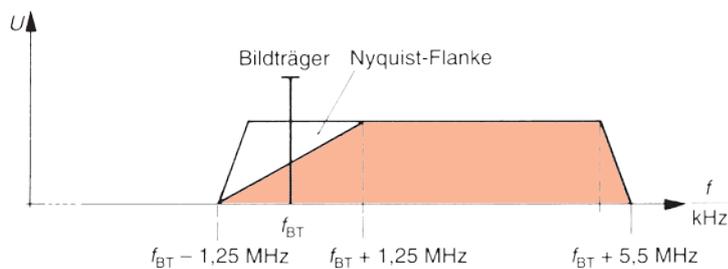


Bild A16.7 Amplitudenanpassung durch Nyquist-Flanke

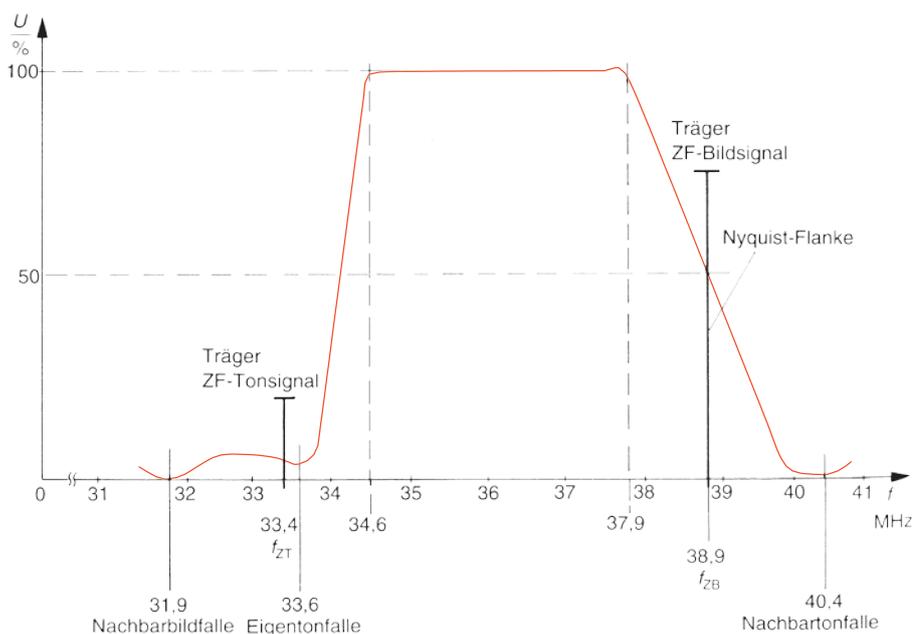


Bild A16.8 Durchlasskurve eines ZF-Verstärkers nach ITU-R-Norm

Das ZF-Tonsignal wird durch den besonderen Verlauf der Durchlasskurve abgeschwächt. Die Abschwächung des ZF-Tonsignals ist erforderlich, um Tonstörungen im Bildsignal zu vermeiden. Nach dem ZF-Verstärker folgt der Video-Demodulator, in dem die Amplitudendemodulation des ZF-Bildsignals durchgeführt wird.

Am Ausgang des Video-Demodulators steht das BAS-Signal zur Verfügung.

Das wiedergewonnene BAS-Signal kann nach einer Verstärkung der Bildröhre zugeführt werden. Dabei stören die im Signal enthaltenen Austast- und Synchronisationsimpulse nicht: Sie steuern die Bildröhre dunkel.

