

# 1. Videobildbeschreibung

## 1.1 Bildfeldzerlegung

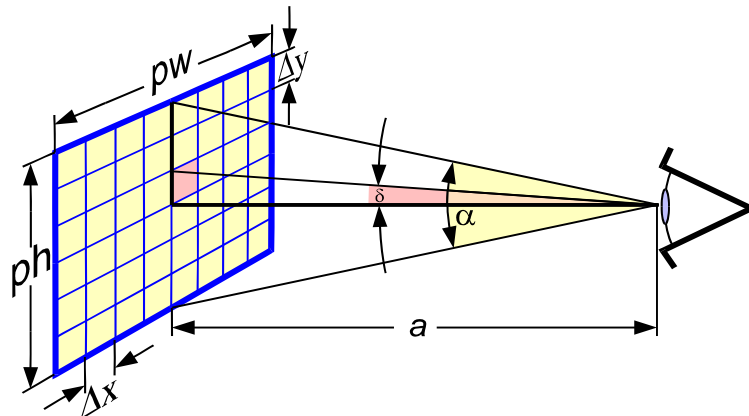
Eine Szene wird in der Videotechnik durch eine Videokamera zeilenweise abgetastet und nach Übertragung auf einem Monitor entsprechend wiedergegeben. Kriterium für die notwendige Anzahl der Zeilen ist das Modell einer Bildbetrachtung, bei der in einem Abstand  $a$  zwischen Monitor und Auge zwei benachbarte Zeilen gerade nicht mehr vom Betrachter einzeln wahrgenommen werden und zu einer kontinuierlichen Fläche verschwimmen.

Ähnlich wie in der akustischen Wahrnehmung mit einer typischen maximalen Frequenz von ca. 20 kHz existiert beim Sehen eine Grenze der Auflösung, die über einen minimalen Raumwinkel von  $\delta = 1,5'$  (Winkelminuten) beschrieben wird, bei dem zwei benachbarte Lichtpunkte beim Betrachter gerade zu einem Punkt zu verschmelzen scheinen.

Benachbarte Zeilen sollten daher mindestens unter diesem Raumwinkel gesehen werden, da ansonsten die Zeilenstruktur eines Videobildes erkennbar ist und störend wirkt. Denkt man sich in Zeilenrichtung weiterhin das Bild in einzelne Punkte zerlegt, ergibt sich eine zweidimensional gerasterte Wiedergabe.

Diese Bildpunkte werden englisch *Picture Elements* oder abgekürzt *Pixel* genannt. Grundsätzlich können die Pixelabmessungen mit  $\Delta x$  und  $\Delta y$  durchaus unterschiedlich groß sein. Im folgenden ist aber zunächst von quadratischen Bildpunkten auszugehen, so dass sich der Zeilenabstand  $\Delta y$  identisch mit dem horizontalen Bildpunktabstand  $\Delta x$  ergibt.

### Grenzauflösung des Auges:



mit  $pw$  - sichtbare Bildbreite (picture width)  
 $ph$  - sichtbare Bildhöhe (picture height)

**Grenzauflösungswinkel:**  $\delta = 1,5'$

**Typischer**

**Betrachtungsabstand:**  $a = (4...5) \cdot ph$  (4...5 mal Bildhöhe)

**Zeilenzahl:**

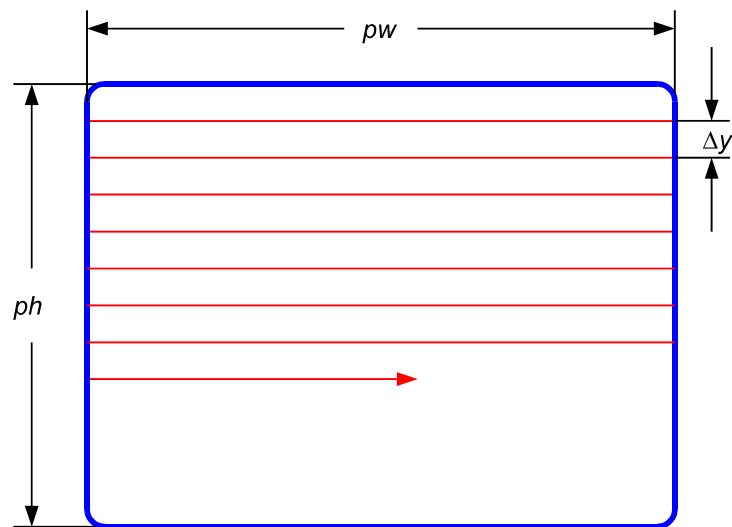
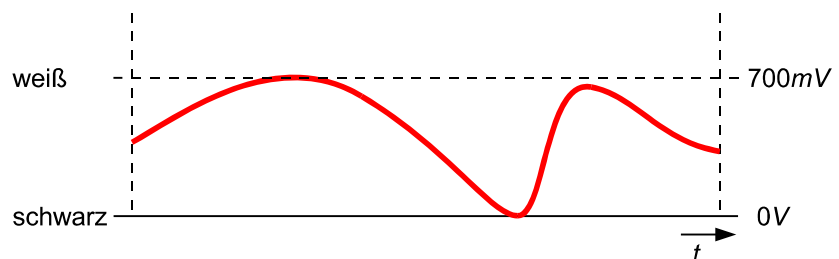
$$z = \frac{ph}{\Delta y} = \frac{ph}{a} \cdot \frac{a}{\Delta y} = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\delta)} \approx \frac{\alpha}{\delta}$$

Die Zeilenstruktur wird vom Auge gerade nicht mehr wahrgenommen (Grenzauflösung).

Mit dem typischen Betrachtungsabstand von ca. 4...5 x Bildhöhe  $ph$  ergibt sich ein Betrachtungswinkel von ca.  $\alpha \approx 15^\circ$  und damit die endgültig notwendige Zeilenzahl

$$z \approx \frac{\alpha}{\delta} = \frac{15^\circ}{1,5'} = \frac{15}{1,5} \cdot 60 = 600$$

Die elektronische Darstellung eines Bildes erfolgt durch das zeilensequentielle Abtasten von links nach rechts und von oben nach unten, indem die Helligkeit je nach Grauwert als Spannung zwischen 0 und  $0,7V = 700mV$  beschrieben wird.

**Bildabtastung:****Zeilensignal:**

Das resultierende Videosignal entspricht also in zeitlicher Richtung der horizontalen Helligkeitsverteilung in einer Zeile. Vertikal benachbarte Zeilen werden dabei zeitlich nacheinander übertragen.

Zur Festlegung der notwendigen Übertragungsbandbreite eines Videosignals ist die Berechnung der oberen Grenzfrequenz erforderlich. Hierzu muss zunächst das Bildseitenverhältnis bekannt sein, mit der dann auch die Gesamtzahl der Pixel eines Bildes festliegt.

**Bildseitenverhältnis:**  $pw : ph = 4 : 3$  (beim klassischen Standardsystem, aktuell auch 16 : 9)

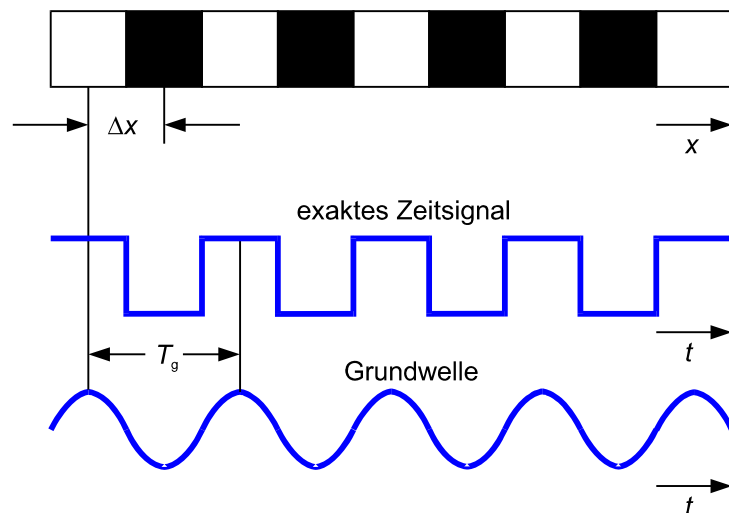
**Pixel pro Zeile:**  $\rho_x = z \cdot \frac{pw}{ph}$

**Pixel pro Bild:**

$$\rho = \rho_x \cdot z = z^2 \cdot \frac{pw}{ph} \quad \text{also ca. } \rho = 600^2 \cdot \frac{4}{3} = 480000$$

**Videobandbreite:**

Die höchste Signalfrequenz ergibt sich, wenn abwechselnd die horizontal benachbarten Bildpunkte schwarz und weiß auftreten. Zwei Punkte beschreiben dann eine Grundwelle, die die maximale Signalfrequenz bzw. Bandbreite oder Grenzfrequenz darstellt.



