

Videotechnik

Bildaufbau

Ein Schwarzweißbild besteht aus einer flächenhaften Anordnung von verschiedenen Leuchtdichtewerten. Zur elektronischen Aufzeichnung und Übertragung eines solchen Bildes ist es notwendig, die örtliche Verteilung der Leuchtdichtewerte zu erfassen.

Berücksichtigt man die Eigenschaften des menschlichen Auges, so läßt sich das Problem lösen: Wenn rasch aufeinanderfolgende Lichtreize auf das Auge treffen, können sie zeitlich nicht mehr getrennt wahrgenommen werden. Sie verschmelzen zu einem Lichteindruck. Also können Bildvorlagen zeilenweise abgetastet werden. Aus dem räumlichen Nebeneinander der Bildpunkte wird ein zeitliches Nacheinander der elektrischen Signale.

Schwarz wird durch die kleinste und weiß durch die größte Bildsignalspannung übertragen. Man bezeichnet die zu weiß gehörende Spannung mit Weißwert (100%) und die zu schwarz gehörende entsprechend mit Schwarzwert (ca. 3%).

Bilderlegung

In der Videotechnik wird die Bildvorlage in Zeilen zerlegt. Die Abtastung erfolgt dabei Zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten. Je größer die Anzahl der Zeilen, desto kleinere Bilddetails können übertragen werden.

Mindestens notwendige Zeilenzahl

Man hat festgelegt, daß der optimale Betrachtungsabstand eines Fernsehbildes dem fünfachen der Bildhöhe entspricht. Also müssen so viele Zeilen projiziert werden, daß bei $d = 5h$ zwei Zeilen gerade nicht mehr unterschieden werden können. Die Grenze des Auffassungsvermögens des menschlichen Auges liegt bei etwa $\alpha = \frac{1}{40}^\circ$. Mit z als Zeilenanzahl (und somit $\frac{h}{z}$ als Abstand zweier benachbarter Zeilen) können wir also jetzt direkt ausrechnen, wieviele Zeilen angezeigt werden müssen:

$$\tan \alpha = \frac{\frac{h}{z}}{d} = \frac{h}{d \cdot z} \Leftrightarrow z = \frac{h}{d \cdot \tan \alpha}$$

Mit $\frac{d}{h} = 5$ und mit $\tan \alpha = \tan \frac{1}{40}^\circ \approx 4 \cdot 10^{-4}$ erhalten wir für die Zeilenzahl z :

$$z = \frac{1}{5 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 500$$

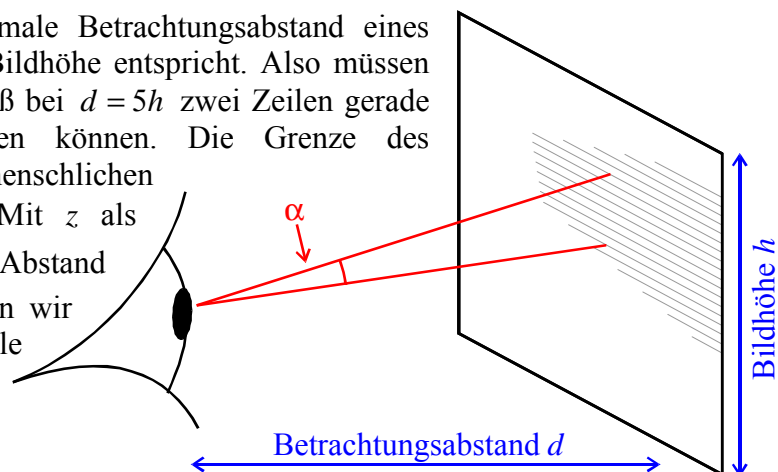
Also würde ein Fernsehbild mit 500 Zeilen ausreichen. In Europa hat man sich allerdings für 625 Zeilen entschieden, davon sind 576 sichtbar.

Bewegungsauflösung

Bei 25 Bildern je Sekunde wird für den Aufbau eines Bildes 40ms benötigt. Eine Zeile wird also innerhalb von $\frac{40\text{ms}}{625} = 64\mu\text{s}$ aufgebaut. Die Zeilenfrequenz beträgt also $\frac{1}{64\mu\text{s}} = 15625\text{Hz}$.

