

B.N.4.2.1.1

Analoge und digitale Verfahren II: Video

Teil 5

Funktion Röhrenkamera

Das Chrominanz-Signal
(Farbsignalcodierung)

Nadja Wallaszkovits

abk—
Staatliche Akademie
der Bildenden Künste
Stuttgart

Funktionsprinzip der Röhrenkamera

Bildaufnahmeröhre

- Eine Bildaufnahmeröhre ist eine Elektronenröhre, die ein optisches Bild in elektrische Signale wandelt.
- Bildaufnahmeröhren können grundlegend nur Signale für einfarbige Bilder erzeugen, für das Farbfernsehen ist eine vorgeschaltete Optik mit Farbfiltern oder ein Streifenfilter mit entsprechender elektronischer Umschaltung notwendig.
- Bildaufnahmeröhren wurden mittlerwile größtenteils durch CCD-Sensoren verdrängt.

Bildaufnahmeröhre

Eine Bildaufnahmeröhre besteht grundlegend

- aus einer Photokathode, auf die zu wandelnde Bild über die Optik projiziert wird und
- aus einer Abtasteinrichtung, die dieses der Belichtung äquivalente Ladungsbild der Photokathode in ein zeitdiskretes Signal wandelt.
- Die Bildaufnahmeröhre wandelt also das optische Bild in ein Ladungsbild
- Unterschiedliche Konstruktionsprinzipien

Bildaufnahmeröhre

Eine Bildaufnahmeröhre besteht grundlegend

- aus einer Photokathode, auf die zu wandelnde Bild über die Optik projiziert wird und
- aus einer Abtasteinrichtung, die dieses der Belichtung äquivalente Ladungsbild der Photokathode in ein zeitdiskretes Signal wandelt.
- Die Bildaufnahmeröhre wandelt also das optische Bild in ein Ladungsbild
- Unterschiedliche Konstruktionsprinzipien

Ikonoskop

- Das Ladungsbild wird bei diesem Typ über eine Anordnung kleiner Kondensatorzellen erzeugt, die aus lichtempfindlichem Material (Caesium) bestehen. Diese Schicht vereint also Photokathode und Speicherung des Ladungsbildes. Dieses Ladungsbild wird über einen Elektronenstrahl zeilenweise abgetastet. Die unterschiedliche Aufladung der Kondensatoren ergibt einen unterschiedlichen Strom bei der Umladung der Kondensatorzellen und damit das elektrische Signal.
- Das Ikonoskop ist durch seine mechanische Ausbildung recht empfindlich gegenüber Effekten von Sekundärelektronenemission. Das Rieselikonoskop kompensierte diese Störeffekte durch Berieselung der Kondensatorzellenplatte mit separat erzeugten Elektronen.

Superikonoskop

Superikonoskop

- Das Superikonoskop unterscheidet sich vom normalen Ikonoskop durch die Trennung von Photokathode und Speicherschicht. Die Photokathode ist hier vor der Kondensatorzellenschicht angeordnet, das so erzeugte Ladungsbild wird elektronenoptisch auf die Speicherschicht projiziert. Das erhöht die Empfindlichkeit durch die Möglichkeit der Verstärkung (Beschleunigung) des Elektronenbildes durch externe Felder.

Orthikon

Orthikon

- Das Orthikon hat wie das Ikonoskop auch eine Kondensatoranordnung aus lichtempfindlichem Material. Diese Anordnung ist allerdings halbdurchlässig für Licht und wird von beiden Seiten genutzt. Von vorn wird das optische Bild auf diese Anordnung projiziert und erzeugt so das Ladungsbild. Von der Rückseite tastet ein Elektronenstrahl dieses Ladungsbild in der vom Ikonoskop bekannten Weise ab.
- Im Unterschied zum Ikonoskop wird dieser Elektronenstrahl durch geeignete Maßnahmen auf sehr geringe Geschwindigkeiten gebremst, sodass keine Sekundärelektronen aus der Photokathode herausgeschlagen werden. Dieser Elektronenstrahl wird nach der Abtastung der Kondensatorzellen wiederum abgelenkt und kehrt auf eine Anode in der Nähe der Kathode zurück. Dort kann das Signal abgenommen werden.