**Zeitliche Periode:**

$$T_g = 2 \cdot \frac{T_H}{\rho_x} = 2 \cdot \frac{T_H}{z \cdot \frac{pw}{ph}} \quad \text{mit } T_H - \text{Zeilendauer}$$

**Grenzfrequenz:**

$$f_g = \frac{1}{T_g} = \frac{1}{2} \cdot z \cdot \frac{pw}{ph} \cdot f_H \quad \text{mit } f_H = \frac{1}{T_H} \text{ (Zeilenfrequenz)}$$

Die Videogrenzfrequenz hängt damit neben der Zeilenzahl und dem Bildseitenverhältnis vor allem von der Zeilenfrequenz ab. Vordergründig ist allerdings nicht die Zeilenfrequenz von Bedeutung, sondern die Bildfrequenz, d.h. die Anzahl der Einzelbilder pro Sekunde (vergleichbar mit dem Film). Der Zusammenhang zwischen Zeilen- und Bildfrequenz lässt sich einfach über die entsprechenden reziproken Größen Zeilendauer und Bilddauer angeben, denn die Bilddauer entspricht anschaulich der Zeilendauer multipliziert mit der Anzahl der Zeilen.

**Bildfrequenz:**  $f_B = \frac{1}{T_B}$  mit  $T_B$  - Bilddauer

**Zeilenfrequenz:**  $f_H = \frac{1}{T_H}$  mit  $T_H$  - Zeilendauer

**Zusammenhang:**  $T_B = z \cdot T_H$  bzw.  $f_H = z \cdot f_B$

Mit dieser Beziehung lässt sich schließlich die Videogrenzfrequenz vor allem in Abhängigkeit von der Bildfrequenz und der Gesamtpixelzahl  $\rho$  angeben.

**Grenzfrequenz:**  $f_g = \frac{1}{2} \cdot z^2 \cdot \frac{pw}{ph} \cdot f_B = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f_B$

Diese Grenzfrequenzformel wird im folgenden Kapitel noch ergänzt durch die Berücksichtigung der Einflüsse von Austastung und Kellfaktor. Mit der oben stehenden Grundformel lässt sich jedoch schon gut der Bandbreitebedarf eines Videosystems angeben. Dies ist darüber hinaus nicht auf Fernsehen beschränkt, sondern gilt auch für PC-Monitore, die mit sehr unterschiedlichen Grafikstandards betrieben werden. Die folgenden Beispiele nutzen gemeinsam ein Seitenverhältnis von 4:3.

### Beispiele:

<b>Video:</b>	Zeilenzahl $z=625$ Bildfrequenz $f_B=25\text{Hz}$	$f_g = \frac{1}{2} \cdot 625^2 \cdot \frac{4}{3} \cdot 25\text{Hz} = \underline{\underline{6,51\text{MHz}}}$
<b>PC Standard VGA:</b> (640 x 480)	Zeilenzahl $z=480$ Bildfrequenz $f_B=60\text{Hz}$	$f_g = \frac{1}{2} \cdot 480^2 \cdot \frac{4}{3} \cdot 60\text{Hz} = \underline{\underline{9,22\text{MHz}}}$
<b>PC Standard SVGA:</b> (1024 x 768)	Zeilenzahl $z=768$ Bildfrequenz $f_B=85\text{Hz}$ (typ.)	$f_g = \frac{1}{2} \cdot 768^2 \cdot \frac{4}{3} \cdot 85\text{Hz} = \underline{\underline{33,42\text{MHz}}}$

## 1.2 Europäische Videonorm

In Europa hat man sich recht eng an die im vorangegangenen Kapitel ermittelte Zeilenzahl angelehnt und mit  $z = 625$  eine genügend feine Zeilenstruktur sichergestellt, die bei Einhaltung eines typischen Betrachtungsabstandes vom Bildschirm keine Zeilenstörungen mehr erwarten lässt. Wegen der weiter unten noch zu behandelnden Austastung sind zwar tatsächlich nur 576 Zeilen sichtbar, dennoch ist die Anpassung an die Grenzauflösung des Auges im wesentlichen gegeben.

Der weitere wichtige Systemparameter Bildfrequenz wurde mit  $f_B = 25\text{Hz}$  eng an die Bildfrequenz des Films ( $24\text{Hz}$ ) angelehnt. Die  $25\text{Hz}$  wurden gewählt, um eine feste Verkopplung mit der Netzfrequenz von  $50\text{Hz}$  sicherzustellen, so dass keine Probleme bei Aufnahmen mit Scheinwerferlicht in Form von Schwebungen und Differenzfrequenzen auftreten können. Trotzdem ist eine ausreichende Anpassung bei Filmwiedergabe im Fernsehsystem gegeben, indem ein Film statt mit 24 etwas schneller mit 25 Bildern pro Sekunde abgetastet wird. Der etwas schnellere Bewegungsablauf ist praktisch nicht wahrnehmbar.

Die europäische Videonorm stellt sich zusammenfassend folgendermaßen dar:

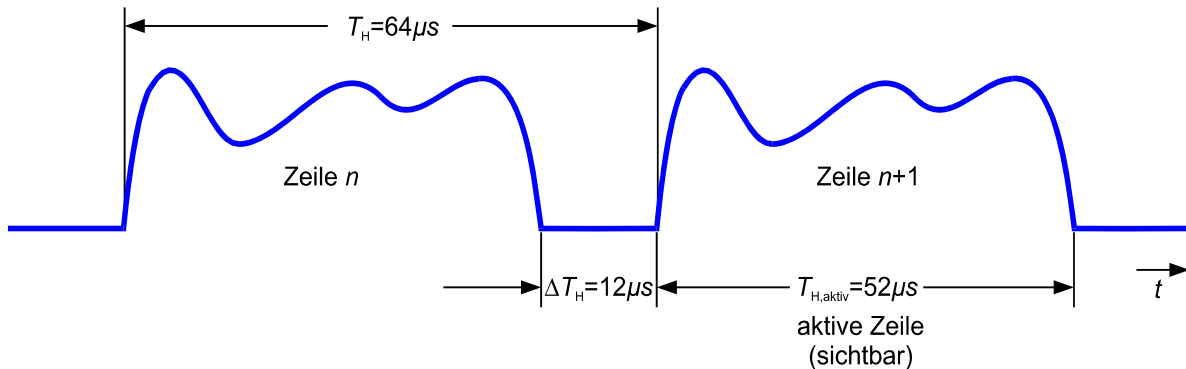
<u>Europäische Videonorm</u>	
<b>Zeilenzahl:</b>	$z = 625$
<b>Zeilenfrequenz:</b>	$f_H = 15,625\text{ kHz}$
<b>Zeilendauer:</b>	$T_H = 1/f_H = 64\ \mu\text{s}$
<b>Bildfrequenz:</b>	$f_B = 25\text{ Hz}$
<b>Bilddauer:</b>	$T_B = 1/f_B = 40\text{ ms}$
<b>Seitenverhältnis:</b>	$pw/ph = 4/3$

**Austastlücken:** Beim Schreiben des Videobildes benötigt der Elektronenstrahl im Monitor eine bestimmte Zeit für den Rücksprung vom Ende der geschriebenen Zeile an den Anfang der nächsten Zeile. Entsprechendes gilt vertikal von Bildende zum Bildanfang. Diese notwendigen Zeiten werden als horizontale bzw. vertikale Austastlücke -sozusagen als Wartezeiten- in das Videosignal eingebettet.