Zeilensprungverfahren

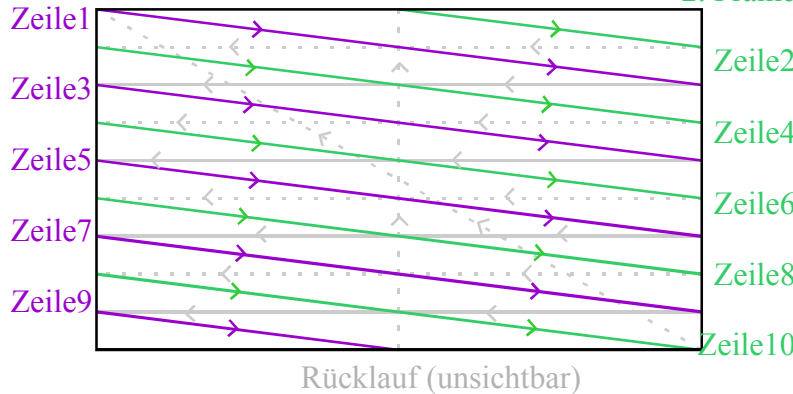
Während Bildverschmelzung schon bei Wiedergabe von 15 bis 20 Bildern pro Sekunde gewährleistet ist, genügen 25 Bilder je Sekunde nicht aus, um bei der Wiedergabe ein flimmerfreies Bild zu erzeugen. Dies rührt daher, daß die Zeilen nicht gleichzeitig projiziert werden, sondern die einzelnen Bildpunkte stets nacheinander geschrieben werden. Daher werden anstelle von 25fps (frames (= Vollbilder) per second) 50 Fields (= Halbbilder) pro Sekunde geschrieben. Die Flim-



merfrequenz verdoppelt sich dadurch von 25Hz auf 50Hz. Das Fernsehbild wird ruhiger und weitgehend flimmerfrei.

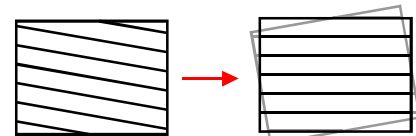
Ein Bild mit 625 Zeilen wird in zwei Fields von je 312,5 Zeilen aufgeteilt. Die beiden Teilbilder werden nach dem sogenannten Zeilensprungverfahren (interlace) ineinander verschachtelt (siehe Grafik).

1. Frame:



2. Frame

Rein technisch verlaufen die Zeilen also nicht waagrecht, sondern leicht schräg. Durch gedrehten Einbau der Röhre in Kameras und Fernseher wird dies behoben.



Im ersten Halbbild werden die ungeraden und im zweiten die geraden Zeilen beschrieben. Beide Teilraster sind ineinander verschachtelt, weil am Ende des ersten und zu Beginn des zweiten Fields jeweils eine halbe Zeile geschrieben wird.

geraden Zeilen beschrieben. Beide Teilraster sind ineinander verschachtelt, weil am Ende des ersten und zu Beginn des zweiten Fields jeweils eine halbe Zeile geschrieben wird.

Flimmerreduktion

Wir unterscheiden zwei Arten von Flimmerstörungen:

- Das 50Hz-Großflächenflimmern. Dies tritt vor allem bei großflächigen hellen Bildpartien auf. Man nimmt es zum Beispiel besonders dann wahr, wenn man einen Fernseher im Augenwinkel betrachtet.
- Das 25Hz-Kantenflimmern ist bedingt durch die ineinander versetzten Raster des Zeilensprungverfahrens. Der Effekt tritt bei horizontalen Linien, zum Beispiel der Netzkante bei einem Tennisspiel auf.

Die Flimmerstörungen lassen sich mit einem Bildspeicher durch mehrmaliges Auslesen der Bildinformationen weitestgehend beseitigen. Die Bildwiederholfrequenz wird von 50Hz auf 100Hz erhöht. Dies kann nach zwei Mustern erfolgen.

Im folgenden Beispiel besteht unser Bild aus einem schwarzen senkrechten Streifen auf einer hellen Fläche. A und B stehen für das Vollbild, das aus den Halbbildern 1 und 2 zusammengesetzt wird.

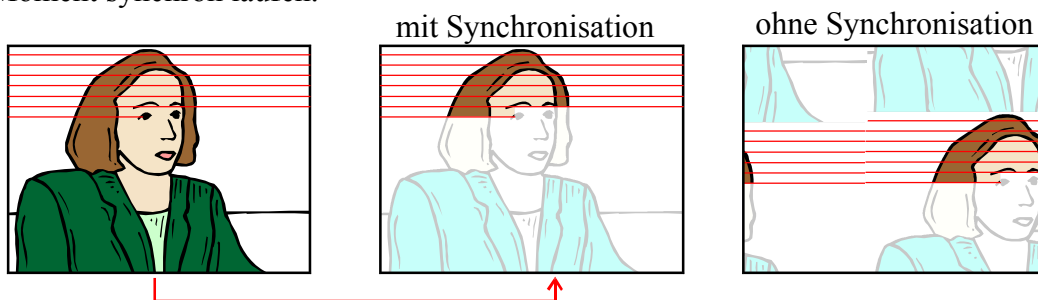
Darstellungsdauer	Standard 50Hz intarlace	100Hz A1A2A1A2	100Hz A1A1A2A2
10ms	A1	A1	A1
10ms	A2	A2	A1
10ms	A2	A1	A2
10ms	A2	A2	A2
10ms	B1	B1	B1
10ms	B2	B2	B1
10ms	B2	B1	B2
10ms	B2	B2	B2