Vidicon

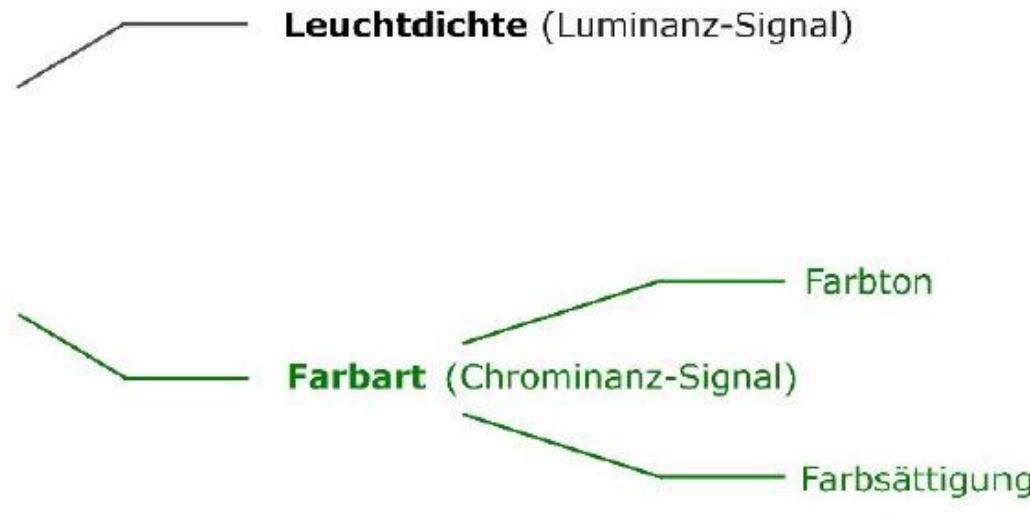
- Die durchscheinende Photokathode besteht beim Vidicon aus halbleitendem Material, dessen Widerstand sich durch Belichtung ändert. Besteht nun der abtastende Elektronenstrahl diese Halbleiterkathode, so schwankt dessen Strom aufgrund der unterschiedlichen Leitfähigkeit der mehr oder weniger stark belichteten Bereiche.
- In seiner klassischen, 1951 eingeführten Bauart arbeitet das Vidicon mit einer Photokathode aus Antimontrisulfid.
- Durch Weiterentwicklungen konnten die Eigenschaften dieses Typs von Bildaufnahmeröhren erheblich verbessert werden. Das 1962 eingeführte Plumbicon mit einer Halbleiterschicht aus Bleioxid (PbO) brachte eine dramatische Verbesserung der Bildqualität, die den weiteren Einsatz des großen und kostspieligen Superorthikons erübrigte.

Das Chrominanz-Signal (Farbsignalcodierung)

- Bei der Entwicklung der Farbfernsehgeräte bestand die Herausforderung darin, im Bereich der Standard-Definition-Auflösung dem BAS-Signal weitere Farbdifferenzsignale zuzufügen, **ohne dass die Übertragungsbandbreite des BAS-Signals erhöht wird.**
- Eine weitere Forderung war, dass ein Schwarz-Weiß-Empfänger ein übertragenes Farbbildsignal auch als fehlerfreies Schwarz-Weiß-Bild empfangen und wiedergeben kann (**Kompatibilität**).
- Andererseits sollte umgekehrt sichergestellt werden, dass auch ein Farbfernsehempfänger ein monochromes Videosignal als einwandfreies Schwarz-Weiß-Bild darstellen kann (**Rekompatibilität**).



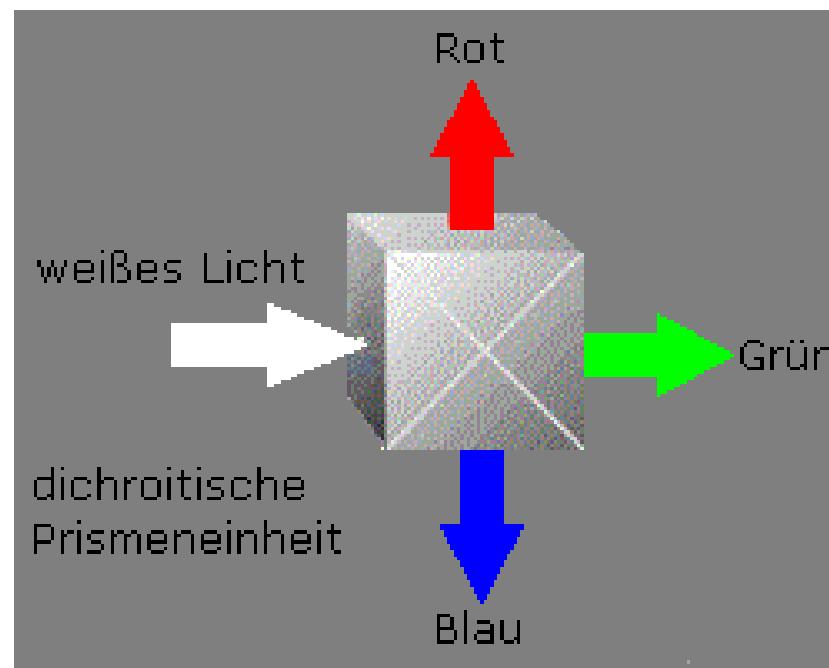
Das Chrominanz-Signal



- Für die Farbinformation muss bei der Wiedergabe der farbigen Bildvorlage zum Luminanz-Signal (Leuchtdichte-Signal) ein sogenanntes Chrominanz-Signal (Farbart-Signal) übertragen werden.
- Neben der Helligkeits- bzw. LeuchtdichteVerteilung soll also die Übermittlung von Informationen über die Farbart der einzelnen Bildpunkte innerhalb des verfügbaren Frequenzbandes des BAS-Signals an den Empfänger erfolgen.