**horizontale Austastlücke:**  $\Delta T_H = 0,1875 T_H = 12\ \mu\text{s}$

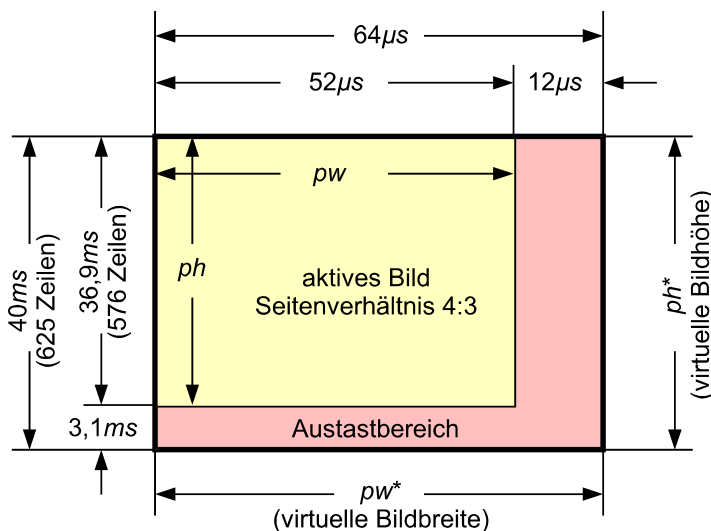
**vertikale Austastlücke:**  $\Delta T_B = 0,08 T_B = 3,2\text{ ms}$  (entspricht 50 Zeilen)

Ein Ausschnitt aus einem Videosignal mit horizontaler Austastlücke ergibt sich dann folgendermaßen:



Mit einem angenommenen Testdisplay, das in der Lage ist, neben der aktiven Zeile auch die folgende Austastzeit in Form eines schwarzen Streifens rechts vom Bild wiederzugeben, würde sich eine neue effektive Bildbreite ergeben. Vertikal würden die ausgetasteten Zeilen ebenfalls als schwarzer Bereich unterhalb des normalen Bildes sichtbar. Ein solches Display müsste dann natürlich ohne zusätzlichen Zeitbedarf den Bildaufbau vom Ende der Zeile zum Anfang der nächsten unmittelbar sicherstellen. Dies könnte praktisch mit einem Flachbildschirm realisiert werden, der keine elektromagnetische Ablenkung eines Elektronenstrahls nutzt.

Das auf dieser Basis resultierende Bild ist nun größer als das ursprünglich sichtbare und beinhaltet wegen der neuen virtuellen Bildbreite  $pw^*$  und virtuellen Bildhöhe  $ph^*$  entsprechen ein virtuelles Bildseitenverhältnis, das von der Größe 4:3 abweicht.



Virtuelle Bildbreite  $pw^*$ :

$$pw = \frac{52 \mu s}{64 \mu s} \cdot pw^* = 0,8125 \cdot pw^*$$

$$pw^* = \frac{pw}{0,8125}$$

Virtuelle Bildhöhe  $ph^*$ :

$$ph = \frac{576 \text{ Zeilen}}{625 \text{ Zeilen}} \cdot ph^* = 0,92 \cdot ph$$

$$ph^* = \frac{ph}{0,92}$$

**virtuelles Seitenverhältnis:**

$$\frac{pw^*}{ph^*} = \frac{pw}{0,8125} \cdot \frac{0,92}{ph} = \frac{pw}{ph} \cdot 1,13$$

Gemäß Abtasttheorem sind zur fehlerfreien Darstellung eines Signals durch diskrete Abtastwerte mindestens zwei Samples pro Schwingungsperiode erforderlich. Auf die vertikale Bildrasterung durch Zeilen übertragen bedeutet dies, dass 1 Linienpaar (eine schwarze und eine weiße Linie) mindestens durch 2 Zeilen abgetastet werden muss.

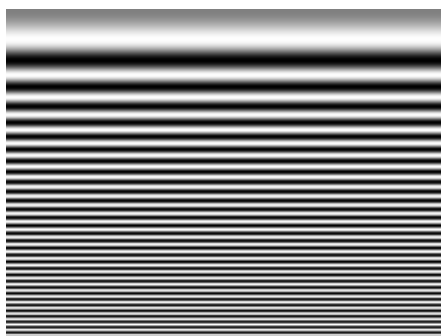
Aus der Abtasttheorie ist das Problem bekannt, dass dieser Grenzfall praktisch nicht erreicht werden kann. In der Videotechnik liegt der Fall sogar noch ungünstiger als in einem normalen Abtastsystem, da in vertikaler Richtung keine Vor- und Nachfilter verwendet werden, um ggf. Abtastfehler (Alias) und Oberwellen zu unterdrücken. Ein Vorfilter müsste in der Kamera im optischen Bereich *vor* der Zeilenabtastung eine definierte vertikale Unschärfe erzeugen (Bandbegrenzung). Als Nachfilter müsste eine ebenfalls optisch wirkende Einheit auf dem Bildschirm des Monitors die Zeilenstruktur verwischen.

Die beschriebenen Probleme führen dazu, dass mit 100 Zeilen nur ca. 33 Linienpaare anstelle von theoretisch maximal 50 Linienpaaren subjektiv fehlerfrei abgetastet dargestellt werden können. Bei mehr als 33 Linienpaaren treten störende Moiré-Störungen (Schwebungen) im Bild auf. Diese Reduktion der praktisch nutzbaren Auflösung von 50 auf 33 Linienpaare bezogen auf 100 Zeilen entspricht dem Kell-Faktor:

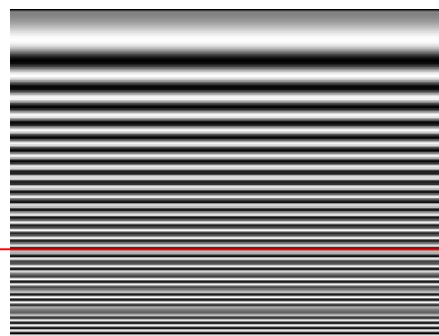
**Kell-Faktor:**

$$k \approx 0,67$$

**Prinzipielle Darstellung des Kell-Faktors mit Testbild „Vertikaler Sweep“:**



Original ohne Zeilenabtastung



Einfluss der Zeilenzerlegung

Störungsfreie  
Wiedergabe  
für ca. 67%  
der Bildhöhe

Störung durch  
Schwebungen

Die resultierende Bandbreite des Videosignals muss sowohl die Austastlücken als auch den Kell-Faktor berücksichtigen.

Durch die Austastlücken wird das Bild auf die virtuelle Bildgröße  $p_w^* \cdot p_h^*$  erweitert. Für die Bandbreiteberechnung muss daher auch eine entsprechend höhere Bildpunktzahl zugrunde gelegt werden.

Da die vertikale Auflösung durch die genannten Moiré-Störungen um den Kell-Faktor geringer ausfällt, muss dies konsequenterweise auch in horizontaler Richtung angepasst werden. Andernfalls wäre die horizontale Auflösung höher als die vertikale, was nicht zu rechtfertigen wäre. Aus der Horizontalauflösung leitet sich letztlich die elektrische Video-Grenzfrequenz bzw. die Video-Bandbreite ab.

**Bandbreiteformel:**

$$f_{gr} = \frac{1}{2} \cdot z^2 \cdot \frac{p_w}{p_h} \cdot f_B \cdot 1,13 \cdot k \approx 5MHz$$

Die Bildfrequenz von  $25Hz$  reicht zwar für eine halbwegs gute Bewegungsauflösung (vgl. Film mit 24 Bildern pro Sekunde), führt jedoch zu einer nicht tolerierbaren großflächigen Flimmerstörung. Genau betrachtet ist dies ein Monitorproblem. Durch den Einsatz von Bildspeichern mit höherer Ausleserate der Bilder kann das Flimmern vermieden werden. Auch der Displaytyp kann das Flimmern prinzipiell unterdrücken (z.B. LCD).

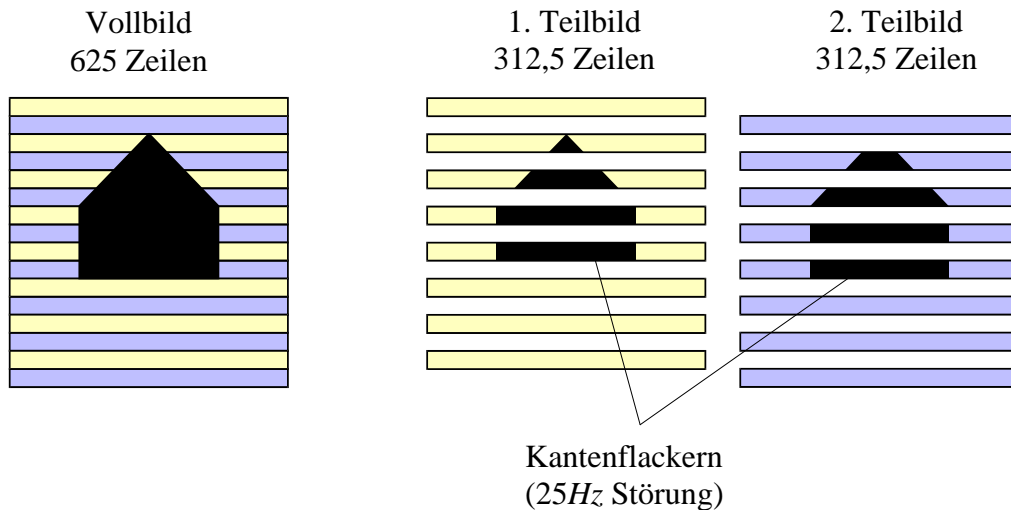
Historisch bedingt tastet man dagegen die Bilder bereits in den Kameras teilbildweise mit jeweils halber Zeilenzahl ab. Die beiden Teilbildraaster sind ineinander verkämmt. Pro Bild - man spricht auch von Vollbild (englisch: *frame*) - werden also zwei Teilbilder (englisch: *field*) übertragen und schließlich auf dem Monitor wiedergegeben. Da die Teilbildfrequenz mit  $50Hz$  doppelt so hoch wie die Bildfrequenz ausfällt, wird die Flimmerstörung stark reduziert.