In der gleichen Zeit, in der im Standard-50Hz-Verfahren also ein Halbbild geschrieben wird, werden bei den 100Hz-Geräten zwei Halbbilder geschrieben. Die Techniken unterscheiden sich in der Reihenfolge der dargestellten Halbbilder. Damit ergeben sich folgende Unterschiede:

	100Hz A1A2A1A2	100Hz A1A1A2A2
Großflächenflimmern	Durch hohe Wiederholrate beseitigt.	Durch hohe Wiederholrate beseitigt.
Kantenflackern	Beseitigt, da die Kanten jetzt mit 50Hz und nicht mehr mit 25Hz wiederholt werden	Immer noch vorhanden, da zwischen den Halbbildern A1 und B1 immer noch 40ms vergehen.
Bildspeicher	Es wird ein Vollbildspeicher benötigt	Ein Halbbildspeicher reicht aus.
Horizontale Bewegungen	Es treten Schmiereffekte auf, da nach dem zeitlich später aufgenommenen Halbbild A2 das zeitlich früher aufgenommene Halbbild A1 nochmals gezeigt wird.	Keine Probleme.

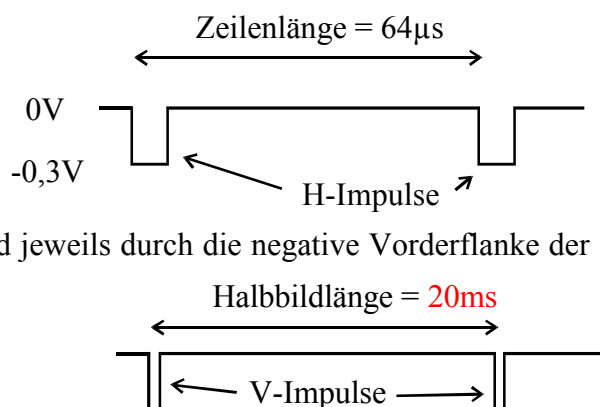
Synchronisation

Wird ein Fernsehbild von der Kamera abgetastet und gleichzeitig auf dem Bildschirm eines Empfängers wiedergegeben, so muß gewährleistet sein, daß Abtaststrahl und Schreibstrahl in jedem Moment synchron laufen.



H- und V-Impulse

Um Gleichlauf zwischen Abtast- und Schreibstrahl zu erzielen müssen vom Studio zum Empfänger Synchronsignale übertragen werden. Zum Übertragen des Zeilen-Rhythmus verwendet man einen H-Impuls mit der Frequenz 15625 Hz. Der V-Impuls zur Übertragung des Halbbild-Rhythmus hat eine Frequenz von 50Hz. Dabei wird jeweils durch die negative Vorderflanke der Impulse der Zeilen- bzw. Bildrücklauf ausgelöst.



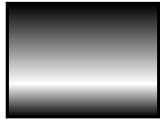
Austastung

In der Zeit des Zeilen- bzw. Bildrücklaufs darf im Bildsignal keine „Bildinformation“ vorhanden sein, damit der Rücklauf des Schreibstrahls im Empfänger unsichtbar bleibt. Das Bildsignal wird für diese Zeiten im Bildgeber ausgetastet, das heißt „dunkel steuert“.

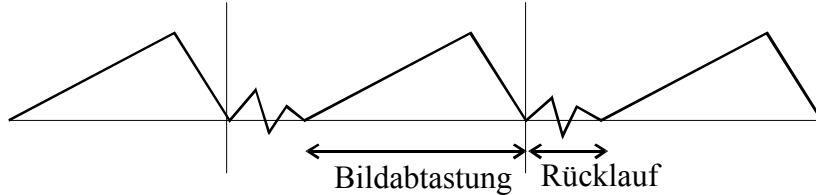
Das bei der Abtastung entstehende Bildsignal (B-Signal) ist also ein Bildsignal mit vorläufiger Austastung. In den Videoverstärkern der Bildgeber erfolgt durch das A-Signal die normgerechte Austastung. Aus dem B-Signal wird das BA-Signal.