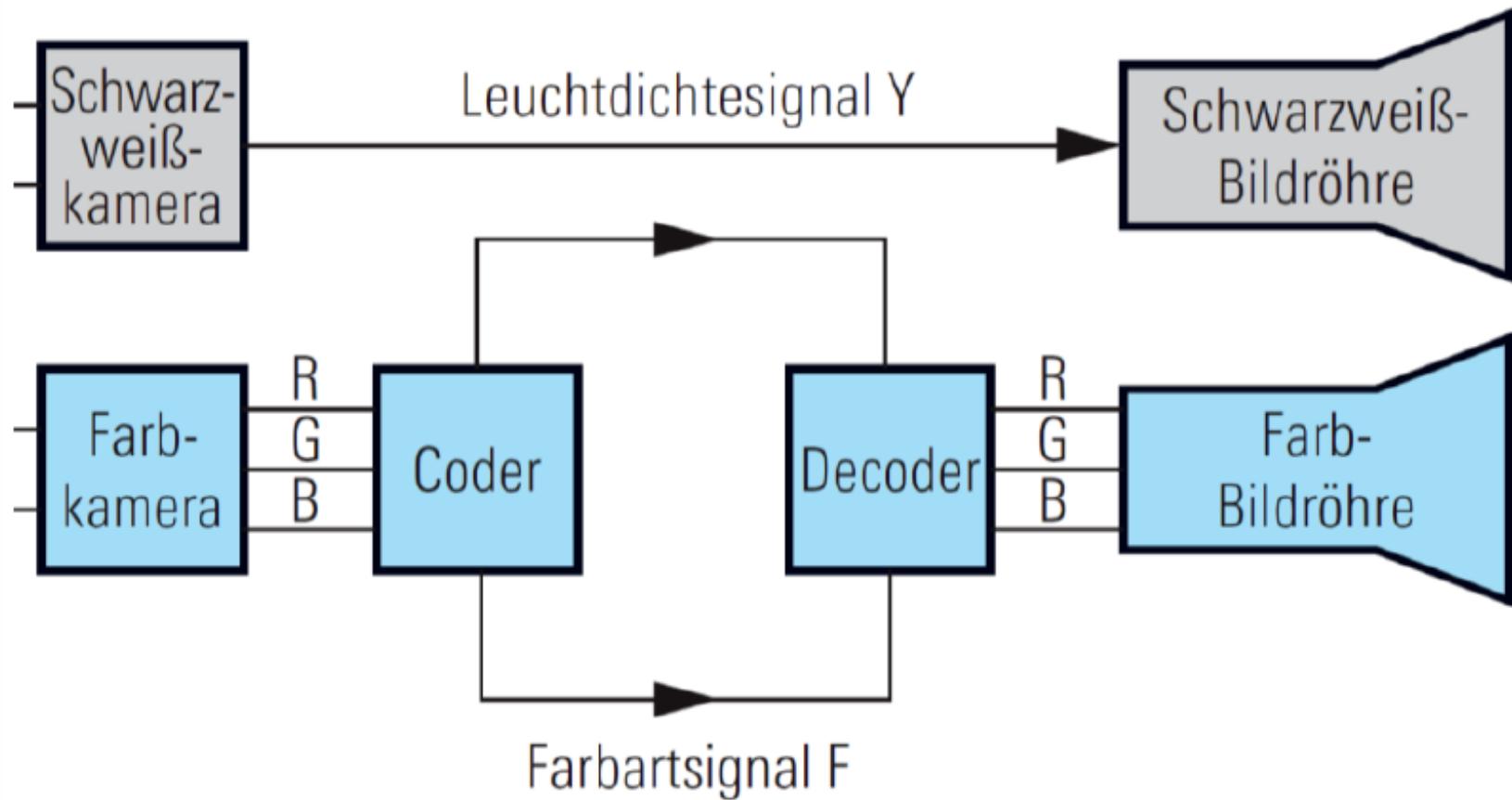
Farbkamera

- In der Farbkamera befinden sich **drei Aufnahmeröhren** oder modernere CCD-Bildsensoren für die Farbauszüge Rot, Grün und Blau. Das Licht des Aufnahmeobjektes durchläuft ein Farbteilersystem aus **dichroitischen Prismen oder Spiegeln**.
- An seinen verschiedenen Ebenen reflektiert diese Prismeneinheit das Licht und trennt es in rotes und blaues Licht, wobei grün direkt passiert.