Als positiver Nebeneffekt ergibt sich eine ebenfalls verdoppelte Bewegungsauflösung. Hier tritt ein markanter Unterschied zum Film auf: Schwenks müssen bei Filmproduktionen sehr langsam ausgeführt werden (Ruckeln der Szene), während Videoaufnahmen diesbezüglich absolut unkritisch sind.

Negativ macht sich an vertikalen Sprüngen (Kanten parallel zur Zeilenstruktur) eine verbliebene  $25Hz$ -Flimmerstörung als sogenanntes Kantenflackern bemerkbar, da in diesen Bildbereichen die Verkämmung der Teilbildraaster sichtbar wird. Zeilendauer und Zeilenfrequenz ändern sich durch die Teilbildzerlegung nicht (Teilbild: halbe Zeilenzahl in halber Zeit).

Beim Film wird übrigens ebenfalls durch Verdopplung der Bildfrequenz ein Flimmern bei der Projektion verhindert, indem eine Flügelblende im optischen Strahlengang den Film einmal beim Bildwechsel und ein zweites Mal mitten im Bild unterbricht. Es resultiert daher ein Flimmern von  $48Hz$  beim Film, das wegen der relativ geringen Helligkeit einer Kinoprojektion subjektiv nicht stört.

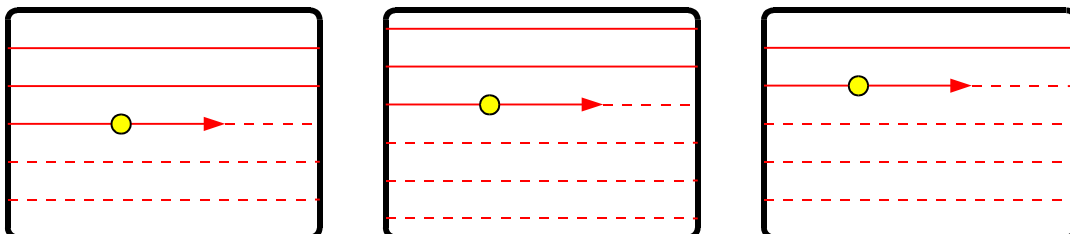


**Zeilensprung (englisch: *interlace*):**

- Vorteile Zeilensprung:**
- Verdopplung des Großflächenflimmern von 25Hz auf 50Hz bei gleichbleibender Videobandbreite und Zeilenfrequenz
  - verdoppelte Bewegungsauflösung mit 50Hz

- Nachteile Zeilensprung:**
- an horizontal verlaufenden Kanten (in vertikaler Richtung verlaufende Helligkeitssprünge) verbleibende 25Hz Flimmerstörung (Kantenflackern)
  - Zeilenwandern in Flächen (siehe folgende Erläuterung)
  - Abgespeicherte Vollbilder enthalten bei Objekten ausgerissene Kanten (siehe Kapitelende)

In Flächen konstanter Helligkeit stellt sich mit dem Zeilenwandern ein typischer Effekt des Zeilensprunges dar, der eine stroboskopartige Nachführung des Auges mit dem geschriebenen Zeilenraster bewirkt:



Das Auge fixiert eine Zeile (gelber Punkt). Diese Zeile bzw. dieser Punkt erscheint ein Teilbild später etwas weiter nach oben verrutscht zu sein (durch das verschobene Raster). Das Auge folgt automatisch der Position und empfindet im nächsten Teilbild wiederum eine nach oben verschobene Lage. Subjektiv ergibt sich der Effekt, dass die betrachtete Zeile nach oben zu wandern scheint. Dabei wird in der Nachbarschaft das Teilbildraster mitlaufend empfunden

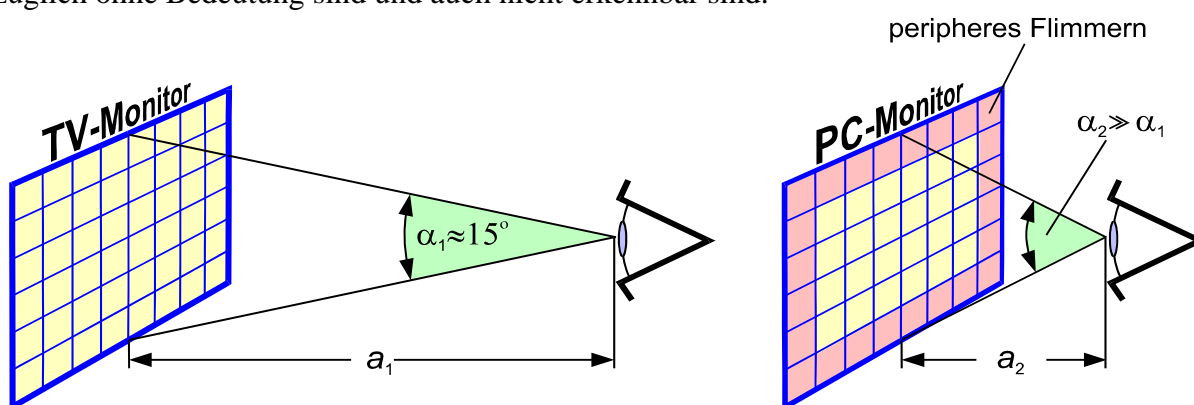
den, also ein Raster mit Teilbildzeilenanzahl (312,5 Zeilen, doppelter Zeilenabstand). Das Zeilenwandern erkennt man allerdings meist erst bei sehr geringem Betrachtungsabstand zum Bildschirm, es stört bei normaler Entfernung i.a. kaum.

### Randbemerkungen zur subjektiven Flimmerwahrnehmung des Auges

Flimmern wird mit zunehmender Frequenz der Helligkeitsänderung immer weniger störend wahrgenommen. Es ergibt sich hier eine Art Tiefpasseigenschaft des Auges vergleichbar der Auflösung von feinen Details oder dem Hören hoher Tonfrequenzen. Zusätzlich ist die Flimmerempfindung nichtlinear von der zugehörigen Helligkeit abhängig. Je dunkler eine flimmernde Lichtquelle ist, desto weniger wird das Flimmern stören. Dies ist der Grund, warum im Kino die dort vorliegende  $48\text{Hz}$  Flimmerstörung bei der relativ lichtschwachen Projektion unproblematisch ist. Beim Fernsehen werden hingegen  $50\text{Hz}$  Großflächenflimmern schon als leichte Störung wahrgenommen, weshalb heutzutage Fernseher mit  $100\text{Hz}$  Teilbildfrequenz immer größere Bedeutung erlangen (Einsatz von Bildspeichern).

Dennoch fällt auf, dass im Bereich der PC-Monitore eine Bildwiederholrate von sogar  $60\text{Hz}$  als absolut unzureichend empfunden wird, während das europäische  $50\text{Hz}$  Fernsehsystem jahrzehntelang akzeptiert wurde. Der Grund liegt in der wiederum nichtlinearen Abhängigkeit der Flimmerempfindlichkeit des Auges vom Raumwinkel.

Im zentralen Sehen (kleiner Betrachtungswinkel, fernsehtypisch) weist das Auge eine gute Auflösung bei geringerer Flimmerempfindlichkeit auf. Im sogenannten peripheren Sehen (großer Raumwinkel, z.B. geringer Abstand zum PC-Monitor) ist die Auflösung am Rand schlecht, jedoch eine hohe Flimmerempfindlichkeit gegeben. Dies basiert auf typischen Schutzmechanismen, indem auf eine Gefahr von der Seite (Helligkeitsänderung durch Objekt) schnellstmöglich reagiert werden muss, wohingegen feine Details im Augenwinkel diesbezüglich ohne Bedeutung sind und auch nicht erkennbar sind.