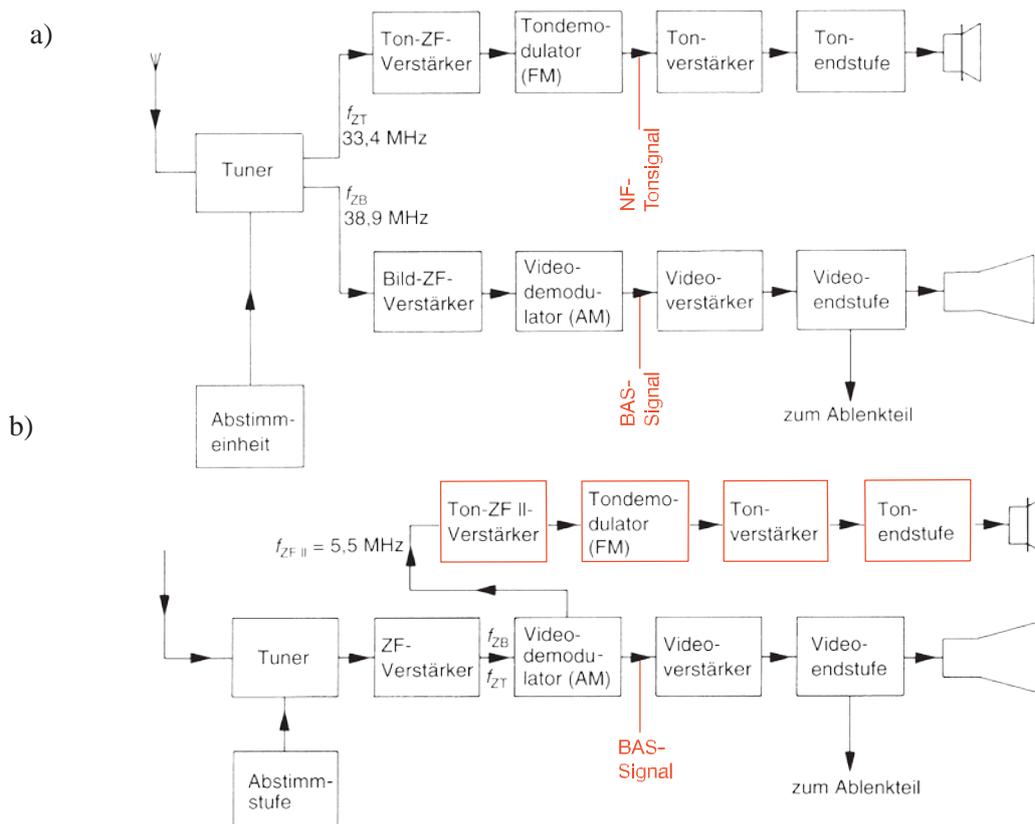


Bild A16.9 Blockschaltbilder von SW-Fernsehempfängern

- a) Tonrückgewinnung nach Intercarrier-Verfahren  
 b) Tonrückgewinnung nach dem Parallelton-Verfahren

### A16.2.1 Rückgewinnung des Tonsignals

Nach Bild A16.9a wird dem Video-Demodulator neben dem ZF-Bildsignal auch das ZF-Tonsignal zugeführt. Da der Video-Demodulator durch die verwendete Demodulatordiode eine stark nichtlineare Kennlinie aufweist, arbeitet er zusätzlich als Mischstufe, d.h., zwischen ZF-Bildsignal und ZF-Tonsignal erfolgt im Video-Demodulator eine additive Mischung:

Es entsteht eine Differenzfrequenz von 5,5 bzw. 5,7421875 MHz. Diese enthält die Modulation von ZF-Bildsignal und die ZF-Tonsignale. Diese als 2. ZF-Tonsignale bezeichneten Signale werden verstärkt und – zur Unterdrückung der Amplitudenmodulation – in der Amplitude begrenzt und nachfolgend in einem FM-Demodulator demoduliert. Das Tonsignal wird dann in Verstärker und Endstufe verstärkt und dem Lautsprecher zugeführt (Bild 16.9a).

Das Verfahren der gemeinsamen Verstärkung der HF-Bild- und HF-Tonsignale wird *Intercarrier Verfahren* genannt und begrenzt den technischen Aufwand im Empfänger.

Nur bei einer schlechten Unterdrückung der Amplitudenmodulation des 2. ZF-Tonsignals können bei starken Schwarzweiß-Übergängen im Bild (z.B. bei der Texteinblendung) Tonstörungen („Brummen“) auftreten.

Beim *Parallelton-Verfahren* nach Bild A16.9b wird das ZF-Tonsignal völlig unabhängig vom ZF-Bildsignal verarbeitet. Dieses Prinzip wird insbesondere bei Empfängern verwendet, die verschiedene Normen wiedergeben können und z.B. zwischen PAL und SECAM umschaltbar sind. Das Parallelton-Verfahren ergibt ein störfreies Tonsignal und wird bei höherwertigen Fernsehgeräten eingesetzt.

### 16.2.2 Rückgewinnung des Synchronsignals

Zur Darstellung des Bildes muss aus dem übertragenen Signal die Information über den Bildaufbau empfängerseitig zurückgewonnen werden. Die Synchronimpulse für die Zeilen- und Bildsynchronisation sind im BAS-Signal enthalten und werden, wie in Bild A16.10 dargestellt, der verstärkten Spannung der Video-Endstufe entnommen.

