

Vorlesungsscript zur digitalen Videotechnik WS06/07

Geschichtlicher Abriss von der analogen Technik bis zur Digitalisierung

Camera Obscura (Lochkamera)

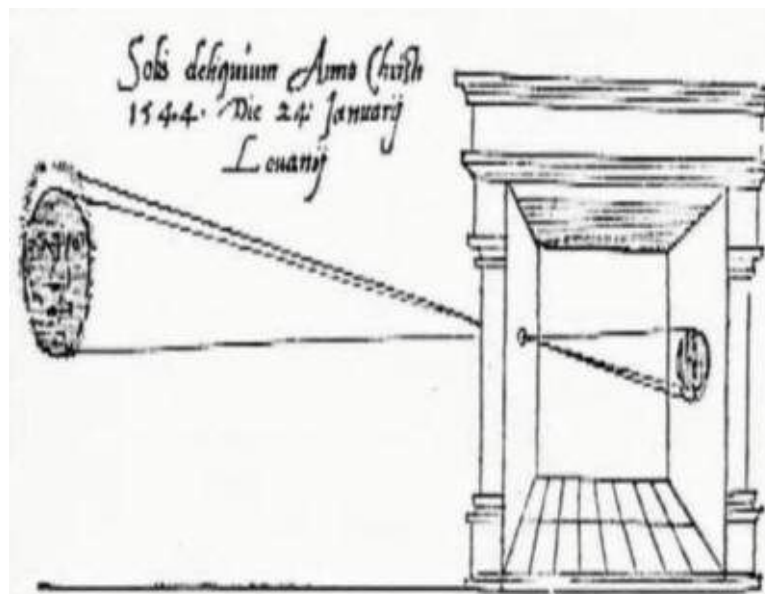
Schon der griechische Philosoph Aristoteles beobachtete in der Antike eine Sonnenfinsternis durch eine Vorrichtung mit einem Loch. Dabei stellte er fest je kleiner das Loch, um so schärfer das Bild, aber auch um so dunkler war es durch den geringeren Lichteinfall.

Im 900 Jahrhundert verwendeten arabische Gelehrte den Kamera-Vorläufer zur Beobachtung von Sonnen- und Mondfinsternissen.

Ende des 13. Jahrhunderts wurde von europäischen Astronomen eine Camera Obscura zur Beobachtung von Sonnenflecken und Sonnenfinsternissen verwendet. Robert Bacon baute die ersten Vorläufer in Form einer Camera Obscura für die Sonnenbeobachtung.

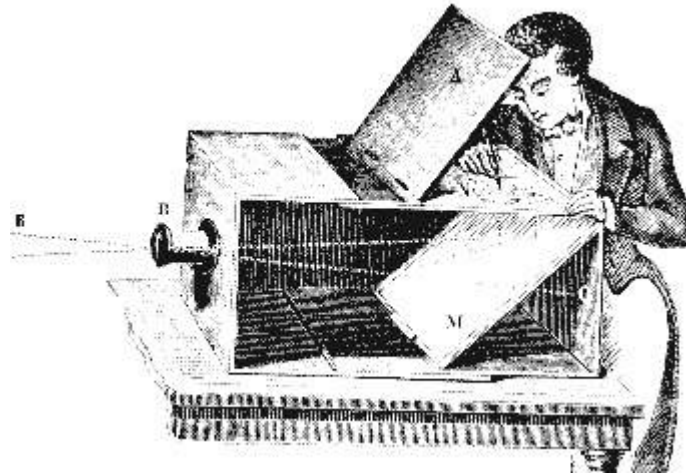
Leonardo da Vinci untersuchte den Strahlengang und stellte fest, dass dieses Prinzip der Funktionsweise des Auges entspricht. Vom menschlichen Auge leitete er durch Linse und Iris die Schärfen- und Lichtmengenregulierung ab. Leonardos Entdeckung aus den Jahren 1490 bis 1492 wurde jedoch erst 1797 bekannt, als seine Spiegelschrift erstmals entziffert wurde.

Reiner Gemma-Frisius beobachtete 1568 mit einer Camera Obscura eine Sonnenfinsternis.



Reiner Gemma-Frisius: Camera obscura, 1544

1589 setzte der italienische Physiker Giovanni Battista Della Porta den theoretischen Konstruktionsvorschlag einer Sammellinse vom Venezianer Daniele Barbaro zur Verbesserung der Abbildung in die Praxis um. Andere Quellen nennen allerdings Girolamo Cardano als Erfinder der Linse für die Camera obscura. Die Camera obscura war für viele Menschen eine Zeichenhilfe die schlecht malen konnten.



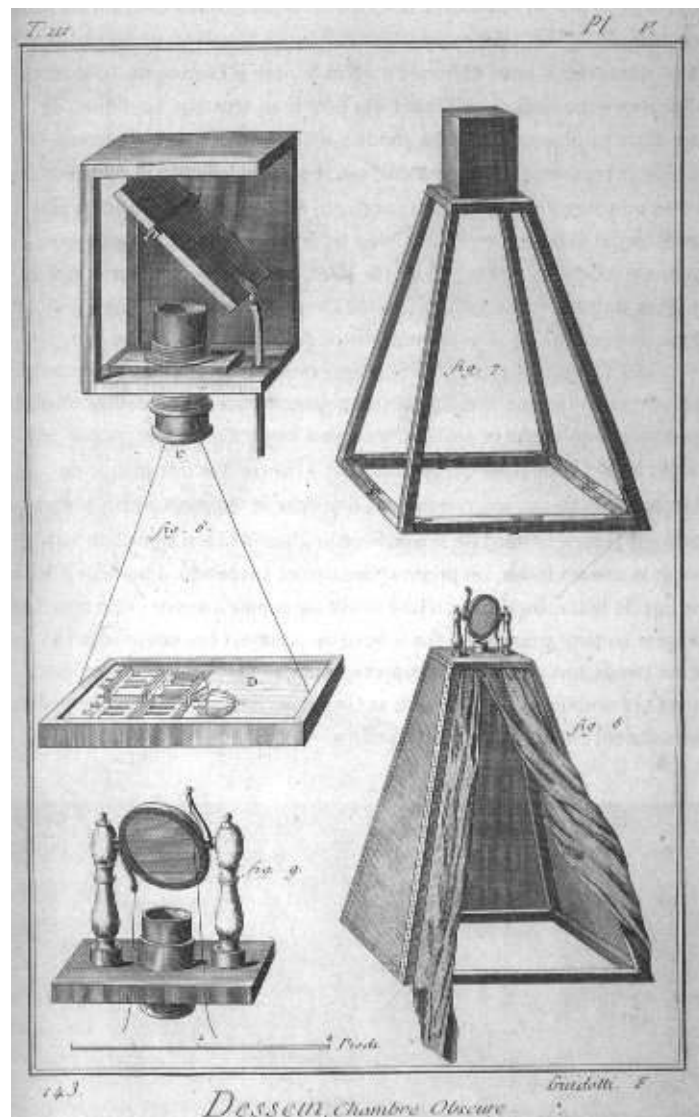
Funktionsweise einer modernen Camera obscura. Das Bild wird durch die Linse eingefangen und über den Umlenkspiegel auf die Zeichenfläche projiziert. Gezeichnet wurde auf transparenten Papier.



Moderne Camera obscura aus dem Jahre 1825.

Die bisher beschriebenen konstruierten Modelle der Camera obscura waren ortsgebunden. Erst mit der Erfindung der transportablen Camera obscura 1686 von Johannes Zahn war man nicht mehr ortsgebunden. Ein Spiegel, der im Winkel von 45 Grad zur Linse im inneren der Kamera angebracht war, projizierte das Bild nach oben auf eine Mattscheibe und konnte so bequem abgezeichnet werden (Vorläufer einer Spiegelreflex-Konstruktion mit Ablenkspiegel).