Schematische Darstellung

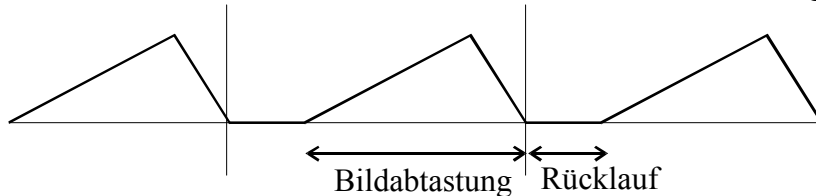
Dieses Bild wird abgetastet:



Der Lesestrahl gibt ein Bildsignal aus, was während dem Rücklauf gelesen wird, stört:



Im Videoverstärker wird während dem Rücklauf auf „dunkel“ geschaltet:



S-Signal

Um Bild- Austast- und Sync-Informationen auf einem Kanal übertragen zu können müssen die H- und V-Sync-Impulse zu einem Signal, dem S-Signal zusammengefaßt werden. Die S-Impulse werden in den Austastlücken übertragen. Das S-Signal kann zum BA-Signal addiert werden, ohne daß es im Bild stört, weil der S-Anteil immer negativ ist. Somit sind alle zur Bildübertragung notwendigen Informationen in ein Signal zusammengefaßt. Es entsteht das BAS-Signal:

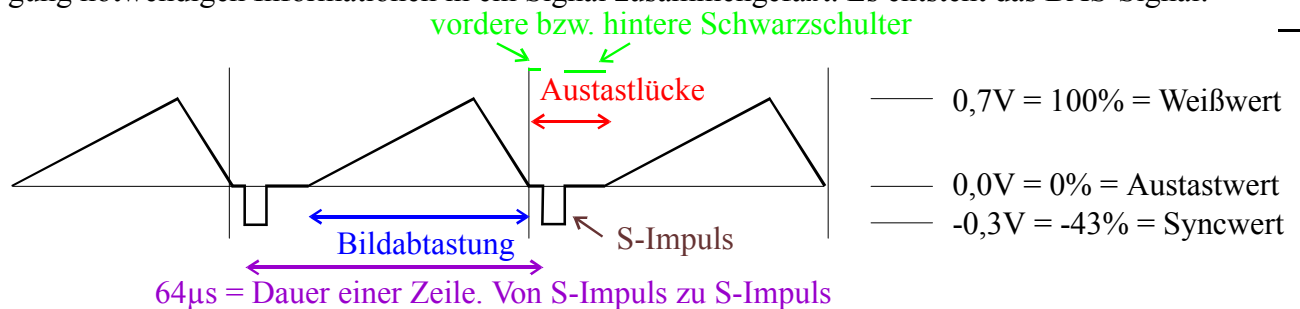
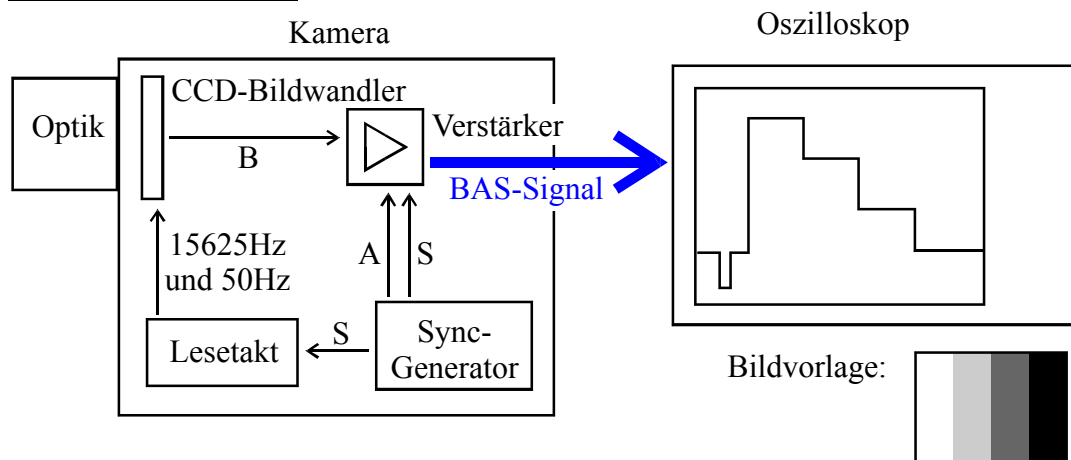


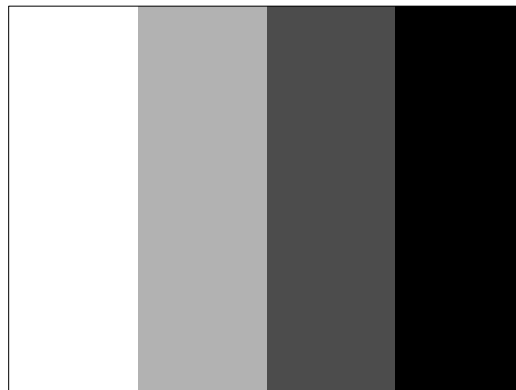
Bild und Bildsignal



Zur Beurteilung und Überwachung der Bildsignale werden im Fernsehstudio Oszillographen verwendet, deren Ablenkgeneratoren wahlweise mit der H- oder mit der V-Frequenz getriggert