Das BAS-Signal wird dann einer Impulsabtrennstufe zugeführt, die als ein Verstärker nach dem C-Prinzip (Bild A16.11) arbeitet: Der Arbeitspunkt liegt im negativen Bereich, und der Verstärker öffnet erst bei Spannungen, die oberhalb des Schwarzpegels liegen, so dass nur die Synchronimpulse verstärkt am Ausgang erscheinen.

Zur Zeilen-, d.h. horizontalen Synchronisation, wird das Signalgemisch aus horizontaler und vertikaler Synchroninformation in einem Hochpass differenziert (Bild A16.12). Die entstehenden Impulse werden einer Phasenvergleichsstufe zugeführt, deren zweiter Eingang vom Zeilenoszillator gespeist wird. Dieser wird als gleichspannungsgesteuerter Oszillator realisiert, der je nach

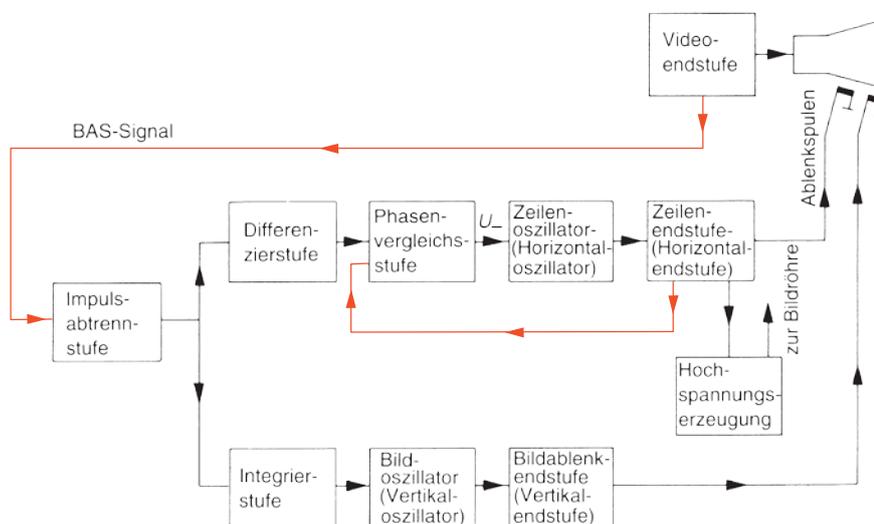


Bild A16.10 Blockschaltbild des Ablenkteils eines SW-Fernsehempfängers

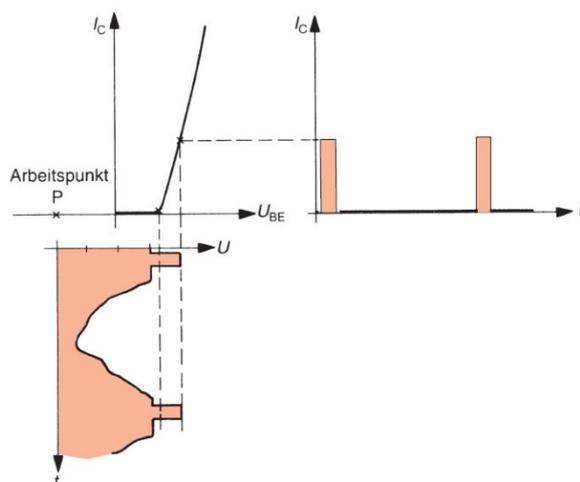


Bild A16.11 Arbeitsweise der Impulsabtrennstufe

Vorzeichen der steuernden Gleichspannung die Frequenz erhöht oder verringert. Mit der Ausgangsspannung des Zeilenoszillators wird die Zeilenendstufe gesteuert, die die sägezahnförmigen Ablenkströme für die horizontale Ablenkung des Elektronenstrahls der Bildröhre erzeugt.