Bis ins 19. Jahrhundert nutzten Künstler die Camera obscura vor der Fotografie als Zeichenhilfe, um Landschaften oder andere Motive proportionsgenau wiederzugeben. Wie zum Beispiel Gemälde von Caspar David Friedrich oder Jan Vermeer.



Camera obscura mit Umlenkspiegel, 1772.

1834 beginnt William Henry Fox Talbot (1800-1877) mit fotografischen Versuchen auf lichtempfindlichen Papier. Talbot bezeichnet das Verfahren als photogenische Zeichnung. Sein Papier tränkte er mit Silbernitrat und einer Salzlösung. Mit einer Kochsalzlösung fixierte Talbot die Aufnahme. Mit diesem Basiswissen entwickelt er 1840 die Grundlage für das Negativ-Positiv-Verfahren, das er als Kalotypie bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine positive Salzpapierkopie vom Papiernegativ, mit der beliebig viele Kopien hergestellt werden können. 1841 lässt sich William Henry Fox Talbot sein verbessertes Verfahren patentieren. Zur Aufnahme verwendet er Jodsilberpapier, das in Gallussäure und Silbernitrat entwickelt und in Natriumthiosulfat fixiert wird. 1851 nimmt Talbot das erste Foto mit Blitzlicht auf.



William Henry Fox Talbot

Louis Ducos du Hauron präsentiert 1868 die ersten Farbaufnahmen nach der subtraktiven Farbmischung: Transparentbilder von Negativen, die durch Rot-, Blau- und Grünfilter aufgenommen wurden, zeigen die Originalfarben, wenn man die Negative mit den jeweiligen Komplementärfarben Blaugrün, Gelb und Purpur tönt und übereinandergelegt. Als Fototrägerschicht diente eine Glasplatte.

John Wesley Hyatt entdeckt 1868 die sogenannte Nitrozellulose, das spätere Zelluloid für den Film.

Mit der Verbesserung des Filmmaterials, mit einer höheren Lichtempfindlichkeit und der Erfindung Zelluloid, begann die Zeit der Filmära.

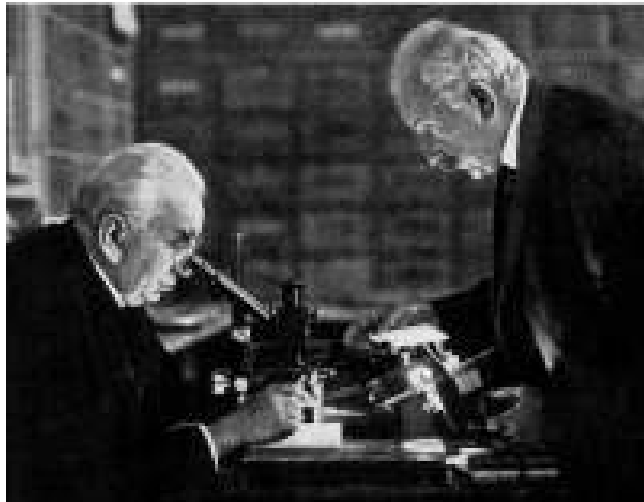
Von der Fotografie zum Film

Video ist die lateinische Bezeichnung für "ich sehe". Ein Film ist nichts anders als eine Aneinanderreihung von fotografischen Einzelbildern. Vorläufer und Basis dieses Prinzips ist die Fotografie. Der englische Fotograf Eadweard Muybridge war es auch der 1872 der Wegbereiter für die Entwicklung der Filmtechnik (Aufnahmen von 24 Phasenbilder vom galoppierenden Pferd) war. Er konstruiert einen Springverschluss, mit dem er Verschlusszeiten von 1/500 Sekunden erzielen konnte. Mit 24 und 36 durch Fäden synchronisierten Fotoapparaten konnte er die Bewegungsabläufe festhalten. Um die einzelnen Phasenbilder für ein großes Publikum auf die Leinwand bringen zu können, konstruierte Muybridge den Vorläufer eines Filmprojektors, das Zoopraxiskop. Mit der gesteigerten Lichtempfindlichkeit und der Verwendung von Filmmaterial (Schichtträger) auf nitrozellulose Basis, war um 1888 der Grundstein für die Rollfilmtechnik gelegt. Der Franzose Etienne Jules Marey erfand mit der Technik der Reihenfotografie den Vorläufer für die Filmtechnik. Die Kamera konnte 15 Bilder in der Sekunde aufnehmen. Durch die Bewegungsträgheit des Auges reichten 15 Bilder pro Sekunde aus um einen fließenden Bewegungseindruck zu erzeugen. Ein neues Medium, die Kinematographie, war geboren. Allerdings wurden die Filme immer noch aus einzelnen Fotos zusammengesetzt, die jeweils einzeln belichtet und entwickelt werden mussten. 1891 erfand Thomas Alva Edison den perforierten 35 mm Film (je vier Löcher am Bildrand), dessen Maße heute noch als internationale Norm gelten. Einen Nachteil hatten die von Edison dazu gehörigen Abspielgeräte, es konnte sich immer nur eine einzige Person diesen Film ansehen.

Dies sollte sich durch die Gebrüder Lumiere ändern, die 1895 ein ausgereiftes kinematografisches Verfahren entwickelten, dass es erlaubte einen gedrehten Film auf einer Projektionswand einem großen Publikum zeigen zu können.

Mit der Erfindung der Rollfilmtechnik war es möglich, Filme in Zeitlupe oder auch in Zeitraffer ablaufen zu lassen. 1897 zeigte der Filmpionier Otto Eduard Meßler seinen ersten Zeitlupenfilm. Filmmotiv war eine Katze die von einer Mauer sprang. Für diese Aufnahmen verwendete Meßler einen 60 mm breiten Filmstreifen und eine selbstkonstruierten Kamera, die 100 Bilder pro Sekunde aufnehmen konnte.

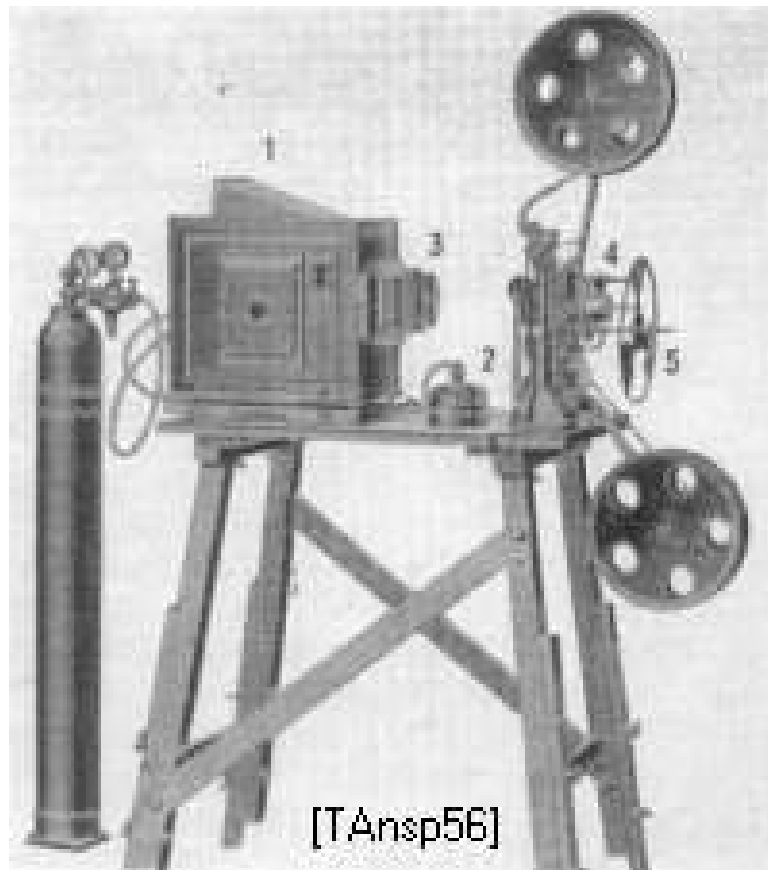
Während der ersten Jahre fanden Vorführungen zumeist in Cafés, Wintergärten, Varietés und Festsälen statt. Mit dem Erfolg und der zunehmenden Beliebtheit an Filmvorführungen entstanden am Anfang des 20. Jahrhunderts die ersten Kino-Gebäude, die sich architektonisch an den Theatern orientierten.