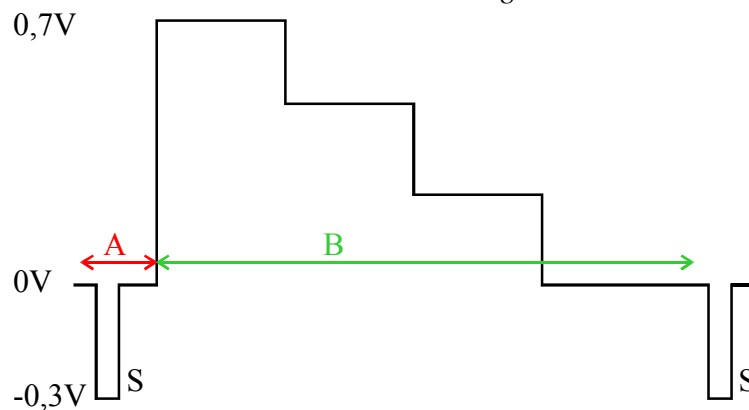
werden. Beim H-Oszillogramm wird die Signalspannung aller Zeilen übereinander geschrieben, das V-Oszillogramm zeigt die Spannung aller Zeilen eines Halbbildes nebeneinander.

Bildvorlage



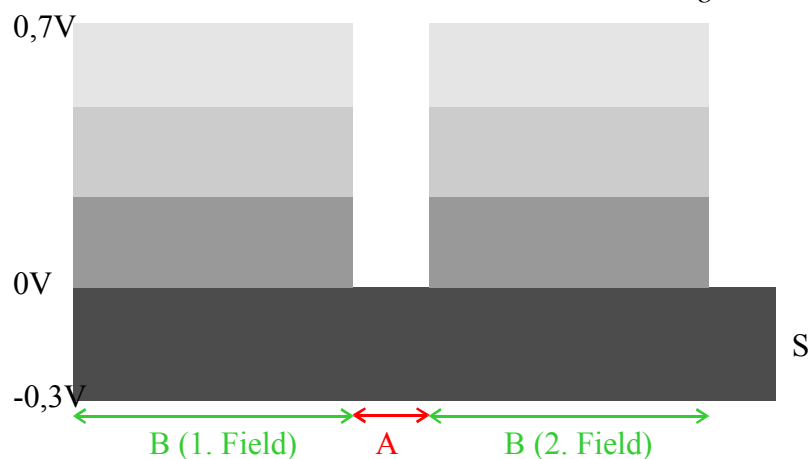
H-Oszillogramm

alle Zeilen werden übereinander geschrieben



V-Oszillogramm

alle Zeilen eines Frames werden nebeneinander geschrieben



Auflösung

Das Fernsehbild wird in folgende Dimensionen aufgelöst:

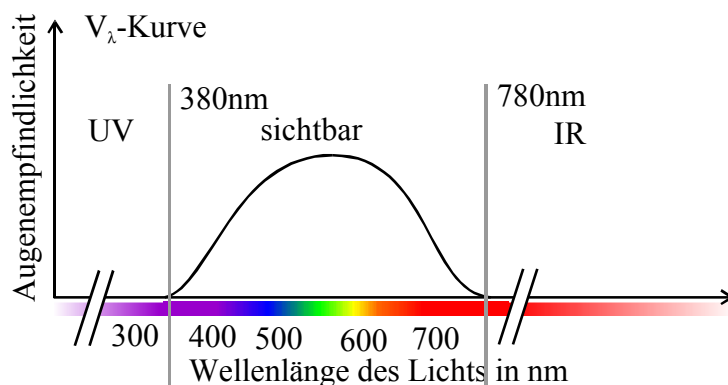
- Bildwechselfrequenz: 25Hz Vollbildfrequenz, bzw. 50Hz Halbbildfrequenz
- Auflösung in V-Richtung: 576 (sichtbare) Zeilen
- Auflösung in H-Richtung: läßt sich aus den bisher bekannten Angaben berechnen:
 - Die Maximale Auflösung in V-Richtung beträgt 576 Zeilen – es lassen sich maximal 576 abwechselnd weiße und schwarze Streifen darstellen.

- Durch das festgelegte Seitenverhältnis von 4:3 erhält man als gewünschte H-Auflösung $576 \cdot \frac{4}{3} = 768$. In einer Zeile sollten wir also 768 abwechselnd schwarze und weiße Punkte darstellen können
- Da schwarz die niedrigste Signalspannung und weiß die höchste Signalspannung hat, würde eine solche alternierenden Zeile also aus $576/2 = 288$ Grundschwingungen bestehen.
- Eine komplette Zeile wird innerhalb von $64\mu s$ geschrieben. Hiervon muß noch die Zeit für die Austastlücke ($12\mu s$) abgezogen werden. Also bleiben $52\mu s$ um den Inhalt einer kompletten Zeile zu schreiben.
- Somit erhalten wir eine Frequenz von $f = \frac{1}{t} = \frac{384}{52ms} \approx 7,4MHz$ für die Auflösung in H-Richtung.
- Diese Zahl ist zu optimistisch. Durch Leitungseigenschaften usw. ist die Maximale Auflösung begrenzt. Kell machte hierzu Experimente. Er stellte fest, daß man statt 576 Zeilen nur 400 Zeilen sauber übertragen kann. Damit erhält man schließlich eine Auflösung in H-Richtung von 5MHz.