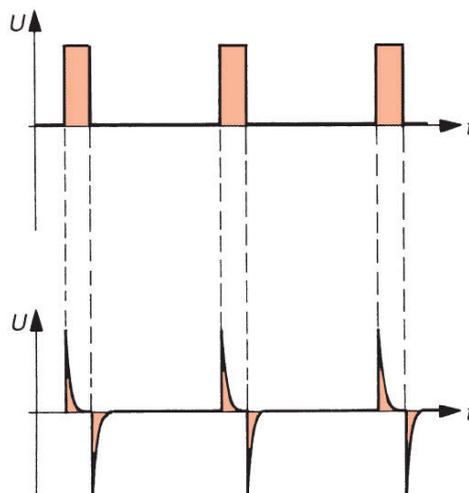


Bild A16.12 Differentiation der Synchronimpulse

Die eigentliche Synchronisation erfolgt also über die Phasenvergleichsstufe: Bei gleicher Frequenz und Phasenlage der Eingangssignale liegt am Ausgang der Phasenvergleichsstufe die Spannung 0 V. Schwingen Zeilenoszillator und Zeilenendstufe zu schnell, so liegt am Ausgang der Phasenvergleichsstufe z.B. eine positive Spannung, womit der Oszillator langsamer gesteuert wird. Schwingen Zeilenoszillator und Zeilenendstufe zu langsam, ergibt sich am Ausgang der Phasenvergleichsstufe entsprechend eine negative Spannung und der Oszillator wird schneller gesteuert. Dieses Verfahren wird als PLL-Synchronisation (*Phase Locked Loop*) bezeichnet.

Zur horizontalen Synchronisation wird ein PLL-Verfahren verwendet.

Zur *Bildsynchronisation* durchläuft das gesamte Synchronisiersignal eine Integrierstufe. Die fünf eigentlichen Bildwechselimpulse und die fünf Nachtrabanten ergeben nach Bild A16.13 einen Gesamt-Bildwechselimpuls, der das Kippen eines instabilen Multivibrators auslöst, der als Vertikaloszillator arbeitet. Dieses Verfahren nennt man direkte Synchronisation.

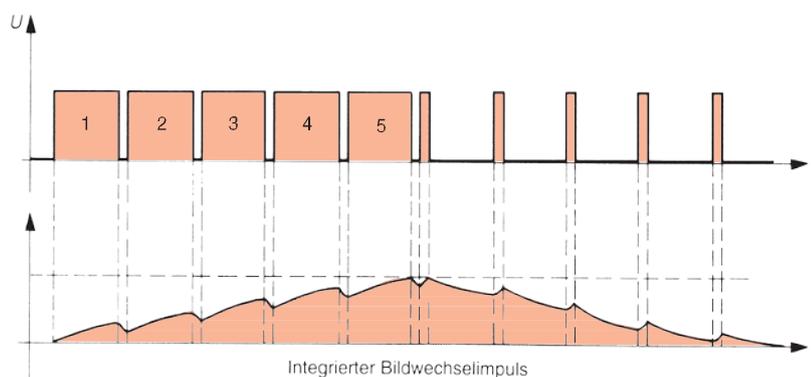


Bild A16.13 Erzeugung des vertikalen Synchronimpulses

Die vertikale Synchronisation erfolgt über eine direkte Synchronisation.

Der Bildoszillator steuert die Bildablenk-Endstufe, die auch *Vertikal-Endstufe* genannt wird. Die Vertikal-Endstufe erzeugt einen sägezahnförmigen Strom zur vertikalen Ablenkung des Elektronenstrahls.

### 16.2.3 Empfängerseitige Farbsignalverarbeitung

Die hochfrequente Signalverarbeitung im analogen Farb-TV-Empfänger entspricht derjenigen eines Schwarzweiß-Empfängers. Auch beim Farbfernseh-Empfänger ist das Intercarrier-Verfahren üblich, d.h., ZF-Bildsignal und ZF-Tonsignal werden im gleichen ZF-Verstärker verstärkt.

Die Gewinnung des 2. ZF-Tonsignals und die Video-Demodulation erfolgen jedoch in zwei getrennten Stufen. In der Ton-Mischstufe erfolgt die additive Mischung von ZF-Bildsignal (38,9 MHz) und ZF-Tonsignal (33,4 MHz), aus der sich das 2. ZF-Tonsignal bei einer Trägerfrequenz von 5,5 MHz bzw. zusätzlich bei Stereogeräten bei 5,7421875 MHz ergibt (s. Ergänzungen zu Kapitel 10, Bild A10.1). Im Video-Demodulator wird das ZF-Bildsignal amplitudendemoduliert, wobei die Anforderungen an die Unterdrückung der Reste der Tonsignale jedoch höher sind als beim Schwarzweiß-Empfänger, damit sich keine störenden Mischprodukte mit dem Farbhilfsträger von 4,43 MHz ergeben.