Louis und Auguste Lumière



Eadweard Muybridge's 24 Phasenbilder vom galoppierenden Pferd.



Bauer Filmprojektor um 1907.

Entwicklung des Tonfilmes

Bereits vor der Entwicklung des Tonfilmes war es üblich, dem Stummfilm Ton (Musik) hinzuzufügen. Klavier, Kinoorgel oder sogar Orchester lieferten die Hintergrundmusik. Sie sorgten auch für Toneffekte, wie z.B. Gewitterrollen usw.

1892 kombinierte Emile Reynaud in Frankreich einen Film, der aus Reihenbilder mit einzelnen Geräuschen bestand, die elektrisch ausgelöst wurden. Dieser Vorläufer des Tonfilms war 15 Minuten lang und die Geräusche entsprachen nicht dem Orginalton. Erstmals gelang Thomas Alva Edison 1896 die Vereinigung von Film, Sprache und Hintergrundmusik. Er kombinierte einen Filmprojektor mit dem von ihm entwickelten Phonographen. Der Phonograph, der mit einem Schallplattenspieler vergleichbar ist, ermöglichte Orginaltöne in den Film zu integrieren. Bis 1930 benutzte man diese Kombination um Filme gleichzeitig mit Ton abzuspielen.

1911 wurde in Hollywood das erste Filmstudio in der USA eröffnet. Dieser Ort entwickelte sich innerhalb kürzester Zeit zum Zentrum der US-Filmindustrie. Die Filmstudios erreichten weltweit eine monopolartige Stellung. Sie bestimmten die Rechte über Kameras, Vorführsysteme und dem Verleihgeschäft.

In den 20er Jahren wurde mit der UFA ein Filmkonzern in Babelsberg gegründet. Während dieser Zeit war es erstmals in Deutschland gelungen 1919 Schallsignaländerungen in Lichtintensitätsänderungen (Lichttonverfahren) umzuwandeln und auf Film aufzuzeichnen. Hans Yogt, Joseph Masolle und Dr. Engl, waren die fast völlig unbekannt gebliebenen Erfinder des Tonfilms. Sie haben im März 1921 den ersten sprechenden Tonfilm vorgeführt. Der Lichtton, war die Grundlage für den späteren Klangfilm-, Fox- und Tobis-Verfahren. So mit war der Film und der Ton auf einen einzigen Filmstreifen untergebracht. Die Patente für dieses Verfahrens wurden in die USA verkauft. Die Stummfilmzeit neigte sich Anfang der 30er Jahren dem Ende zu.

Schon in den 40er Jahren experimentierte man mit Mehrkanaltonsystemen. Als einer der ersten Filme mit Mehrkanalton war der Zeichentrickfilm Fantasia von Walt Disney. Erst 1945 setzte sich die magnetische Ton-Aufzeichnung bei den Farbfilmen durch. Der Vorteil dieses Verfahren lag darin viele Geräte nicht mehr für Film und Ton synchron steuern zu müssen. So war der Weg für das Fernsehen geebnet.

Mitte der 50er Jahre verwendete man mit dem Breitbildformat Cinemascope 4- und 6-Kanal-Tonsysteme im Magnettonverfahren.

In den 70er Jahren verbreitete sich das Mehrkanaltonsystem, das auf dem Lichttonverfahren beruhte. Den Dolby Laboratories gelang es in Stereotechnik vier Tonspuren in zwei Lichttonspuren unterzubringen. 1992 wurde von Dolby schließlich das sechskanalige Dolby Digital-Verfahren eingeführt, das abwärtskompatibel zu Dolby Stereo ist. Ein grossen Teil an der Weiterentwicklung des Filmtons haben die Lucas-Filmstudios. Georg Lucas erlaubte 1982 Jahre nur den Kinobetreibern die Ausstrahlung seiner Star Wars Filme, die sich an die Richtlinien des neuen Soundsystems THX (Tomlinson Holman eXperiment) hielten.

Lichttonverfahren

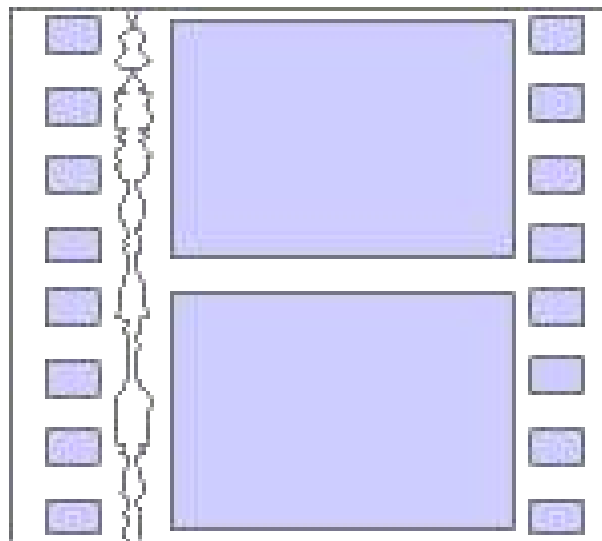
1919 als **Triergon-Verfahren** patentiert. Hierbei wird der Ton in Lichtmuster umgewandelt und direkt auf den Filmstreifen kopiert. Das elektrische Audiosignal wird optisch in veränderliche Schwärzung des Filmmaterials umgesetzt. Dies geschieht durch die Variation der Lichtintensität in Abhängigkeit der Signalspannung. Diese Art wird als Intensitätsschrift bezeichnet. Heute wird die Transversal- oder Zackenschrift verwendet. Vorteil es treten keine Graustufen, sondern nur Schwarzweißkontraste auf, die einfacher zu reproduzieren sind als die Grauwerte der Intensitätsschrift. Für die Aufnahme wird Lichttonkamera verwendet, die im einfachen Fall eine Schlitzblende (Spalt) enthält, die mechanisch mehr oder weniger abgedeckt wird. Während der Filmprojektion liest dann eine spezielle Fotozelle (Gleichstrom-Lichtquelle) diese Hell-Dunkel-Muster und wandelt diese in elektronische Impulse um. Das Lichttonverfahren wird heute immer noch bei 35mm Kinofilmen als Tonaufzeichnungsstandard verwendet.



Erfinder der Lichttontechnik 1919.



Gezackte Lichttonspur.