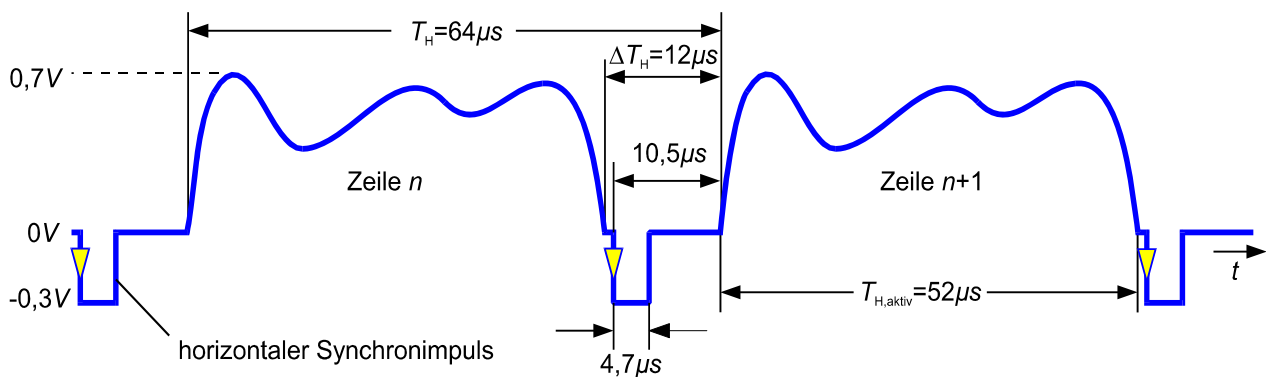
**Einfluss unterschiedlicher Betrachtungsabstände  
auf die resultierende Flimmerwahrnehmung**

## Videosignalaufbau

Das Signal besteht aus dem eigentlichen Bildanteil **B**, dem Austastbereich **A** und dem Synchronsignal **S**. Daher leitet sich die Bezeichnung **BAS**-Signal ab (ein Farbfernsehsignal, das zusätzlich eine Farbinformation beinhaltet, heißt **FBAS**-Signal).

Das horizontale Synchronsignal, das zwischen den Zeilen eingefügt wird, dient der Steuerung des Zeilenstarts bei der Wiedergabe, das vertikale Synchronsignal zwischen den Teilbildern markiert den Vollbild- bzw. Teilbildanfang.

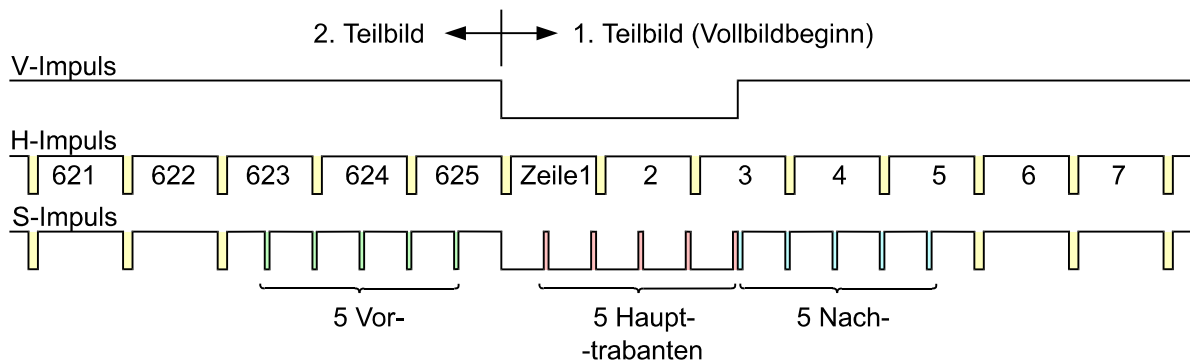
Der Aussteuerungsbereich liegt für den Bildanteil zwischen 0V für schwarz und 0,7V bei weiß. Das Synchronsignal wird negativ von 0V nach -0,3V getastet. Die maßgebliche Impulsflanke für die horizontale Synchronisation ist dabei die negative Flanke.



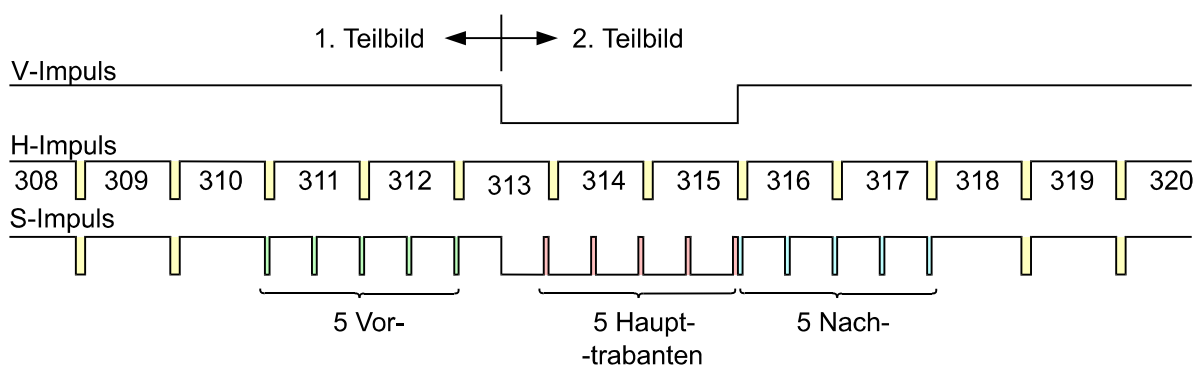
Die vertikale Synchronisation wird zusammen mit der horizontalen Synchronimpulsfolge zu einem gemeinsamen Synchronsignal, kurz **S**, zusammengefasst. Neben der Integration im Signal (siehe oben) wird insbesondere im Studio auch ein separates **S** parallel zu einem **BA**-Signal (nur Bild- und Austastanteil) verwendet.

Der Aufbau des Synchronsignalgemisches mit H- und V-Anteil ist im Bereich der vertikalen Austastlücke mit einigen Zusatzimpulsen, den Vor-, Haupt- und Nachtrabanten versehen. Dabei wird sichergestellt, dass die maßgebliche negative H-Flanke durchgehend auch in dem längeren negativen Vertikalimpuls enthalten ist.

**Synchronsignal zwischen 2. und 1. Teilbild (Vollbildbeginn):**



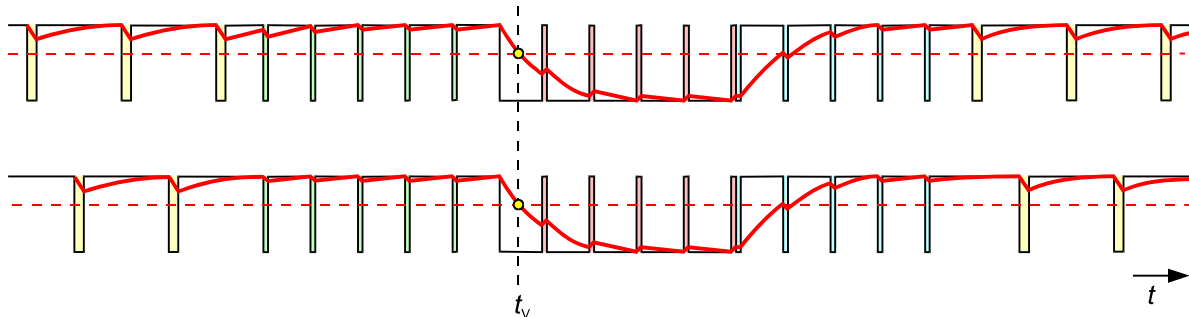
**Synchronsignal zwischen 1. und 2. Teilbild:**



Im Bereich des Vertikalimpulses wird durch Verdopplung der H-Impulsfrequenz (Trabanten) einerseits nach wie vor an der richtigen Stelle eine negative Flanke als Referenz für die horizontale Synchronisation bereitgestellt. Andererseits wird damit der Impulsverlauf kurz vor der negativen V-Flanke für beide Halbbildübergänge angeglichen, als identische Verhältnisse beim Übergang 1. auf 2. Halbbild oder umgekehrt.

Die Trabanten weisen außerdem halbe Pulsbreite gegenüber den H-Pulsen auf, um die doppelte Pulsfrequenz zu kompensieren. Basierend auf einfacher Abtrennung des V-Impulses aus dem Synchronsignalgemisch S mittels RC-Glied erklärt sich die Wirkungsweise der Trabanten mit doppelter Horizontalfrequenz.