Nach der Video-Demodulation wird das FBAS-Basisbandsignal in das F-Signal und in das BAS-Signal durch eine Filterung aufgespaltet. Das BAS-Signal durchläuft eine Verzögerungsleitung, die eine Laufzeit von 0,8 µs erzeugt, um die unterschiedlichen Laufzeiten von BAS-(Y-)Signal und Farbdifferenzsignalen auszugleichen. Danach wird das BAS-Signal im Video-Verstärker verstärkt, der Impulsabtrennstufe zugeführt und hinsichtlich der Impulserzeugung wie beim SW-Fernsehempfänger weiterverarbeitet.

Das BAS-Signal enthält das Leuchtdichte-Signal (Y-Signal), das nachfolgend zur Wiedergewinnung der Signale R, G, B benötigt wird. Das Blockschaltbild eines PAL-Empfängers ist in Bild A16.14 dargestellt.

Aufgrund der sendeseitigen Quadraturamplitudenmodulation des Farbträgers enthält das Farbartsignal (F-Signal) die Komponenten  $(R-Y)_g$  und  $(B-Y)_g$  – jeweils in geträgerter Form, kenntlich durch den Index –, die wiedergewonnen werden müssen. Das F-Signal wird zunächst verstärkt, wobei der Verstärkungsfaktor die Farbsättigung beeinflusst und vom Zuschauer beeinflusst werden kann.

Die Rückgewinnung der Signale  $(R-Y)$  und  $(G-Y)$  erfolgt mit einer Signalaufspaltungsschaltung nach Bild A16.15 mit einer Laufzeitverzögerungseinheit von 64 µs, was einer Verzögerung um die Zeitdauer einer Zeile entspricht.

Das PAL-System beruht nach Kapitel 10 (s. auch Ergänzungen zu Kap. 10) darauf, dass der Anteil  $(R-Y)_g$  in jeder zweiten Zeile um 180° in der Phase gedreht übertragen wird, wodurch die farhtonproportionale Phasenabweichungen auf der Übertragungstrecke in farbsättigungsabhängige Amplitudenänderungen bei der Wiedergabe überführt werden.