Farbkamera

- Die drei Bildwandler liefern nach dem Auslesen der Speicherzellen die drei Farbauszüge der Bildvorlage als elektrische Spannungswerte UR, UG und UB. Bei den definierten Wellenlängen der R-, G-, B-Spektralfarben erzeugt die Farbkamera nach einem vorangegangenen Weißabgleich dann 100% der Ausgangsspannung.
- Funktioniert wieder auf dem Prinzip der additiven Farbmischung
- Die Farbart wird durch den Farbton (entsprechend der Wellenlänge des Lichts) und die Farbsättigung (kräftig oder blass) bestimmt
- Ist die Leuchtdichte geringer, so kann aus der Farbe Rot der Farbton Rosa, aus der Farbe Orange der Farbton Braun entstehen



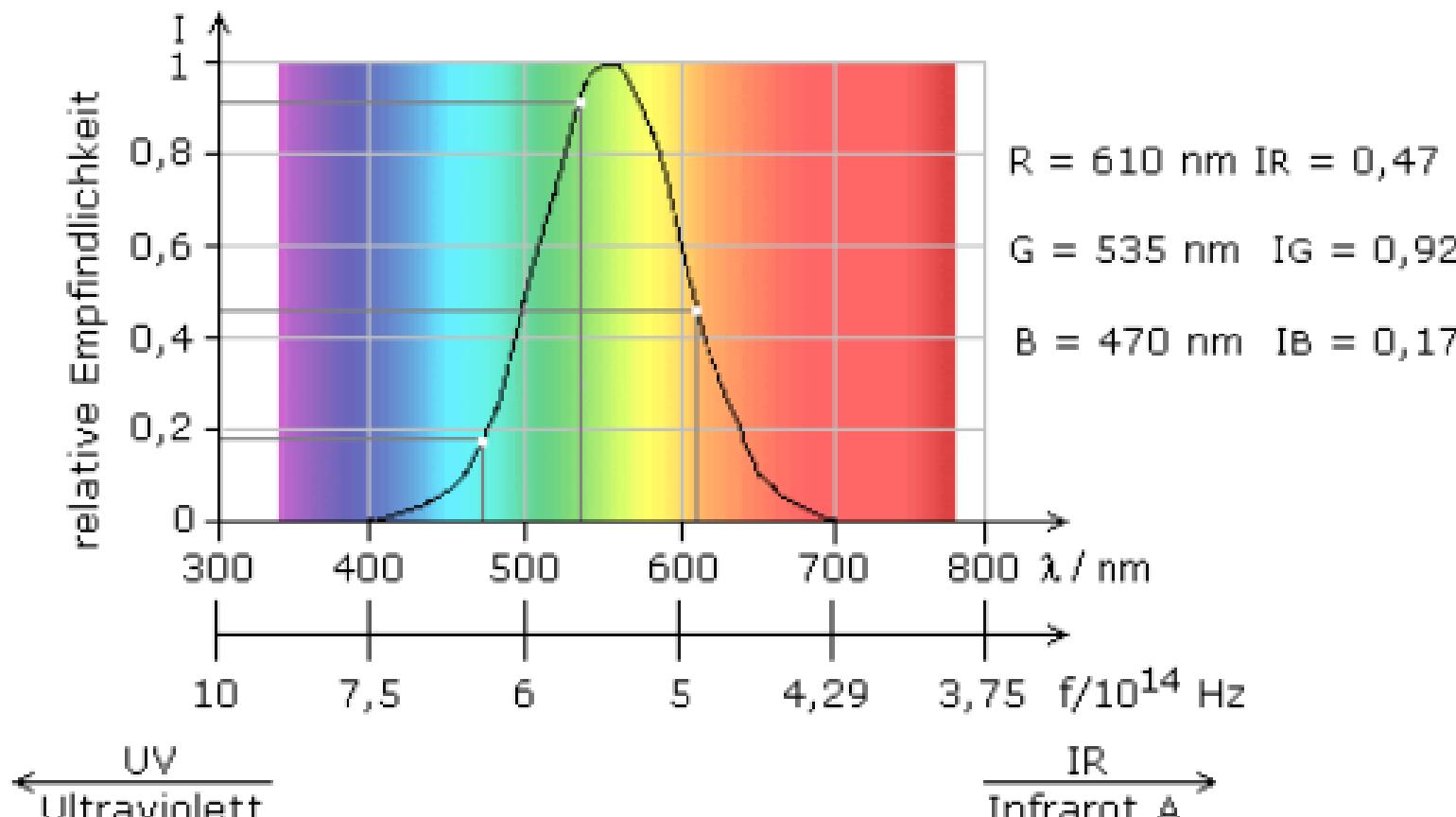
Schema kompatible Farbbildübertragung

Farbbildübertragung

- Drei separate Übertragungswege für die Signale R, G und B würden große Schwierigkeiten machen, wenn sie über Rundfunksender übertragen werden sollen
- Es müssten drei Sender mit möglichst benachbarten Sende Frequenzen verfügbar sein
- Großer Aufwand auch auf der Empfangsseite
- Problematisch: Kompatibilität zu S/W Fernsehern, da Besitzer von SW Fernsehern bei Farbsendungen nur jeweils einen der drei Farbauszüge empfangen könnten
- Um diese Kompatibilität zwischen Farbe und SW herzustellen, überträgt man nicht die Farbauszüge selbst, sondern

Farbkamera

- Das Leuchtdichte- oder Helligkeitssignal entspricht Spannungswerten, die eine SW-Kamera von diesem farbigen Bild erstellt, wobei Weiß ebenfalls zur Ausgangsspannung mit 100% führt. Mit drei Spektralfarben aus R, G und B kann additiv das Farbspektrum erstellt werden.
- Unsere Augen haben für R, G und B unterschiedliche Rezeptoren, deren Empfindlichkeiten voneinander abweichend sind. Für an helles Licht angepasste Augen wurde in Versuchsreihen eine **relative Empfindlichkeitskurve** erstellt:



Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges für die spektrale Helligkeit

Das Bild stellt diesen Kurvenverlauf im sichtbaren Lichtspektrum dar und zeigt die Lage der drei Leuchtstoffe (Luminophore) oder Farbfilter, die in den Geräten zur Erkennung der Primärfarben und Farbbildwiedergabe verwendet werden.