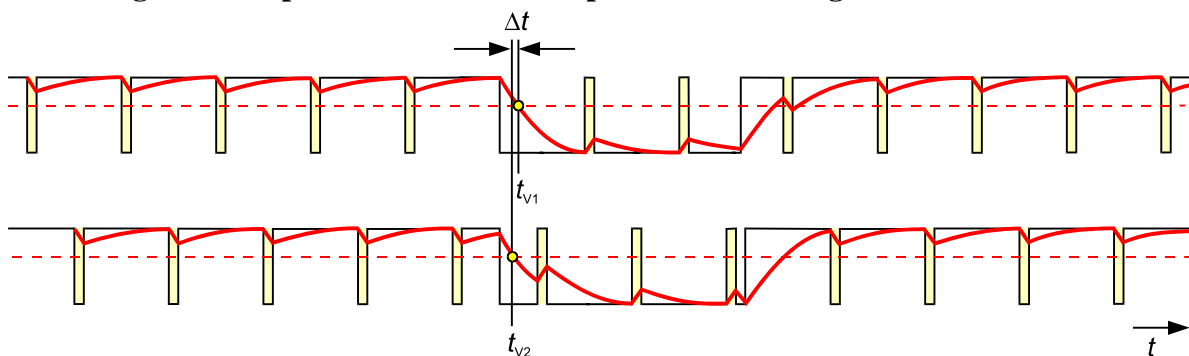
### Abtrennung des V-Impulses mittels RC-Tiefpass und Schwelle:



Das gefilterte Synchronsignal (rot) durchschneidet eine Amplitudenschwelle eines Komparators zur Zeit  $t_v$  relativ zur tatsächlichen vorhergehenden V-Flanke, unabhängig zwischen welchen Teilbildern dies betrachtet wird. Die Verzögerung zwischen Flanke und tatsächlicher Detektion über die rot gestrichelte Schwelle ist dabei unerheblich. Als Resultat ergeben sich zwei Teilbildraster, die exakt verkämmt einen idealen Zeilensprung beschreiben, da die Vertikalablenkung je Teilbild in richtiger Startposition zueinander liegt.

Die Situation ohne die Nutzung der Trabanten liefert hingegen durch eine unterschiedliche zeitliche Vorgeschichte vor der negativen V-Flanke auch leicht unterschiedliche Verläufe nach der Tiefpassfilterung, indem die relative Lage der V-Erkennung nicht mehr exakt übereinstimmt. Das führt zu Teilbildrastern, die nicht mehr exakt verkämmt sind, sondern zu sogenannten paarig stehenden Zeilen führen.

### Abtrennung des V-Impulses mittels RC-Tiefpass ohne Nutzung der Trabanten:



**Bild bei exakter Zeilenverkämmung des Zeilensprunges:**

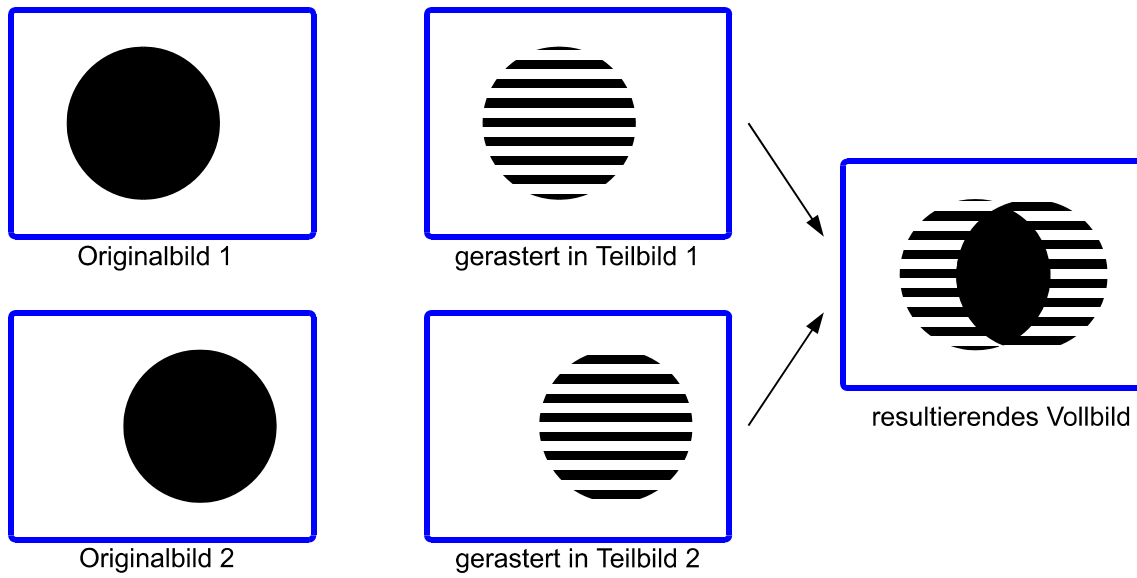


**Bild bei nicht exakter Zeilenverkämmung des Zeilensprunges (paarig stehende Zeilen):**



### Bewegungsartefakte beim Zeilensprung

Der Vorteil der hohen Bewegungsauflösung beim Fernsehen durch die 50Hz Teilbildabtastung liefert bei Standbildwiedergabe von Vollbildern das Problem ausgerissener Kanten. Dort werden die verkämmten Teilbilder wieder sichtbar, die an bewegten Konturen natürlich kein fehlerfreies Vollbild ergeben, sondern eine Doppelkontur mit deutlicher vergrößerter Zeilenstruktur.

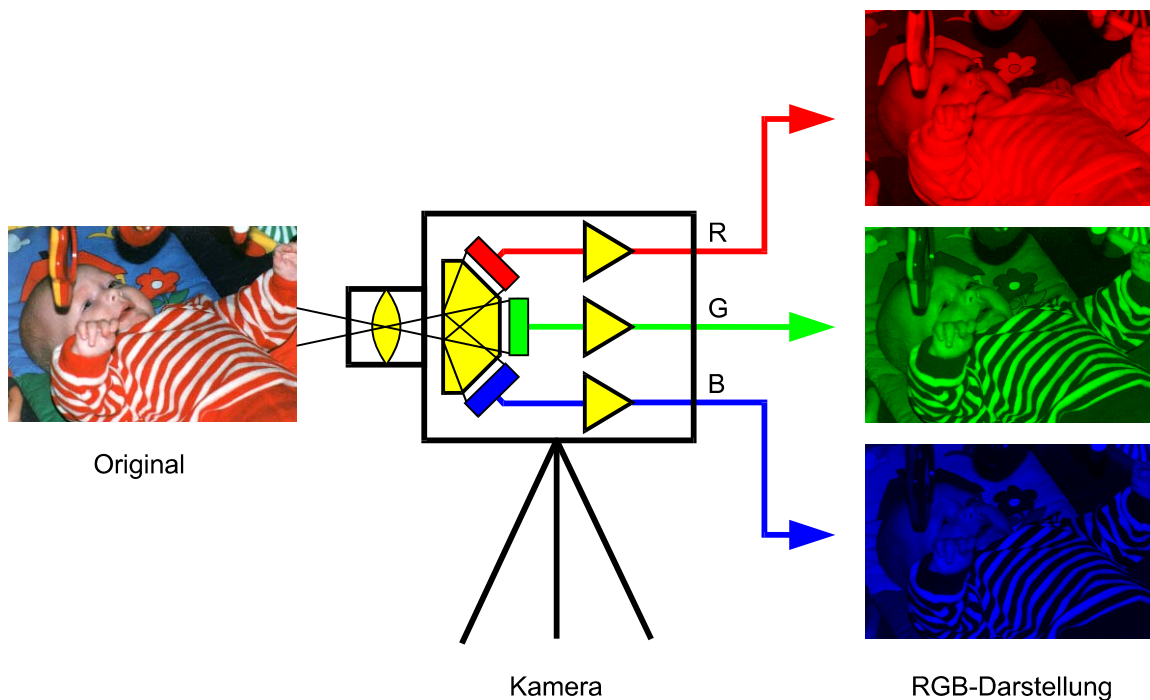


Im realen Videobild äußert sich dieser Effekt an allen bewegten Details. Es zeigen sich aufgerissene Kanten in der Breite der Bewegungsdistanz, die zwischen zwei Teilbildern (20ms) auftritt. Bei normaler Betrachtung im bewegten Videobild sind diese Störungen nicht kritisch, da das Auge der Bewegung nachfolgt. Beim Herausgreifen eines Vollbildes jedoch ist der beschriebene Effekt deutlich störend (z.B. beim Abspeichern von TV-Einzelbildern am PC).