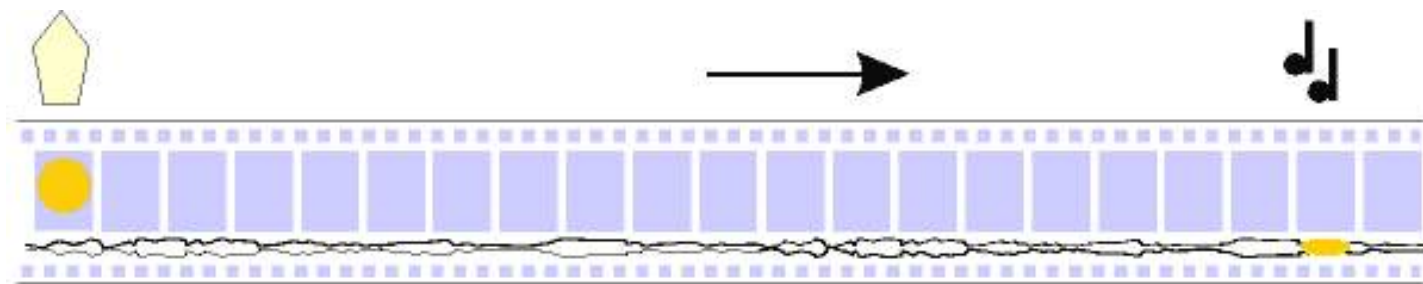
35 mm Film mit analogen Lichttonstreifen.

Bild-/Tonversatz

Ganz gleich welches Verfahren verwendet wird, der Ton auf einer Filmkopie befindet sich nie an der gleichen Stelle, wo sich das dazugehörige Bild befindet. Was ist der Grund dafür?

Der Filmstreifen bei der Aufnahme als auch bei der Projektion wird **nicht kontinuierlich** (wie z. B. beim Tonband) transportiert, sondern **ruckweise**. Es wird jeweils ein neues Bild vor das Bild bzw. Projektionsfenster gezogen, belichtet (projiziert) und dann das nächste Bild vor das Bildfenster gezogen. Dies nennt man einen **intermetrierenden Transport**.

Am Magnetkopf oder Lichttonlesekopf muß jedoch der Ton ganz gleichmäßig vorbeigeführt werden. Es muß also der am Bildfenster noch ruckelnde Transport in einen kontinuierlichen verwandelt werden. Hierfür ist eine gewisse Zeit/Distanz erforderlich. Bei **35mm** etwa sind dies genau **20 Filmbilder**. Der Ton zu einem bestimmten Bild befindet sich also 20 Felder davor (Bild-/Tonversatz).



Darstellung des Bild-/Tonversatzes auf dem Filmstreifen (gelbe Markierungen).

Mehrkanaltonverfahren (Surroundsystem)

Der Zuschauer soll durch das Mehrkanalsystem (Surroundsystem) besser in das Kinoerlebnis miteinbezogen werden. Die emotionale Wirkung wird durch große variierender Lautstärke mit hoher Dynamik und ausgedehnten Frequenzbereichen im Höhen- und Tiefenbassanteilen erreicht.

Dolby Digital

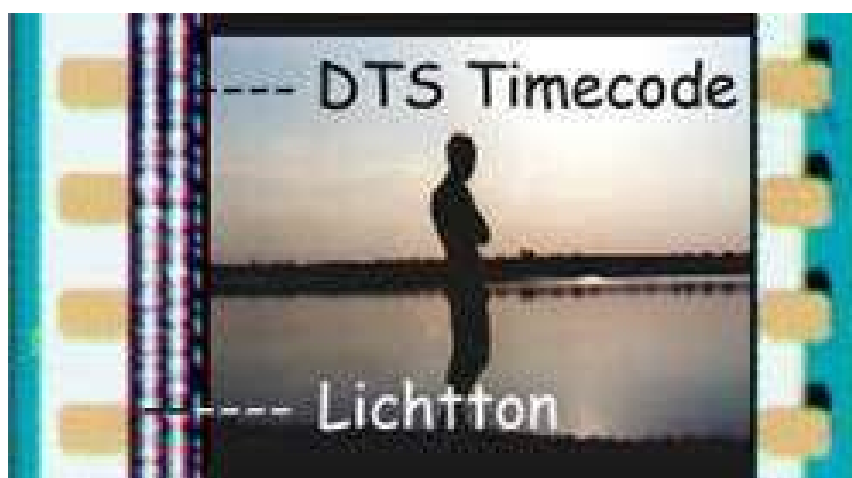
Für die Speicherung der Dolby Digital-Daten werden die Flächen zwischen den Perforationslöchern belegt. Sie reicht aus, um mit Laserdioden die Aufzeichnung einer Matrix aus 76 x 76 Punkten zu gewährleisten, mit denen 5776 Punkten dargestellt werden können. Da ein 35-mm-Film 24 Bilder pro Sekunde läuft, die jeweils mit vier Perforationslöchern versehen sind, folgt daraus eine aufzeichnenbare Bitrate von 554,5 kbit in der Sekunde. Davon werden im Kino 320 kbit/s genutzt. Diese Datenrate wird für fünf

Audiokanäle und einen sechsten, auf 120 Hz bandbegrenzten Subbasskanal zur Verfügung gestellt. Bereits die Datenrate eines einzigen Kanals überschreitet die oben genannte Bitrate, so dass die Gesamtinformation nur mit Hilfe eines Datenreduktionsverfahrens mit dem Namen AC3 aufgezeichnet werden kann.



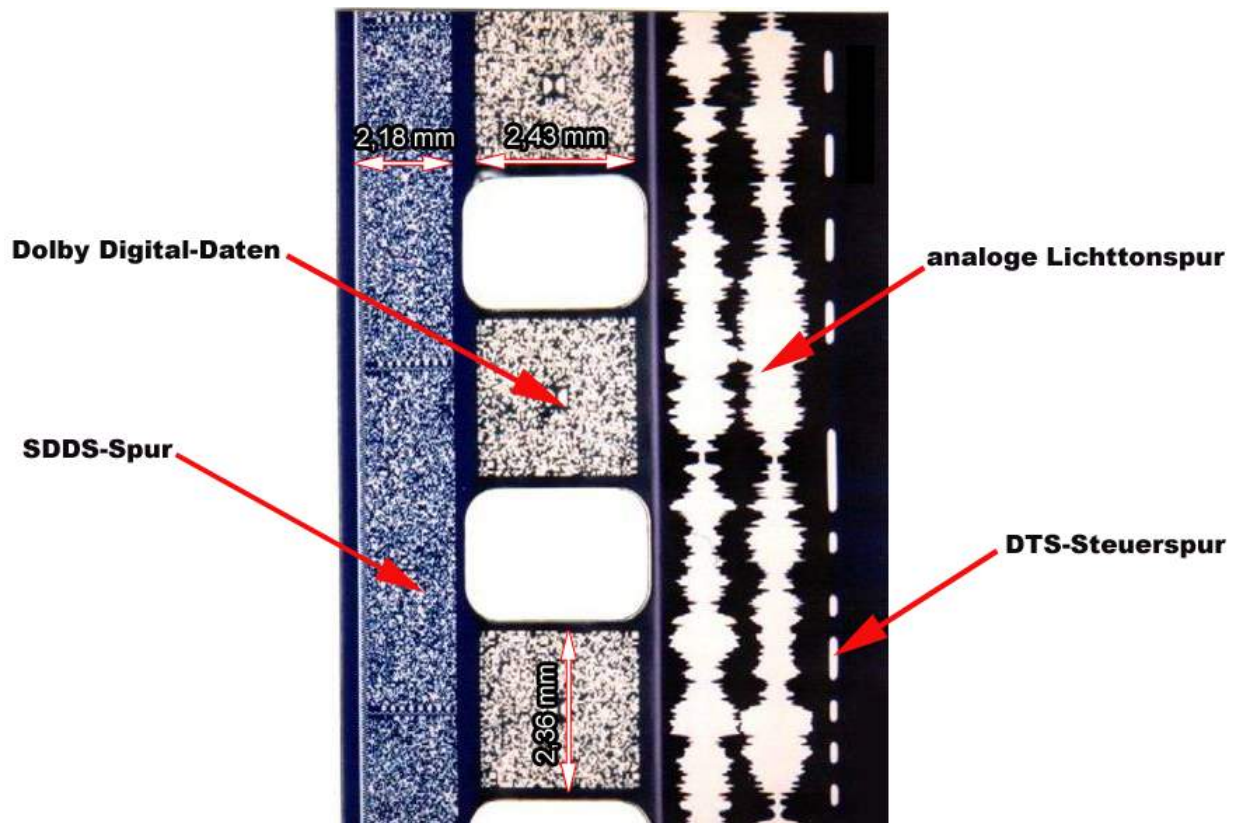
Digital Theater System (DTS)