Farbbildübertragung

- Die **relativen Helligkeitsbeiwerte** werden auf Basis der Normierung aus den entsprechenden Werten der Augenempfindlichkeitskurve ermittelt und wie folgt berechnet:

$$h_r = \frac{h_{(Re)}}{\sum h} = \frac{0,47}{1,56} = 0,30$$

$$h_g = \frac{h_{(Ge)}}{\sum h} = \frac{0,92}{1,56} = 0,59$$

$$h_b = \frac{h_{(Be)}}{\sum h} = \frac{0,17}{1,56} = 0,11$$

Berechnung der Helligkeitsbeiwerte

Farbbildübertragung

- Unter Berücksichtigung der Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges und der Spezifik von Farbkameras und Wiedergabebildschirmen ergeben sich dann natürlich wirkende Bilder, wenn die Anteile der drei Grundfarben in dieser Beziehung stehen:

$$Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B$$

- D.h., das Luminanz Signal (Y) ist zusammengesetzt aus 30% Rot, 59% Grün und 11 % Blau Anteil
- Diese Formel stellt eine der wichtigsten Beziehungen der Farbfernsehtechnik dar

Farbbildübertragung

- Die Kompatibilität zwischen Schwarz-Weiß- und Farbfernsehen ist also dann erreicht, wenn zusätzlich zu den R-, G-, B-Signalen ein Leuchtdichtesignal Y gesendet wird, weil das Y Signal dem Signal einer SW Kamera entspricht
- Bei einer reinen Weißfläche müssen alle vier Signalspannungen den genormten 1 V Spannungswert annehmen, womit der Weißabgleich erfüllt ist:

$$\mathbf{UR \ max = UG \ max = UB \ max = UY \ max = 1}$$

Farbbildübertragung

- Aus der Addition der Leuchtdichteanteile entsteht für eine Farbbalkenfolge eine Treppenspannung, die im Schwarz Weiß Empfänger eine empfindungsrichtige Helligkeitsabstufung zur Folge hat
- Soll die Farbe Grün dargestellt werden, so muss der Pegel des Luminanzsignals in dem verfügbaren Modulationsraum (0 für Schwarz bis 1 für Weiß) einen Wert von 0,59 erreichen.
- Die Abstufung der Helligkeitswerte ist eben nicht linear. Aufgrund der Gleichung für das Luminanzsignal Y sind die Spannungssprünge zwischen den einzelnen Stufen unterschiedlich groß