### 1.3 Farbbild-Darstellung

Eine farbige Vorlage wird durch drei Farbauszüge ROT, GRÜN und BLAU (abgekürzt RGB) beschrieben, die bei der Wiedergabe additiv überlagert werden. Kameraseitig wird dazu das Bild durch optische Farbfilter bzw. dichroitische Spiegel (Strahlenteiler) in die genannten Farbauszüge zerlegt und parallel abgetastet. Am Kameraausgang sind drei BA-Signale (**B**ildsignal mit Austastanteil) für RGB vorhanden. Zusätzlich ist ein separates Synchronsignal S vorhanden (im folgenden Bild nicht dargestellt).

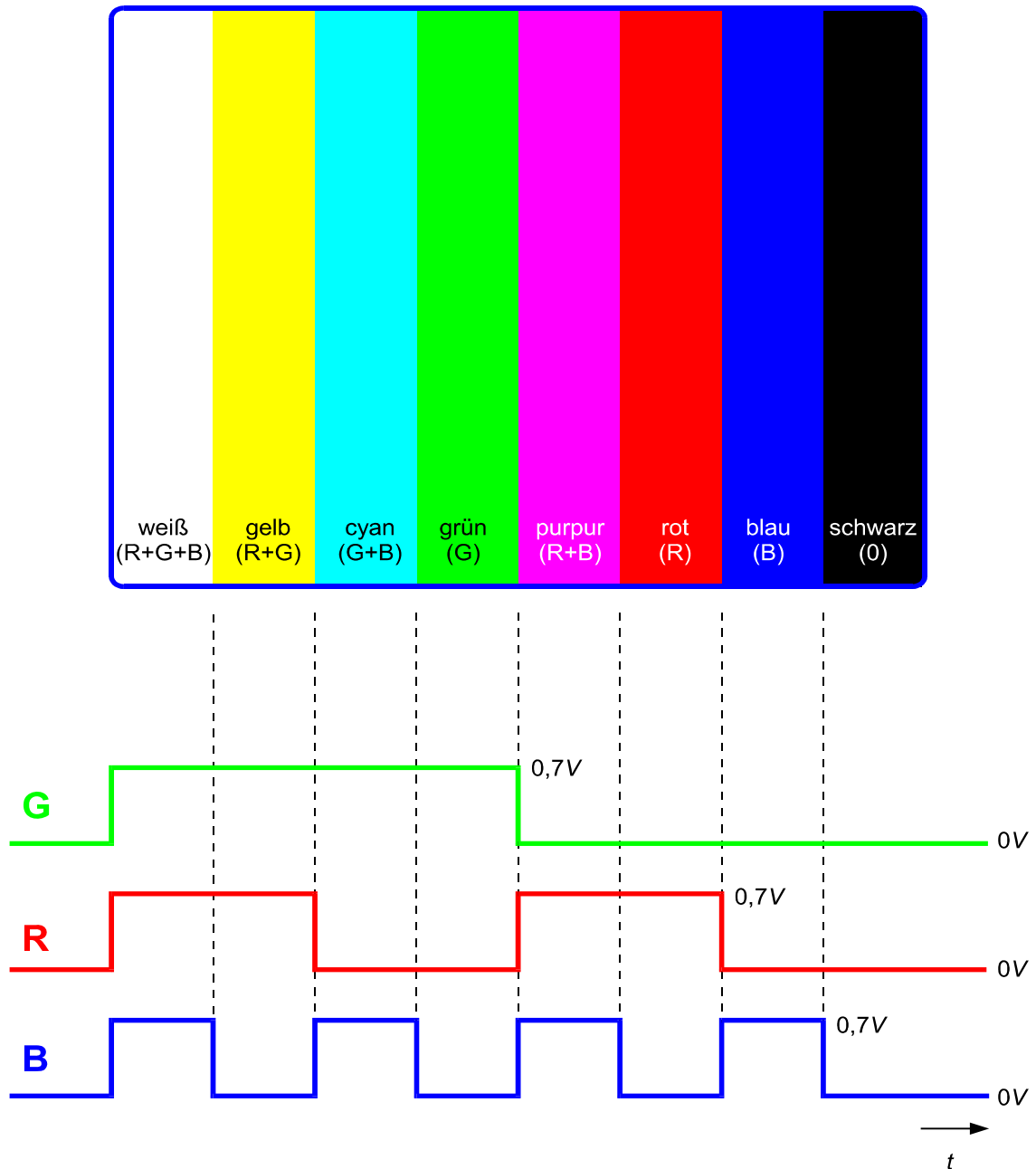


Diese elektronische Farbbild-Darstellung nennt man Komponentenformat (im Gegensatz zum Composite-Format, wie es zur Übertragung verwendet wird, wenn RGB und S in ein einziges FBAS-Signal verschachtelt werden). Die RGB-Signale der Kamera weisen jeweils identisch 5 MHz Grenzfrequenz auf, wenn die Überlegungen der vorangegangenen Kapitel Anwendung finden. Für eine Übertragung wäre also grundsätzlich die dreifache Bandbreite im Vergleich zu einem Schwarzweiß-Signal erforderlich.



Ein wichtiges Testsignal in der Farbfernsehtechnik stellt das Farbbalkentestsignal dar, das alle Kombinationen von Rot, Grün und Blau jeweils mit den Pegeln 0 und 100% (0V und 0,7V) zeigt.

### Farbbalkentestsignal:



Hieraus sind auch einige Grundeigenschaften bei der hier vorliegenden additiven Farbmischung zu erkennen: Weiß ergibt sich aus der Summe von maximal Rot, Grün und Blau. Komplementärfarben zu diesen Grundfarben definieren sich aus der Summe der jeweils anderen beiden Grundfarben, so dass Grundfarbe plus zugehöriger Komplementärfarbe ebenfalls Weiß ergibt.

<b>Additive Farbmischung:</b>	Weiß = $R + G + B$	mit $R=G=B=1$ (normiert, entspricht 0,7V)
	Grau = $R + G + B$	mit $R=G=B= 0\dots 1$
<b>Komplementärfarben:</b>	<b>Rot - Cyan</b>	
	$Cy = G + B$	$R + Cy = \text{Weiß}$
	<b>Grün - Purpur</b>	
	$Pp = R + B$	$G + Pp = \text{Weiß}$
	<b>Blau - Gelb</b>	
	$Ge = R + G$	$B + Ge = \text{Weiß}$

Neben der Möglichkeit, ein Farbbild mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau zu beschreiben, ist die Darstellung mit einem Schwarzweißanteil (Leuchtdichte oder Luminanz  $Y$ ) und zwei Farbartkomponenten (Chrominanz) besonders günstig, da hier eine sehr gute Anpassung an das menschliche Sehvermögen gegeben ist. Auch das Auge unterscheidet mit seinen Sehnerven nach Schwarzweiß- und Farbartempfindung.

Die Helligkeitsempfindung des Auges folgt einer glockenförmigen Kurve über der Lichtwellenlänge im sichtbaren Farbspektrum zwischen ca. 400 und 700nm Wellenlänge. Basierend hierauf ergibt sich eine relative Helligkeitsempfindung für Rot von 30%, für Grün von 59% und für Blau von 11%. Damit lässt sich schließlich der Schwarzweißanteil oder die Luminanz aus einem RGB-Bild über die folgende Gleichung berechnen. Die beiden anderen Anteile, die die Chrominanz beschreiben, werden als sogenannte Farbdifferenzsignale ebenfalls aus RGB angegeben.