Beim Digital Theater System DTS ist das Tonträgermaterial vom Filmmaterial getrennt. Auf dem Filmmaterial ist nur eine schmale, optisch lesbare Steuerspur für die Bild/Tonsynchronisation erforderlich, die zwischen der analogen Lichttonspur und dem Bildfeld Platz findet, so dass sie parallel zu einer Dolby Digital-Tonspur zur Verfügung steht. Der Ton wird entweder auf einer CD-ROM oder DVD gespeichert. Nach dem Durchleuchten der Timecodespur wird diese durch Photodioden wieder in elektrische Signale umgewandelt. Der Prozessor spielt dann zum Bild den passenden Ton von der CD oder DVD ab. Das Digital Theater System ist kompatibel zu alten Systemen und überbrückt das Fehlen von Audiodaten.



Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)

Der Sony Dynamic Digital Sound (SDDS) arbeitet mit dem Datenreduktionssystem ATRAC. Mit diesem System stehen acht Audiokanäle zu Verfügung. Für diese Digitalinformationen wird der Platz an den Filmrändern an beiden Seiten außerhalb der Perforation genutzt.



Der Film wird farbig

Die ersten Farbfilme waren Bild für Bild handkoloriert, zur dieser Zeit waren schwarz-weiß Aufnahmen üblich. Die ersten Farbfilmaufnahmen präsentierte 1906 der Engländer Georg Albert Smith der Öffentlichkeit. Sein Farbfilm bestand dabei nur aus den zwei Farben Grün und Rot. In London zeigte man 1909 die ersten kommerziellen Farbfilme. Der erste Drei-Farb-Film wurde 1912 entwickelt. Für diese Aufnahmen verwendete man spezielle Kameras, die aus drei Objektiven bestanden. Jedes Objektiv hatte einen Farbfilter aus dem Additiven Farbsystem Rot, Grün und Blau. Eines der bekanntesten Farbfilmverfahren entstand 1917, das Verfahren *Technicolor*. Bei diesem Verfahren waren die Farben auf dem Filmstreifen enthalten und somit unabhängig von der Art der Projektortechnik. Die ersten Technicolor-Filme waren anfänglich noch zweifarbig, nämlich rotorange und blaugrün. Mit der Nutzbarmachung der chromagenen Entwicklung, die auf Bildung von Farbstoffen im Entwicklungsprozeß beruht, konnten ab 1948 kostengünstig Drei-Farb-Film produziert werden. Die Farbfilmtechnik wird bis heute fortlaufend verbessert.

Vorläufer der Videotechnik

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts war immer noch das Bild und der Ton getrennt. Bild und Ton mußten synchron von den beiden Geräten abgespielt werden, was nicht immer gelang.

1898 erfand ein Däne ein Schallaufzeichnungs- und Wiedergabegerät. Mit dieser Methode legte er die Grundlage für die magnetische Tonaufzeichnung. Die Töne wurden damals magnetisch auf einen Metalldraht gespeichert, der 1928 durch Metallbänder, den sogenannten späteren Tonbändern, ersetzt wurde. Erste Anwendungsversuche waren Diktiergeräte und Anrufbeantworter, die durch ihre Unhandlichkeit kein großer Verkaufserfolg wurden. Doch stellte dieses Prinzip die Grundlage für die spätere magnetischen Filmaufzeichnung (Videotechnik) dar.

Das Fernsehen

Für die Fernsehentwicklung gab es zwei wesentliche Erfindungen, die schon im 19. Jahrhundert gemacht wurden. 1873 fand C. May die Lichtempfindlichkeit des Selen heraus. Mit Selen war es möglich elektrische Ströme in Abhängigkeit der Lichtintensität zu steuern.

Paul Nipkow meldete 1884 sein Patent zur Bildzerlegung und Reduktion an. Durch die Zeilenweise Abtastung der Bildinformation mit der Nipkow-Scheibe verbunden mit einer Fozelle war es möglich, das Bild in elektrische Sinale zu zerlegen. Damit war es möglich Bildinformationen zu senden und zu empfangen.

Die ersten Fernsehstrahlungen fanden in der Mitte der 30iger Jahre statt. Damals waren die Fernsehgeräte noch sehr kostspielig, deswegen entstanden die sogenannten Fernsehstuben für 20 Zuschauer. Ansonsten gingen die Leute in die Kinos, die einige Wochen später die Informationen aus aller Welt ausstrahlten.

Zwischen 1950 und 1960 erlebte das Fernsehen einen massiven Aufschwung. In dieser Zeit entstanden in Europa die Übertragungsarten PAL oder SECAM, die heute noch die Fernsehnorm sind.

Entstehung der Fernsehnormen

Das erste genormte Fernsehsystem in Farbe war das 1953 in der USA eingesetzte *NTSC-System*. NTSC steht für *National Television System Committee* mit 525 Zeilen. Dieses System war zu den schon vorhandenen Schwarz-weiß-Fernsehgeräten kompatibel.

Dieses System wurde später auch in Kanada und Japan eingeführt.

In Europa entwickelte 1957 ein Franzose das SECAM-System (*séquentiel couleur à mémoire*), das eine Weiterentwicklung des NTSC darstellt. Die SECAM-Fernsehnorm ist nicht so störanfällig bei der Übertragung von schwächeren Fernsehstationen. Diese Fernsehnorm war bis 1967 in Europa üblich. Dann wurde in Deutschland 1967 das PAL-System eingeführt, welches 1961 von Walter Bruch entwickelt worden war und mit Hilfe von Telefunken 1963 in seiner Farbstabilität verbessert wurde. PAL steht als Abkürzung für *Phase Alternation Line*, was frei übersetzt Phasenänderung pro Zeile bedeutet. Das PAL-Verfahren war mit Artefakten verbunden, an deren Korrektur in den 80er Jahren gearbeitet wurde. Das letzte Jahrzehnt vor der Jahrhundertwende war von der Entwicklung eines PAL kompatiblen Breitbildsystem (PALplus) und der Einführung des digitalen Fernsehsystems (Digital Video Broadcast, DVB) geprägt. Mit immer effizienteren Datenreduktionsverfahren sind hochauflösende Videosysteme (High Definition, HD) möglich. Daraus entsteht anstelle der Standardauflösung 4:3 das Breitbildformat 16:9.