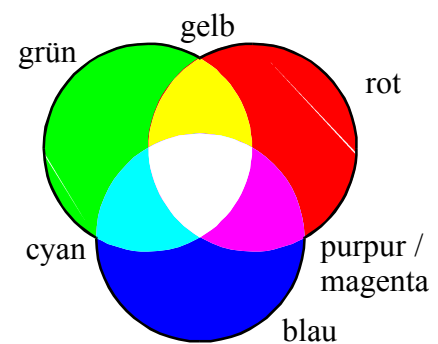
Anmerkung: Selbstverständlich werden im Fernseher nicht 400 sondern nach wie vor 576 Zeilen dargestellt. Allerdings hat das Bild in H-Richtung nicht die zu erwartenden 768 Bildpunkte, es können je Zeile nur etwa 520 Grundschwingungen dargestellt werden.

Farbe

Farbempfindung des menschlichen Auges



Additive Farbmischung



Beschreibung der Farbe über das HSB-Modell

Farbe läßt sich über verschiedene Farbsysteme beschreiben. In der Videotechnik verwendet man die Komponenten Farbton (= **H**ue), Sättigung (= **S**aturation) und Helligkeit (= **B**rightness). Farbton und Sättigung werden zusammen auch als Farbart oder Chroma bezeichnet.

- Der Farbton wird ausschließlich von der Wellenlänge der Lichtschwingung bestimmt.
- Die Sättigung gibt an, wie groß der Weißanteil einer Farbe ist.
- Die Helligkeit ist als Empfindung des Auges von Stärke und Farbe der Lichtquelle abhängig. ($V\lambda$ -Kurve)