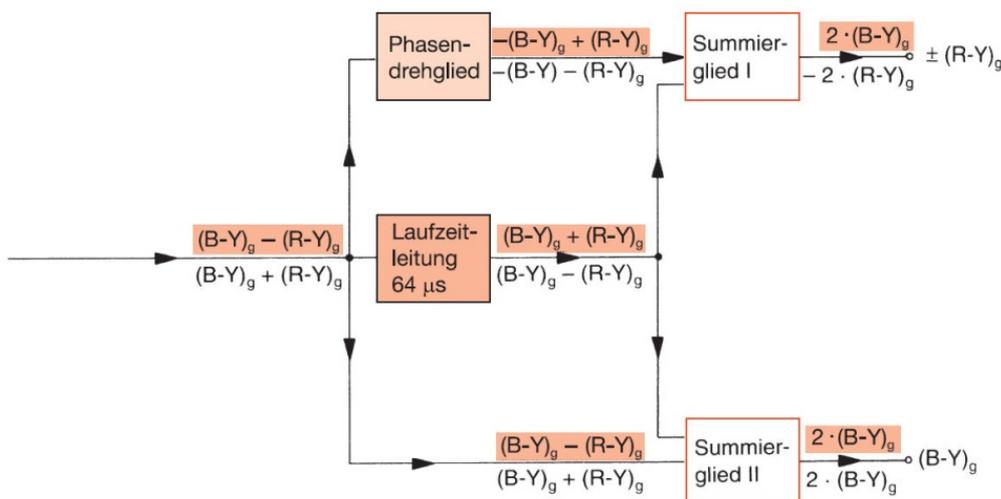


Bild A16.15 Signalaufspaltungsschaltung beim PAL-Verfahren

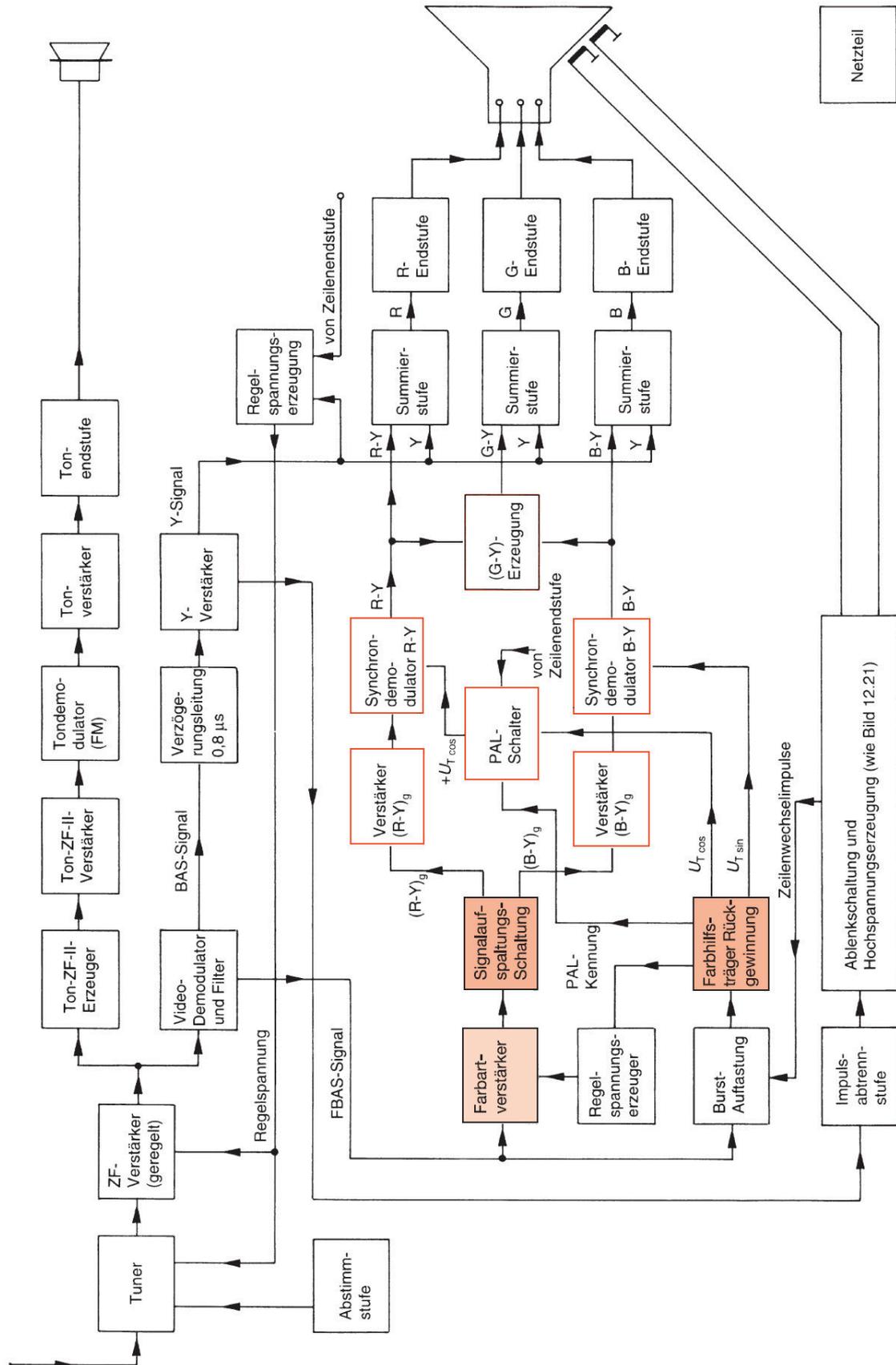


Bild A16.14 Blockschaubild eines PAL-Farbfernsehempfängers

Die Funktionsweise der Schaltung nach Bild A16.15 ist folgende:

Es soll als Beispiel gerade das Signal der 2. Zeile  $(B-Y)_g - (R-Y)_g$  übertragen werden. Im unteren Teil der Schaltung liegt dieses Signal am Eingang des Summiergliedes II. Am Ausgang der Laufzeitleitung liegt das Signal, das eine Zeile vorher übertragen wurde, also das Signal mit umgekehrter Phasenlage von  $(R-Y)_g$  der 1. Zeile:  $(B-Y)_g + (R-Y)_g$ . Auch dieses Signal wird dem Summierglied II zugeführt. Die Summe beider Signale ergibt damit:

$$\left( (B-Y)_g - (R-Y)_g \right) + \left( (B-Y)_g + (R-Y)_g \right) = 2 \cdot (B-Y)_g \tag{Gl. A16.2}$$

Am Ausgang des Summiergliedes II steht das Signal  $2 \cdot (B-Y)_g$ , also das Signal  $(B-Y)_g$  mit doppelter Amplitude zur Verfügung.