Fernsehnormen

4:3 Bildformat

NTSC 480 (*Anzahl aktiver Zeilen*) x 640 (*aktive Pixel pro Zeile*)

SECAM 480 (*Anzahl aktiver Zeilen*) x 640 (*aktive Pixel pro Zeile*)

PAL 576 (*Anzahl aktiver Zeilen*) x 720 (*aktive Pixel pro Zeile*)

16:9 Bildformat nach US-HDTV-Normen

HDTV 720 (*Anzahl aktiver Zeilen*) x 1280 (*aktive Pixel pro Zeile*)

HDTV 1080 (*Anzahl aktiver Zeilen*) x 1920 (*aktive Pixel pro Zeile*)

Aufkommen der Videotechnik

Mit der Einführung der Fernsehtechnologie begann auch die Zeit der Videotechnik. Die Videotechnik wurde erstmals mit technischen Anlagen 1950 umgesetzt. Bei dieser Technik wird das Bild und der Ton auf ein magnetisches Band aufgezeichnet. Die magnetische Bildaufzeichnung (MAZ), wurde erstmals für das Fernsehen 1956 in Chicago eingesetzt. Was nur für Fernsehstationen gedacht war konnte fünf Jahre später im Handel erworben werden. Zwei Jahre später gab es schon die ersten Farb-Videorecorder, die die Größe von Tiefkühltruhen hatten. Die dazugehörigen Videobänder waren 10 Kilogramm schwer

und hatten eine Bandlänge von 800 Meter und 5 Zentimeter Breite. 1969 gab es die ersten Videokassetten mit einem Kunststoffgehäuse. Für den Heimbereich tauglich wurde die Videotechnik sechs Jahre später, mit der Einführung der *Betamax* von Sony. Das Beta-System wird bis heute im fernsehprofessionellen Bereich, durch die höhere Bild- und Tonqualität eingesetzt.

Doch konnte sich im Heimbereich das Betamax-System aus Kostengründen nicht durchsetzen und wurde 1971 vom *VCR-System* (Video-Cassette-Recorder) der Firma Philips abgelöst. Die verbesserte Version *Video2000* von Philips/Grundig löste 1979 das *VCR-System* ab. Den entgeltigen Durchbruch weltweit erzielte 1977 die Firma JVC mit der Einführung des *VHS-System* (Video Home System).

Im Fernsehbereich wurde bis Ende der 80er Jahre mit hochwertigen teuren Magnetbandaufzeichnungsgeräten im Format (MAZ) B und C gearbeitet. Als das Format Betacam SP preiswerter wurde vollzog sich in vielen Fernsehanstalten der Wechsel auf dieses Format als Standard im Produktionsbereich. Betacam verwendet zum einkanaligen PAL-Video signal ein drei Komponentensignal. Letzter Entwicklungsstand sind die Einführung der Digital-Video-Formate in den letzten Jahren, die erst für den Heimanwender entwickelt, durch die hervorragende Bildqualität vom professionellen Sektor adaptiert wurden. Das DVCPRO ist heute ein akzeptiertes Broadcastformat und DVCam das Digitalformat für den (semi-) professionellen Bereich.

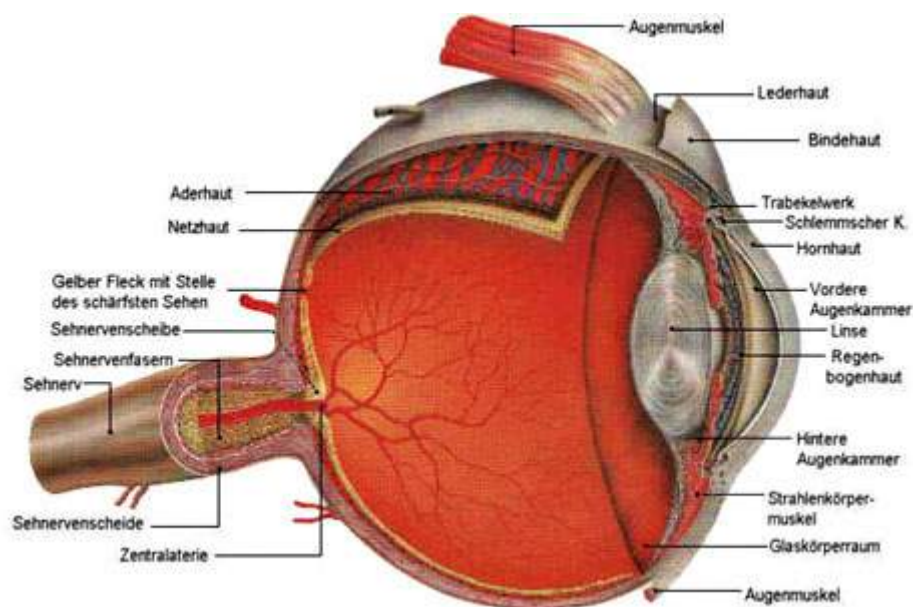
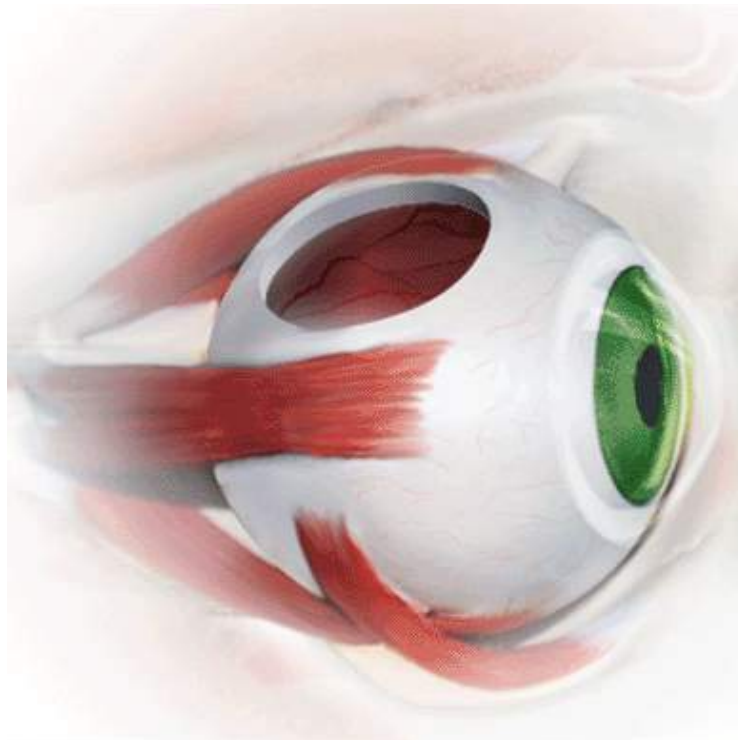
Die Digitalisierung

Bis Anfang der 90er Jahre beherrschen unzählige analoge Videoformate (VHS, VHS-C (*Video Home System Compact*), S-VHS, Video8) für den Semiprofessionellen Bereich und für die Hobbyisten den Consumer-Markt. Mit der Einführung des Hi8-Kassettenformates 1995 von Sony, war es erstmalig möglich Videoaufnahmen digital zu speichern. Schon Mitte der 80er Jahre vollzog sich bereits der Wechsel auf digitale MAZ-Systeme im Studiobereich. Alle angeschlossenen Geräte arbeiten digital und der Datenaustausch erfolgt meist in Echtzeit über das serielle digitale Interface.