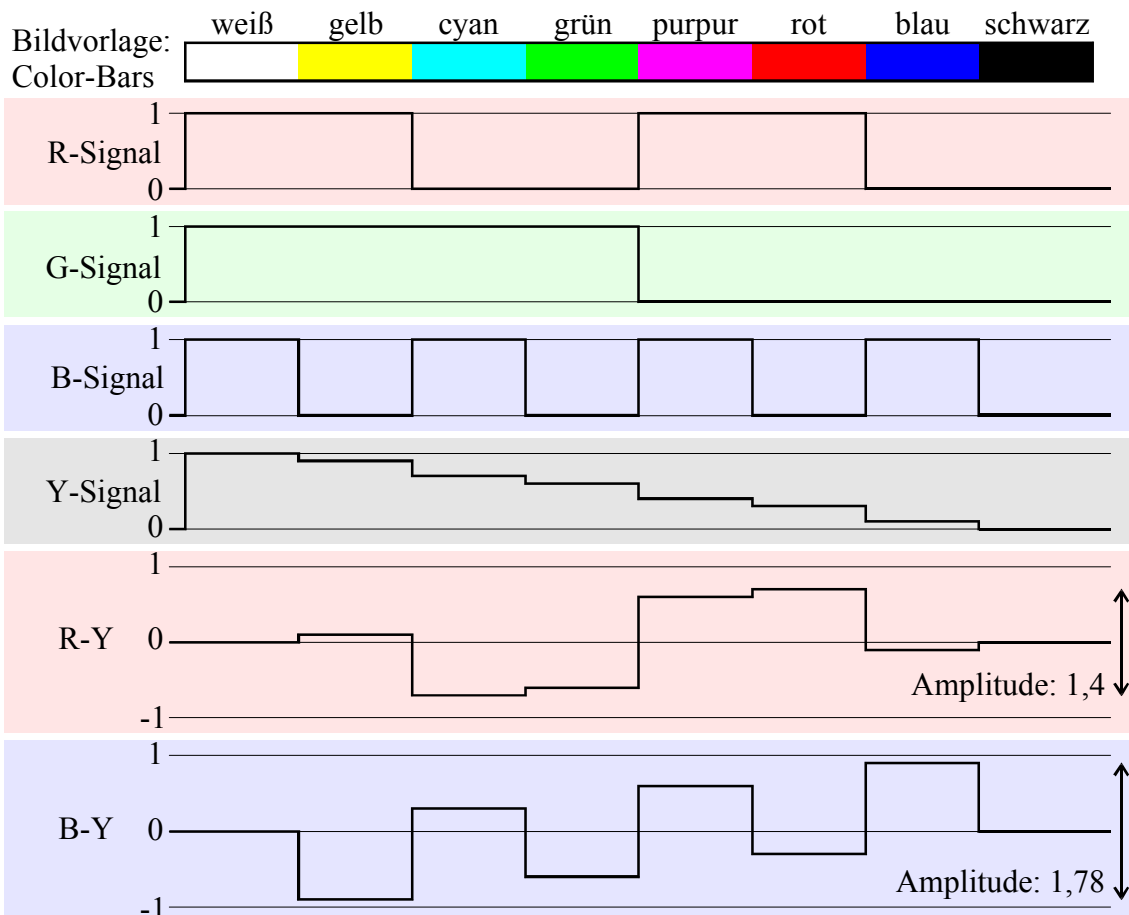


Das Helligkeitssignal

Das Helligkeitssignal (K- oder Y-Signal) muß aus dem RGB-Signal unter Berücksichtigung der spektralen Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges (V_λ -Kurve) errechnet werden. Man hat hierfür folgende Formel festgelegt:

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

Außer dem Helligkeits-Signal müssen noch zwei der drei möglichen Farbdifferenzen generiert werden. Gewählt wurden die beiden Signale mit der größeren Amplitude: R-Y und B-Y. G-Y wird nicht gebildet.



Reduzierte Farbdifferenzsignale

Die modulierten Farbdifferenzsignale R-Y und B-Y werden zusammen mit dem S-Signal dem Helligkeitssignal aufaddiert. Dabei können Pegel weit über 100% entstehen. Dies würde zu erheblichen Störungen führen. Deshalb müssen die Farbdifferenzsignale vor der Übertragung verkleinert und im Empfänger um das gleiche Verhältnis wieder vergrößert werden.

Man überträgt die Komponenten

Y... Helligkeitssignal

$U = 0,493 (B-Y)$

$V = 0,877 (R-Y)$

Sehr feine farbige Strukturen werden vom Auge nicht mehr farbig aufgelöst. Daher können die Farbdifferenzsignale in der Bandbreite reduziert werden (1,3MHz Bandbreite).

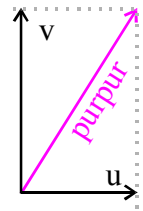
Vektorskop

Zur Farbbestimmung wird im Studio ein Vektorskop eingesetzt. An die horizontale Auslenkeinheit wird das R-Y-Signal angeschlossen, an die vertikale Auslenkeinheit das B-Y-Signal. Die Helligkeitsinformation kann man dem Vektorskop nicht entnehmen. Hierzu verwendet man ein Oszilloskop wie bei der Schwarz-Weiß-Technik.

Im Nebenstehenden Bild sind R-Y und B-Y dargestellt und nicht U und V. Deshalb erhalten wir kein Ei, sondern einen Farbkreis.

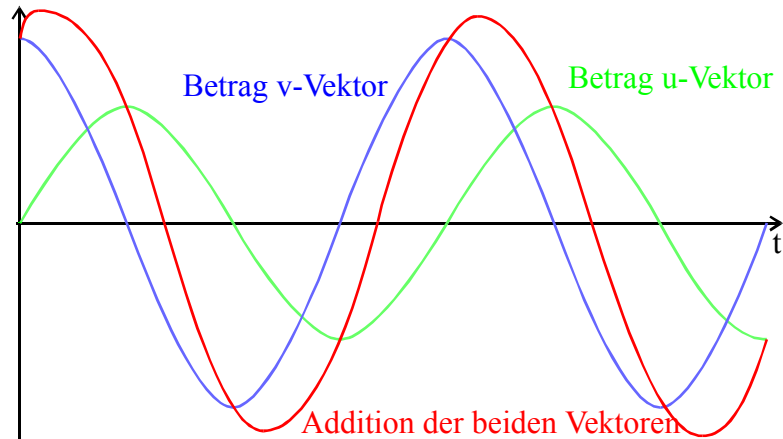
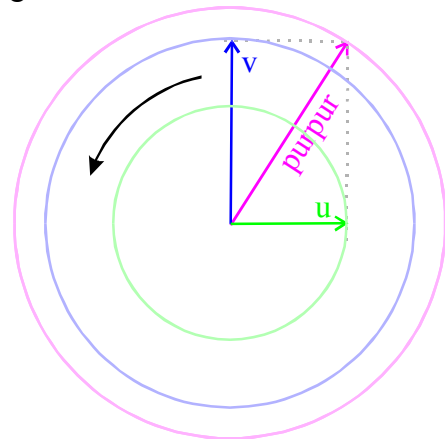
Farbträger

Zur Übertragung addiert man die U- und V-Signale einer Farbträgerfrequenz von 4,43MHz phasenverschoben auf.