Im oberen Zweig der Signalaufspaltungsschaltung ist ein Phasendrehglied für  $180^\circ$  Phasendrehung vorhanden. Das Signal der 2. Zeile  $(B-Y)_g - (R-Y)_g$  hat also nach dem Phasendrehglied die Form  $-(B-Y)_g + (R-Y)_g$  und wird so auf das Summierglied I gegeben.

Mit dem Signal der 1. Zeile ergibt sich:

$$\left( -(B-Y)_g + (R-Y)_g \right) + \left( (B-Y)_g + (R-Y)_g \right) = 2 \cdot (R-Y)_g \tag{Gl. A16.3}$$

Am Ausgang des Summiergliedes I ist also das Signal  $(R-Y)_g$  mit doppelter Amplitude vorhanden. Betrachtet man nun die Verarbeitung der nachfolgenden Signale der 3. und 4. Zeile, so stellt man Folgendes fest:

Am Ausgang der Summierstufe II ist stets das Signal  $2 \cdot (B-Y)_g$  vorhanden.  
 Am Ausgang der Summierstufe I ergibt sich immer das Signal  $2 \cdot (R-Y)_g$ , dessen Vorzeichen jedoch von Zeile zu Zeile wechselt.

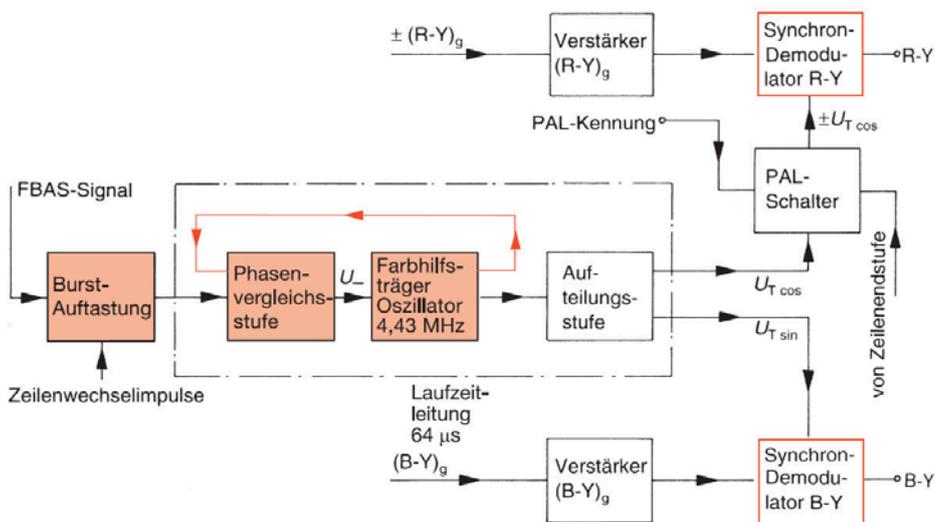


Bild A16.16 Farbhilfsträger-Rückgewinnung und Synchrondemodulation

Die notwendige Aufspaltung des  $F$ -Signals in die Signale  $\pm (R-Y)_g$  und  $(B-Y)_g$  ist damit erreicht. Nach der Aufspaltung und Verstärkung der Signale  $\pm (R-Y)_g$  und  $(B-Y)_g$  erfolgt die Demodulation der mit unterdrücktem Träger amplitudenmodulierten Signale. Dazu muss der Träger bei der Demodulation phasenrichtig dazugegeben werden. Zur Erzeugung des Farbhilfsträgers verwendet man einen in Frequenz und Phase steuerbaren Oszillator (Bild A16.16) sowie das Burst-Signal als Vergleichsschwingung.

Das Burst-Signal und das Signal des lokalen, steuerbaren Farbhilfsträgeroszillators werden wieder in einer PLL-Schaltung einer Phasenvergleichsschaltung zugeführt, die eine Steuergleichspannung erzeugt, mit deren Hilfe der Farbhilfsträger-Oszillator phasenrichtig auf die ursprüngliche Farbhilfsträgerschwingung abgestimmt wird.