Der menschliche Sehsinn

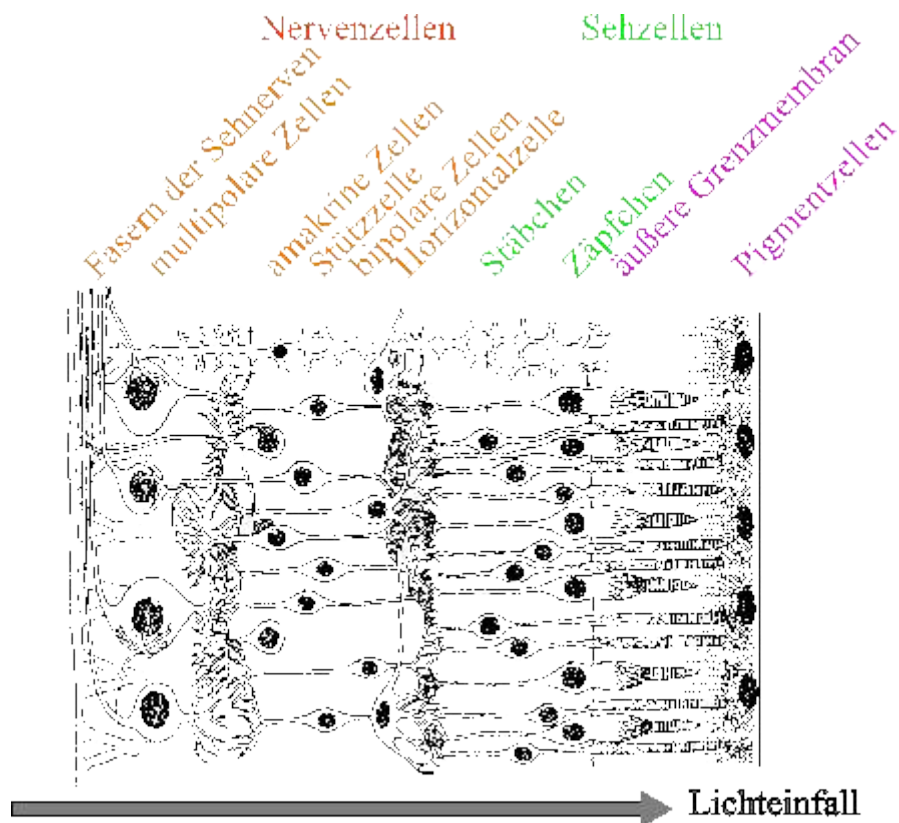
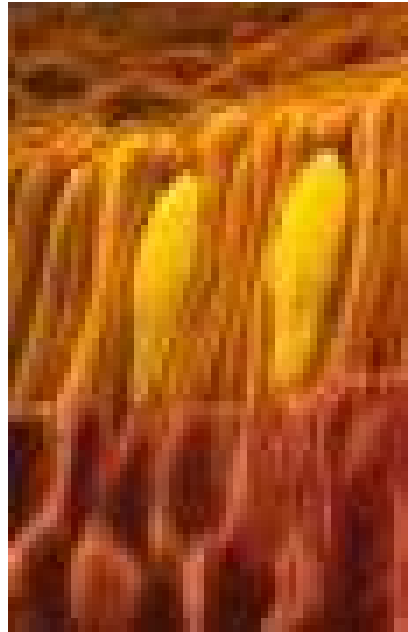
Allgemein

Unser Sehsinn, das Auge, nimmt durch verschieden starke Reflektionen der Elemente die Umwelt wahr. Die Intensität der Wahrnehmung ist von den Farben, Struktur und Material der Elemente abhängig. Helle Objekte werden stärker wahrgenommen, als dunklere. Das reflektierende Licht (Bild) wird kopfstehend über die Linse auf die Netzhaut, der Retina projiziert. Das Bild wird durch die Rezeptoren in Nervenimpulse umgewandelt und korrigiert.



Die Zapfen und Stäbchen

Es gibt zwei Arten von Rezeptoren, zum einen die Zapfen, die für das scharfe, farbige Sehen bei höherer Beleuchtungsstärke (ab ca. 10 Lux = 15 Watt) bei Tag zuständig sind und die Stäbchen, die bei einer geringeren Beleuchtungsstärke eine höhere Lichtempfindlichkeit, dafür aber keine Farbempfindlichkeit haben. Dies führt zu dem sogenannten Schwarz Weiß-Sehen in der Nacht. Das menschliche Auge besitzt eine Anzahl von 10^7 Zapfen und 10^9 Stäbchen.



Der gelbe Fleck

In der Mitte der Netzhaut gibt es eine Vertiefung, die sogenannte „Fovea centralis“ auch „Zentralgrube“ oder „gelber Fleck“ genannt. Diese Vertiefung weist eine hohe Rezeptorendichte auf. Das Auge kann innerhalb dieses Bereiches den Bildinhalt scharf sehen. Dabei ist der gelbe Fleck so klein, dass nur ein kleiner Teil des Bildes scharf gesehen wird. Damit aber der Mensch ein komplettes scharfes Bild seiner Umwelt erhält, tastet das Auge in unbewussten Sprüngen - den sogenannten „Saccadischen Bewegungen“ die Umwelt ab. Die einzelnen Bildausschnitte werden im Gedächtnis gespeichert und zu einem ganzen Bildeindruck zusammengesetzt.

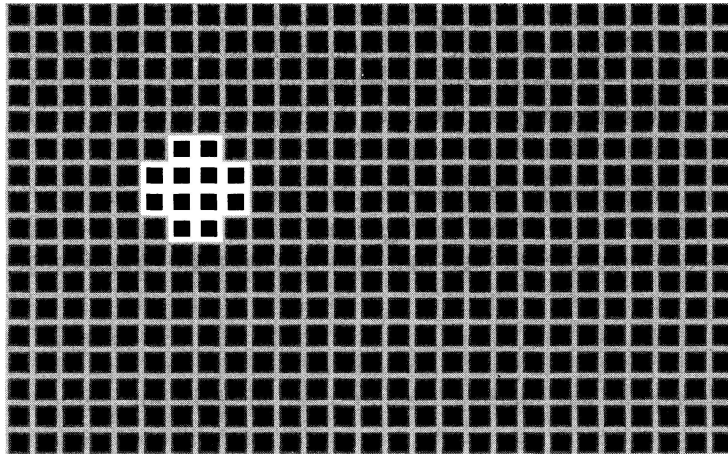


Bild : Scharfes Sehen im Bereich des Gelben Flecks

Das Farbsehen

Es gibt verschiedene Theorien des Farbsehens und der Verarbeitung der Nervenimpulse im Gehirn. Die am meisten verbreitete Theorie ist die vom englischen Physiker Young am 1807 entwickelte und später von Helmholtz verbesserte "Drei-Farben-Theorie". Danach werden die Zäpfchen in drei Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe deckt einen bestimmten Wellenlängenbereich der Spektralfarben ab. Dabei reagieren die Zäpfchen entsprechend ihrer spektralen Lichtempfindlichkeit und melden die Reize weiter an das Gehirn. Die Intensität der Spektralfarben innerhalb der verschiedenen Lichtwellenbereichen bleibt proportional. Im Gehirn werden anschließend die ausgewerteten Farbreize zu einem Bild zusammengesetzt.

Die Empfindlichkeitsbereiche der drei Gruppen:

Blau - Violett bei ca. 450 nm
Grün bei ca. 540 nm
Gelb - Rot bei ca. 600 nm

Die Helligkeitswahrnehmung

Die Helligkeitsunterschiede werden nicht wie man annehmen könnte durch die Stäbchen wahrgenommen, die nur für das Sehen bei geringer Beleuchtungsstärke zuständig sind, sondern vielmehr aus der Überlagerung der von den Zapfen gebildeten Farbsignale. Der Grenzbereich für das Hellempfinden liegt bei maximal 550 nm. Daraus ergibt sich ein relativer Helleindruck von verschiedenen Lichtquellen gleicher Lichtintensität, aber unterschiedlicher Lichtwellenlänge an.

Aus dieser Kurve geht hervor, dass die Farben Grün und Gelb am meisten zur Helligkeitsempfindung beitragen (so werten z.B. monochrome Computermonitore aus den angebotenen Farbsignalen oftmals nur die Grünkomponente aus).