Signale der Normfarbbalkenfolge

Bildvorlage	R	G	B	Y	
Weiß	x	x	x	1,00	
Gelb (R + G)	x	x	0	0,89	
Cyan (G + B)	0	x	x	0,70	
Grün	0	x	0	0,59	
Purpur (R + B)	x	0	x	0,41	
Rot	x	0	0	0,30	
Blau	0	0	x	0,11	
Schwarz	0	0	0	0	
Rot = 0,30	Grün = 0,59	Blau = 0,11			

das Y-Signal wird vom Farbsignal subtrahiert

$$U_R - U_Y \Rightarrow R - Y = R - 0,3R - 0,59G - 0,11B$$

$$U_G - U_Y \Rightarrow G - Y = G - 0,3R - 0,59G - 0,11B$$

$$U_B - U_Y \Rightarrow B - Y = B - 0,3R - 0,59G - 0,11B$$

mit dem Ergebnis der Farbdifferenzsignale

$$R - Y = 0,7R - 0,59G - 0,11B$$

$$G - Y = -0,3R + 0,41G - 0,11B$$

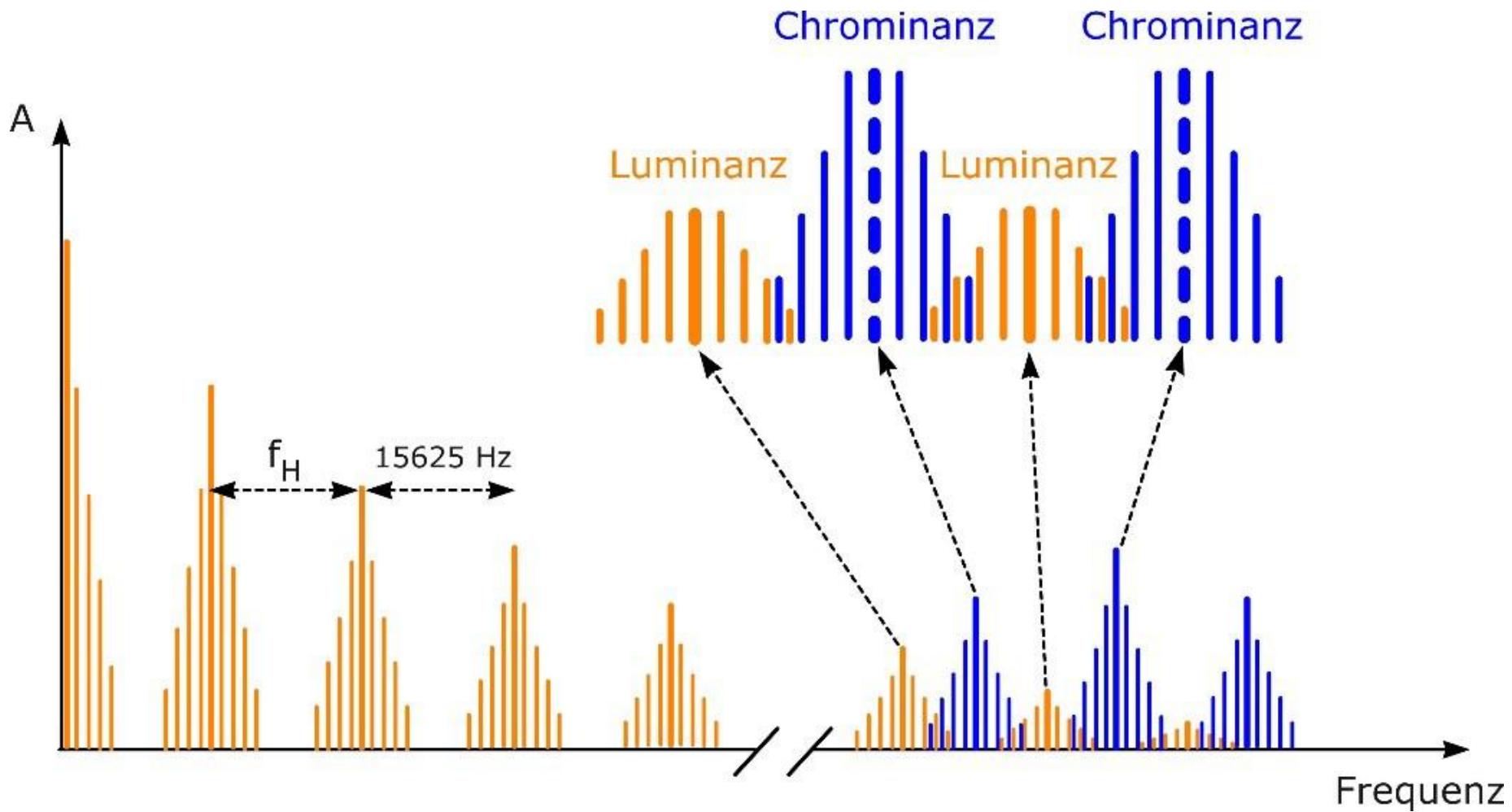
$$B - Y = -0,3R - 0,59G + 0,89B$$

Farbbildübertragung

- Zur Übertragung der Farbinformation (Chrominatzsignal) bildet man zwei **Farbdifferenzsignale**