Die Farbhilfsträgerschwingung wird in zwei Trägerschwingungen aufgespaltert, die zueinander  $90^\circ$  Phasenverschiebung haben. Diese Trägerschwingungen heißen  $U_{T\cos}$  (Trägerschwingung für  $\pm(R-Y)_g$ ) und  $U_{T\sin}$  (Trägerschwingung für  $(B-Y)_g$ ). Die Trägerschwingungen werden den getrennten Demodulatorschaltungen zugeführt, die als Synchrondemodulatoren arbeiten und sowohl amplituden- als auch phasenrichtig demodulieren.

Das  $(R-Y)_g$ -Signal wird in jeder zweiten Zeile um  $180^\circ$  phasengedreht übertragen, daher die Bezeichnung  $\pm(R-Y)_g$ . Diese Phasenumschaltung muss empfängerseitig wieder rückgängig gemacht werden. Hierzu kann entweder das  $(R-Y)_g$ -Signal gedreht oder der Träger  $U_{T\cos}$  um  $180^\circ$  geschaltet werden, was überwiegend erfolgt und durch den PAL-Schalter realisiert wird (s. Bild A16.16).

Der PAL-Schalter sorgt für eine phasenrichtige Rückschaltung der R–Y-Komponente.

Damit die Umschaltung entsprechend synchron zur Sendeseite erfolgt, wird eine PAL-Kennung mit übertragen. Diese erfolgt durch die Burst-Phasenlage:

- Für  $+(R-Y)$  hat der Burst gegenüber der Bezugsphase 0 des Farbhilfsträgers eine Phasenlage von  $135^\circ$ ,
- Für  $-(R-Y)$  hat der Burst eine Phasenlage von  $225^\circ$ .

Die PAL-Kennung wird in der Phasenvergleichsstufe ausgewertet. Von hier wird ein Signal auf den PAL-Schalter gegeben, der dafür sorgt, dass nur jeweils die R–Y-Komponente synchron umgeschaltet wird.

Nach der Synchrondemodulation stehen die Signale R–Y und B–Y zur Verfügung, aus denen das (G–Y)-Signal gewonnen werden muss. Dazu wird folgender Zusammenhang realisiert:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B \\
 Y &= 0,3 \cdot Y + 0,59 \cdot Y + 0,11 \cdot Y \\
 \Rightarrow Y - Y &= 0,3 \cdot (R-Y) + 0,59 \cdot (G-Y) + 0,11 \cdot (B-Y) = 0 \\
 \Rightarrow 0,59 \cdot (G-Y) &= -0,3 \cdot (R-Y) - 0,11 \cdot (B-Y) \\
 \Rightarrow G-Y &= \frac{0,3}{0,59} \cdot (R-Y) - \frac{0,11}{0,59} \cdot (B-Y) = -0,51 \cdot (R-Y) - 0,19 \cdot (B-Y) \quad (\text{Gl. A16.4})
 \end{aligned}$$

Das (G–Y)-Signal besteht aus 51% des um  $180^\circ$  gedrehten (R–Y)-Signals und aus 19% des um  $180^\circ$  gedrehten (B–Y)-Signals.

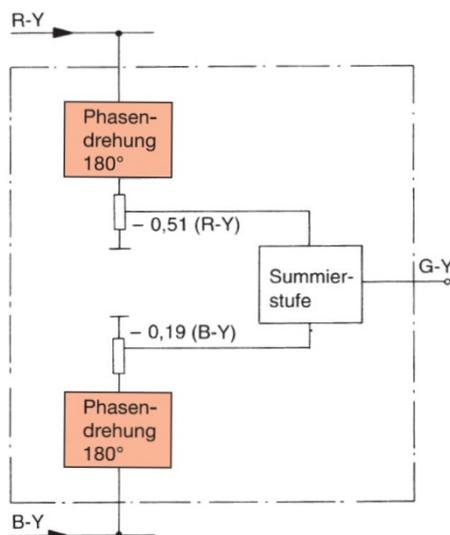


Bild A16.17 Schaltung zur Erzeugung des (G–Y)-Signals

Bild A16.17 zeigt das Blockschaltbild der Schaltung zur Erzeugung des (G–Y)- Signals. Aus den Farbdifferenz-Signalen R–Y, G–Y und B–Y lassen sich leicht die Signale R, G, B gewinnen. Die zugehörige Schaltung wird als *Dematrix* bezeichnet.

Die Signale R, G, B erhält man, indem man zu den Signalen R–Y, G–Y und B–Y jeweils das Y-Signal hinzuaddiert.

Mit den nun wiederhergestellten Signalen R, G, B kann das Wiedergabesystem eines Monitors angesteuert werden, s. Bild A16.14.