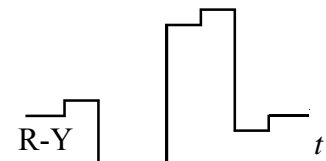
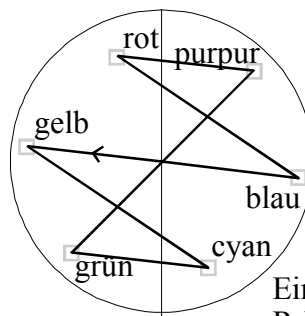


Das Zeigerdiagramm für die Farbe Purpur sieht zum Beispiel wie nebenstehend aus. Die beiden Vektoren u und v läßt man nun mit 4,43MHz „um den Mittelpunkt kreisen“ und addiert die Amplituden in jedem Moment. Damit erhält man folgendes Signal:

Signal:



Vektorskop



Eingangssignale
R-Y und B-Y:
Farbbalken.

Das Vektorskop bildet aufgrund der verschiedenen Faktoren für R-Y und B-Y ein „Ei“ und keinen Farbkreis.

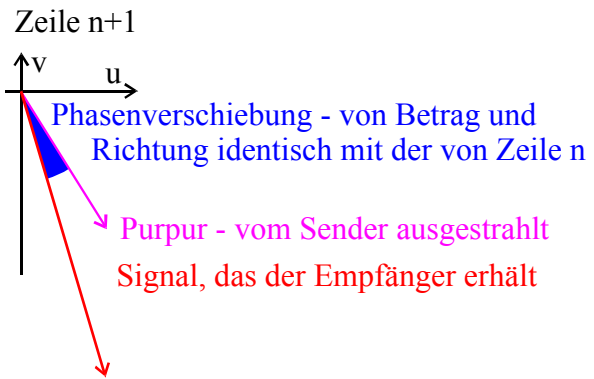
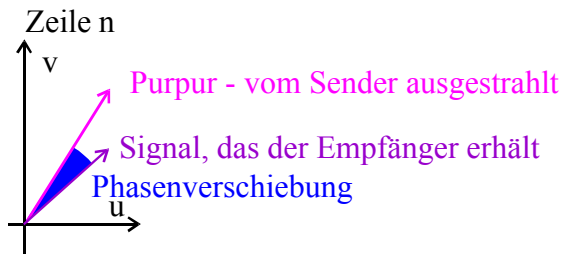
Bezugspunkt

Damit der Empfänger die Farbarteninformationen von der Trägerwelle des Helligkeitssignals wieder differenzieren kann, wird in der Austastlücke auf die hintere Schwarzscheule eine Schwingung bestimmter Amplitude, Frequenz und Phase aufgebracht, die als Bezugswert für die Farbarten-Schwingungen. Schwingungen werden Burst genannt. Der Burst dient also als Phasen- und Amplitudenreferenz des Farbarten-Signals. Der Burst ist zehn bis zwölf Grundschwingungen lang.

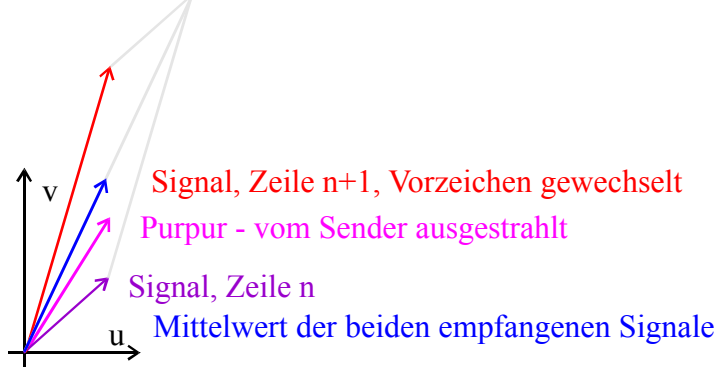
Farbtreue bei PAL

Um die Verschiebung des Farbtone durch die Übertragung zu minimieren, verwendet man bei der Übertragung in Europa den PAL-Standard (PAL = Phase-Alternating-Line).

Hierbei werden die Farbvektoren zweier nacheinander gesendeter Zeilen (also zum Beispiel Zeile 412 und 414) abwechselnd mit positiven und negativem Vorzeichen gesendet. Der Empfänger vergleicht die Signale und verwendet davon den Mittelwert. Durch dieses Vorgehen wird die Phasenverschiebung, die durch die Übertragung entstehen kann und eine Verschiebung der Farbarten zur Folge hätte minimiert:



Mittelwert der Zeilen n und n+1



Der Mittelwert ist zwar nicht exakt mit dem Ursprünglichen Vektor überein, ist allerdings genauer als die beiden einzeln übertragenen.

Für diese Optimierung nimmt man eine Halbierung der Farbauflösung in vertikaler Richtung in Kauf.