R-Y B-Y G-Y

- Diese werden auch Farbdifferenzkomponenten (R-Y, G-Y, B-Y) genannt. Da es zu umständlich wäre, das Signal für die Farbe direkt aus den Farbwertsignalen zu gewinnen, wird es aus den um den Leuchtdichteanteil reduzierten Farbwertsignalen ermittelt, was gleichbedeutet mit den Farbdifferenzsignalen (R-Y, G-Y, B-Y) ist
- Diese Farbdifferenzsignale werden in den normalen Fernsehübertragungskanal so eingeschachtelt, dass sie das SW Bild nicht stören



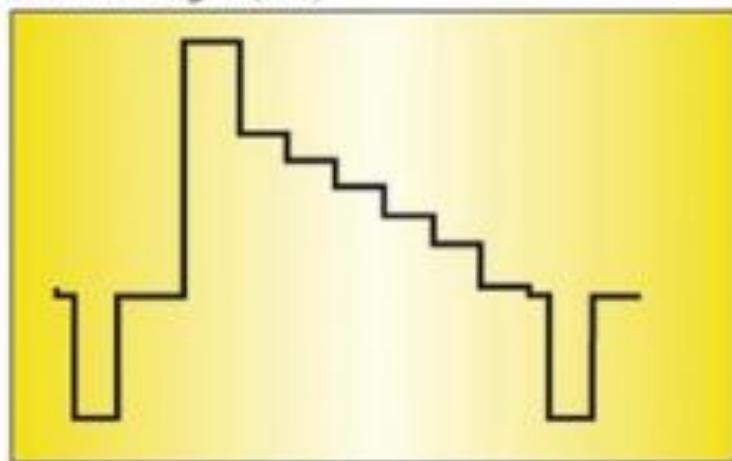
Farbbildübertragung

- Das Empfangsgerät nimmt alle übertragenen Signale gleichzeitig auf und trennt sie nach der Verstärkung über einige Filterschaltungen so auf, dass sich wieder das Luminanzsignal (Y) und die Farbdifferenzsignale ergeben

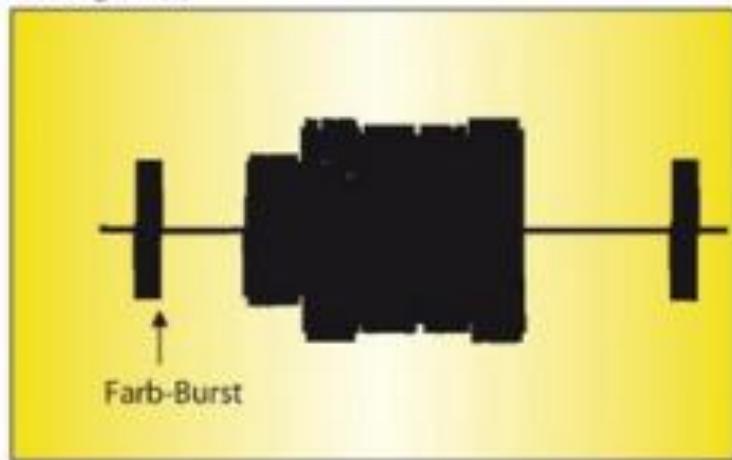
FBAS Signal (Composite Signal)

- Die Zusammenfassung der Farbdifferenzsignale mit dem BAS-Signal wird **Farb-Bild-Austast-Synchronsignal (FBAS-Signal)** oder auch Farb-BAS-Signal beziehungsweise **CVBS (Color Video Blanking Sync)** genannt
- Beim umgangssprachlich oft als „Fernsehsignal“ bezeichneten FBAS-Signal werden also die Y- und C-Amplitudenwerte zu einem Y-Signal addiert beziehungsweise überlagert. Damit wird unter anderem die zuvor erwähnte Forderung nach Kompatibilität erreicht, die das Schwarz-Weiß-Sehen auf einem Farbfernsehgerät ermöglicht.
- Das FBAS-Signal ist das **Standardvideosignal (Composite-Signal)** und benötigt lediglich **eine Leitung**.