**Farbmatrix:**

Die RGB-Darstellung wird in der Videotechnik im Bereich Studioverarbeitung und Übertragung wegen zu hoher Bandbreitanforderungen nicht verwendet. Eine Umformung mit einem linearen Gleichungssystem führt auf die genannten drei alternativen Größen, die zudem in Anpassung an die Augencharakteristik weniger Gesamtbandbreite beanspruchen, ohne den subjektiven Bildeindruck zu beeinträchtigen.

$$\begin{array}{l}
 Y = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B \\
 R-Y = 0,7 \cdot R - 0,59 \cdot G - 0,11 \cdot B \\
 B-Y = -0,3 \cdot R - 0,59 \cdot G + 0,89 \cdot B
 \end{array}$$

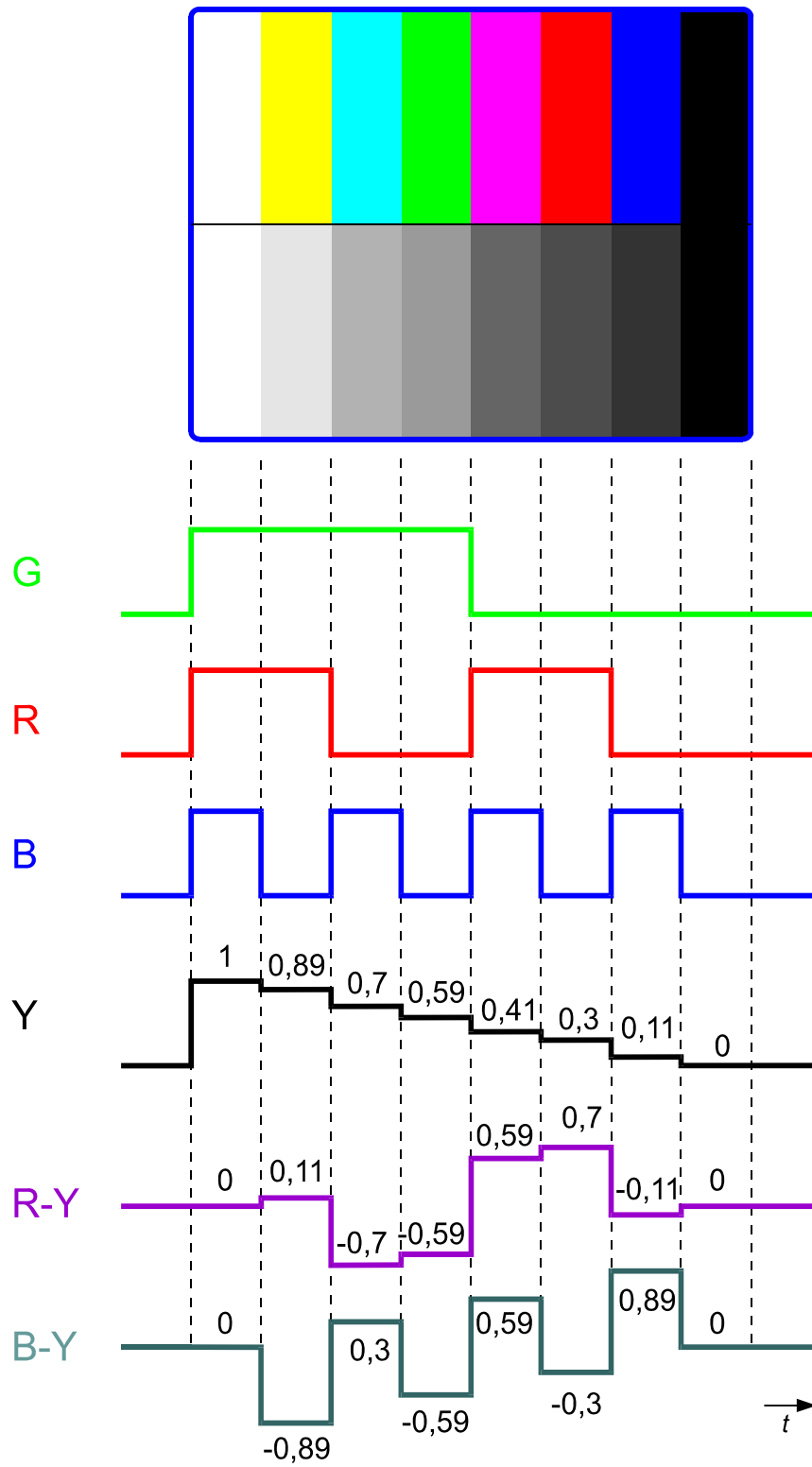
**Luminanz:**

Die Luminanz  $Y$  entspricht dem Schwarz/Weiß-Auszug eines Bildes. Die Bandbreite beträgt 5MHz. Der subjektive Schärfeindruck eines Farbbildes liegt in der Hauptsache in der Luminanzauflösung begründet.

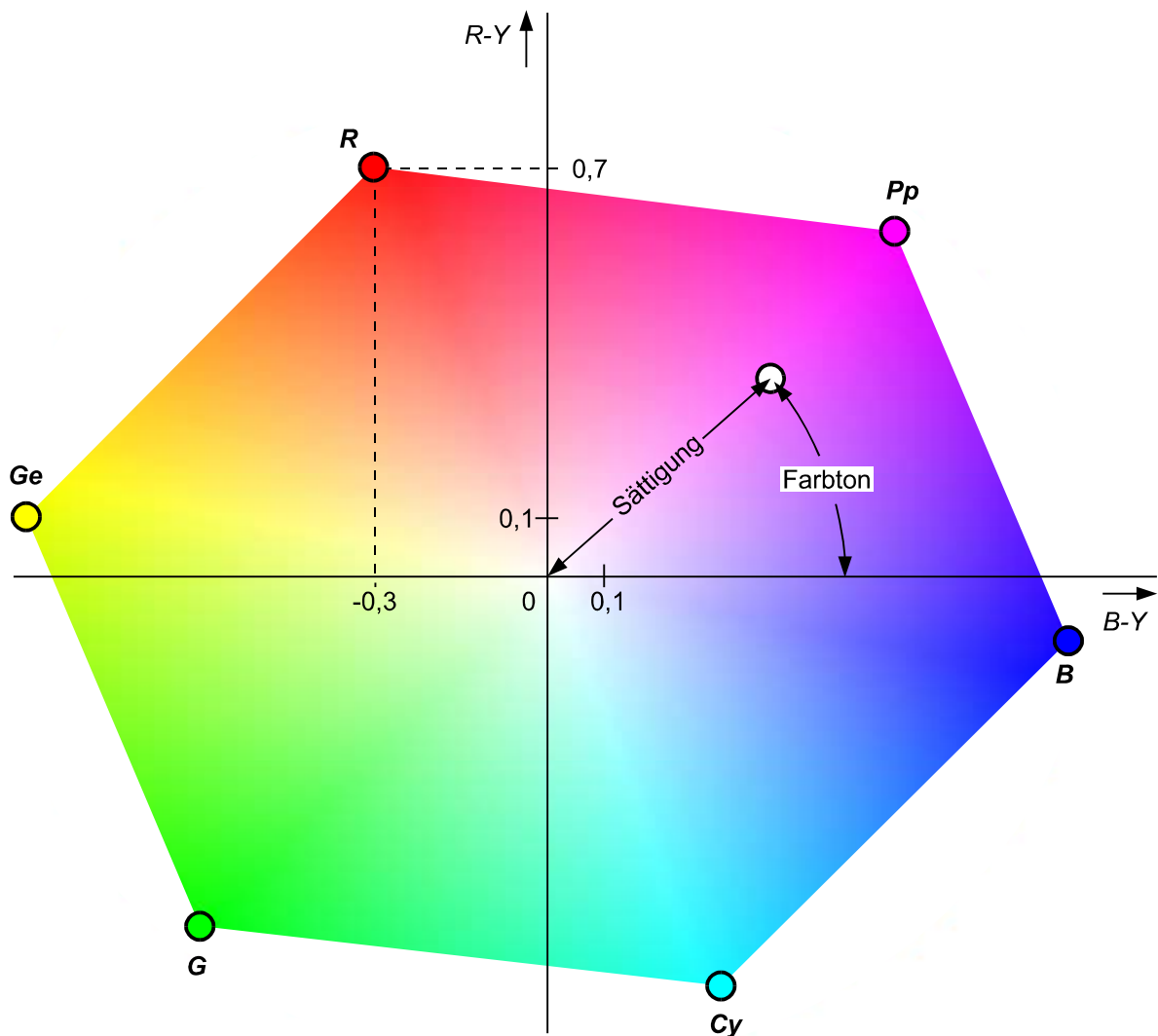
**Chrominanz:**

Die beiden Chrominanzkomponenten beschreiben zusammen die Farbe des Bildinhaltes. Durch die verminderte Farbauflösung des menschlichen Auges lässt sich eine reduzierte Chrominanzbandbreite rechtfertigen, so dass eine Luminanz/Chrominanz-Bildbeschreibung mit geringerer Gesamtbandbreite auskommt.

**RGB- und Y/C-Signale beim Farbbalken:**



Trägt man die beiden Farbdifferenzsignale in einem orthogonalen Koordinatensystem als Achsen ein, so ergibt sich eine Ebene, die alle unterschiedlichen Farben enthält. Hierbei läßt sich die Farbsättigung als proportional zum Abstand vom Ursprung angeben, während der Farbton durch den Winkel gegen die Abszisse gegeben ist.



Eingesetzt sind exemplarisch die Farborte des vorher diskutierten Farbbalkentestbildes. Dabei ergibt sich für Rot ( $R=1; G=0; B=0$ ) mit der zugehörigen Luminanz  $Y=0,3$  ein Wertepaar von

$$R - Y = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$B - Y = 0 - 0,3 = -0,3$$