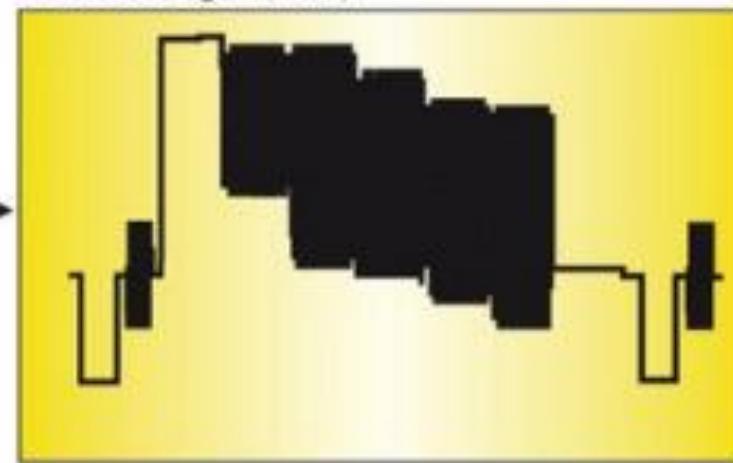
S/W-Video-Signal (BAS)



Farbsignal (F)

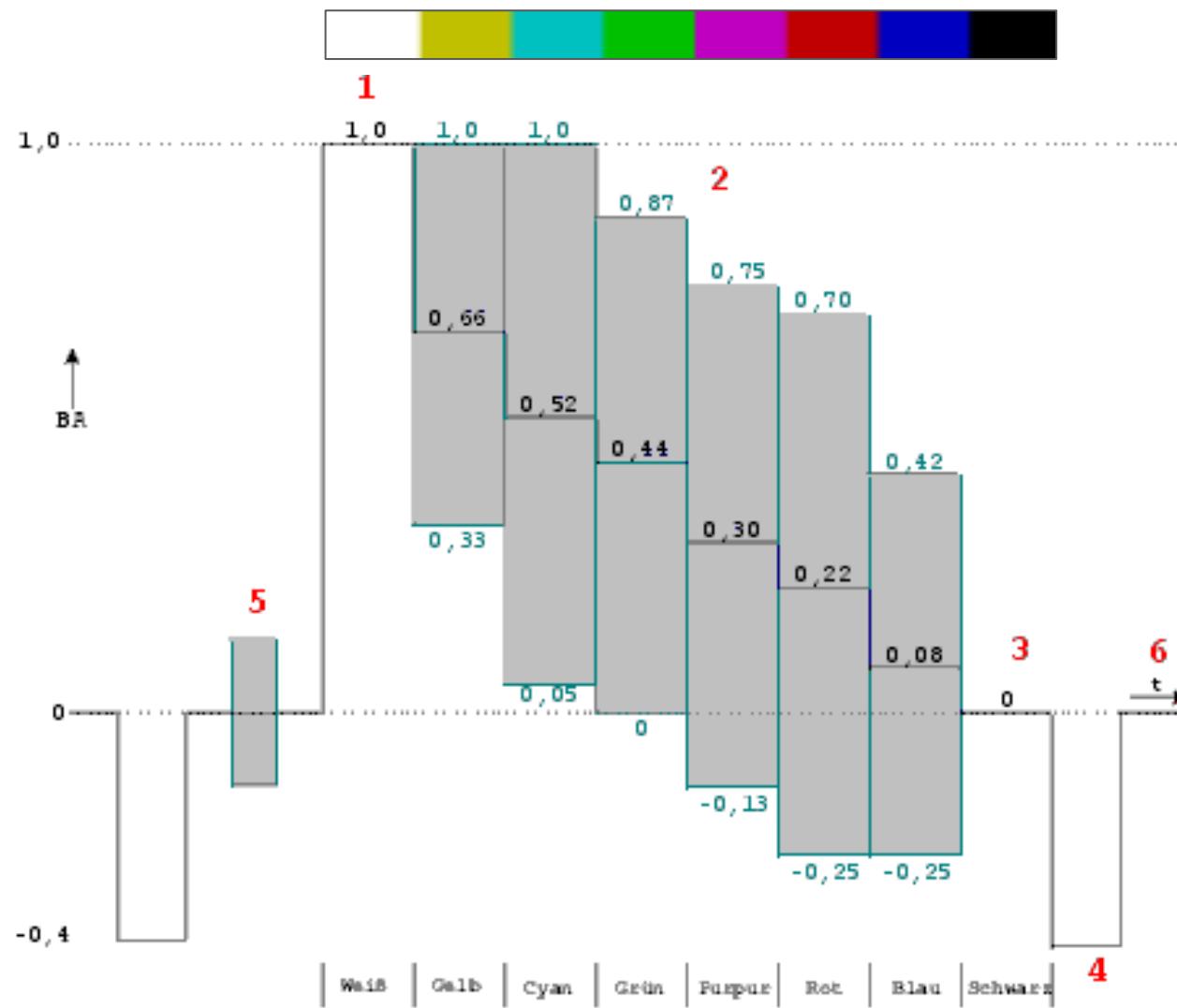


Farb-Video-Signal (FBAS)



Zum analogen S/W Videosignal wird für die Farbfernsehübertragung das modulierte Farbdifferenzsignal und ein für die Demodulation erforderlicher Differenzträger (Farb Burst) überlagert

FBAS Signal



Grau: Farbanteile

$$Y = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B$$