Die geometrischen Auflösungsigenschaften

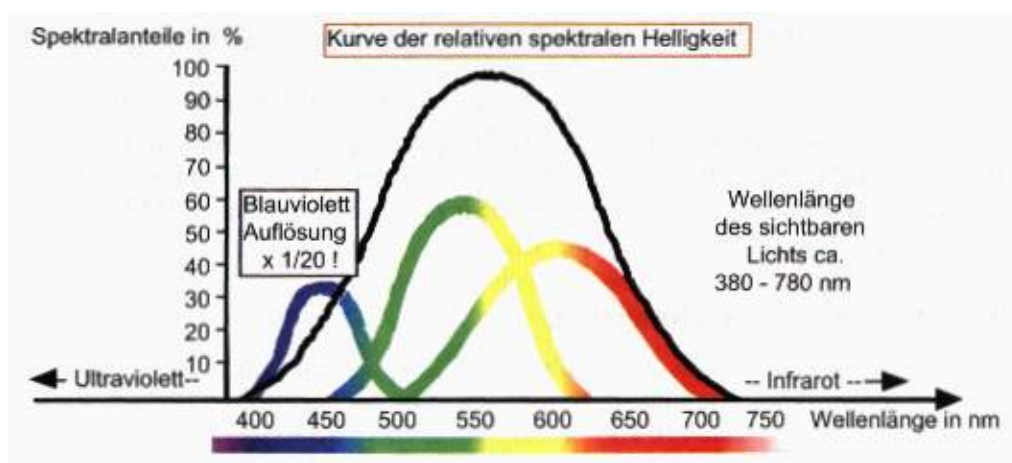


Bild Kurve der relativen spektralen Helligkeit

Die Hell/Dunkel-Auflösung

Das Auflösungsvermögen bezüglich feiner Hell/Dunkeldetails liegt im Bereich des Gelben Flecks im Mittel bei 1,5 Gradminuten. Das bedeutet, dass das Auge feine Strukturen gerade dann nicht mehr unterscheiden kann, wenn deren mittlere räumliche Ausdehnung vom Beobachter her unter einem Öffnungswinkel kleiner als $\frac{1}{40}$ Winkelgrad gesehen würde.

Die Farbauflösung

Nur Details, die unter einem größeren Öffnungswinkel gesehen werden, können also getrennt wahrgenommen werden. „Das bedeutet nicht, dass sie damit farblich einwandfrei identifizierbar sind. Vielmehr hängt die fehlerfreie farbliche Erkennung mit der Größe des zu identifizierenden Objektes zusammen, mit dem Öffnungswinkel den das farbige, leuchtende oder beleuchtete Objekt vom Betrachter her aufspannt.“ (Ranke, Fernsehstudioteknik) So werden erst ab ca. vier Gradminuten Rot/Gelbschattierungen und erst ab etwa zwölf Gradminuten alle (incl. Blautöne) farblichen Details einwandfrei erkannt.

Die zeitlichen Auflösungseigenschaften

Talbot'sches Gesetz

Für die Helligkeitsbewertung im Auge ist nicht nur der Farbton des einfallenden Lichtreizes von Bedeutung, sondern auch dessen Dauer. Bis zu einer Dauer von 200 ms gilt das Talbot'sche Gesetz, wonach Lichtreize von den Zäpfchen umso heller empfunden werden, je länger sie dauern. „**Das Auge verhält sich ähnlich einem fotografischen Material, dessen Schwärzung mit der Belichtung = Lichtstrom x Zeit zunimmt: es integriert.**“ (Ranke, Fernsehstudioteknik). Integration bedeutet Mittelwertbildung. Die Trägheit des Auges wird beim Fernseh- bzw. Video-Bild dergestalt ausgenutzt, dass die einzelnen Bildpunkte immer nur kurz aufleuchten und vom Auge zu einem scheinbar gleichzeitig existenten Bild zusammengesetzt werden.

Bewegungsverschmelzung

Jeder kennt die ersten, noch etwas holprigen Bilder aus den frühen Stummfilmen. Die unrunderen Bewegungsabläufe resultieren aus der geringeren Bildwechselfrequenz der Anfangsjahre (16 Hz), wobei nur nebenbei bemerkt sei, dass die etwas hektischen Abläufe nicht in erster Linie aus dieser Tatsache herrühren, sondern beim Umsetzen in die Fernsehnorm entstehen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird hierbei jedem Fernsehvollbild ein Filmbild zugeordnet, was letztlich zur Folge hat, dass die Filme schneller abgespielt werden als sie aufgenommen wurden - es kommt zu einem Zeitraffereffekt.

Das Vermögen des Gehirns, zeitlich isolierte Ereignisse auch als solche zu verarbeiten, geht bis zu einer Frequenz von etwa 16 Hz. Dabei kommt es nicht darauf an, ob es optische oder akustische Reize sind, oder etwa Reize, die über den Tastsinn aufgenommen werden. Entscheidend ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Gehirns. Bei der genannten Frequenz von 16 Hz beginnen einzelne Geräuscheignisse genauso zu einem Kontinuum - einem Ton - zu verschmelzen, wie einzelne Bilder zu einem Bewegungsablauf. Schon einige Hertz höher ist diese Verschmelzung abgeschlossen, so dass z.B. bei Film und Fernsehen eine Bildwechselfrequenz von 24 bzw. 25 Bildern pro Sekunde ausreicht, um den Eindruck natürlicher Bewegungsabläufe zu erzeugen.

Flimmern

Setzt man vor einer Lichtquelle eine Scheibe mit einem lichtdurchlässigen und einem lichtundurchlässigen Bereich zuerst langsam und dann immer schneller in Bewegung, so nimmt das Auge anstelle des anfänglich rhythmischen Wechsels von Hell und Dunkel allmählich ein ungleichmäßiges, unstetes Flimmern wahr.

Nach Erreichen der Flimmergrenze weicht dieses Flimmern einem gleichmäßigen Grauton. In Abhängigkeit von der Intensitätsdifferenz zwischen Hell und Dunkel sowie u.a. vom Verhältnis der Hell- und Dunkelzeiten, schwankt die Flimmergrenze zwischen 20 und 80 Hz.

In den Randbereichen des Sehfeldes wird Flimmern stärker und noch bei höheren Frequenzen wahrgenommen als im Zentrum.

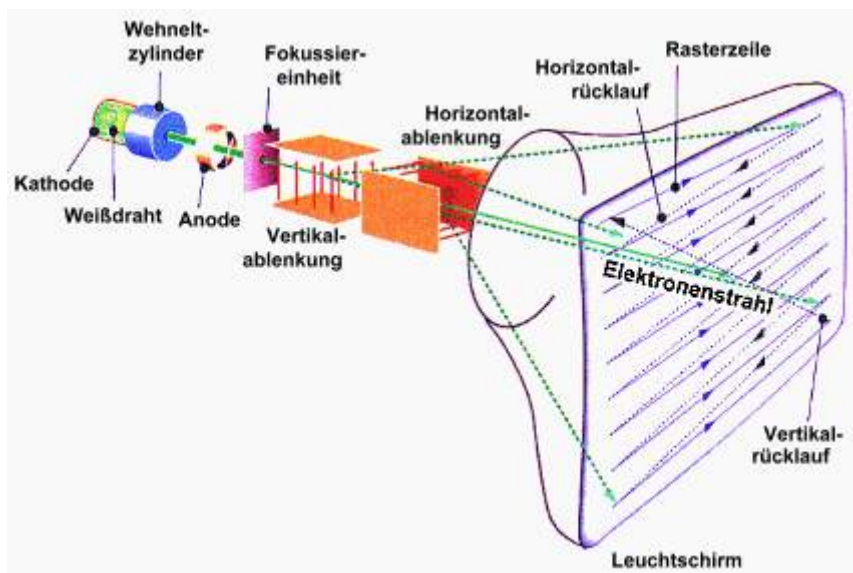
Das analoge Videosignal

Grundlagen der Schwarz/Weiß-Technik (625/50-Norm)

Zeilenweise Abtastung und Übertragung

Das Auge registriert mit Hilfe dicht nebeneinander gepackter Sinneszellen ein Bild als eine Vielzahl von punktuellen Einzelinformationen bezüglich der Lichtintensität und überträgt diese auf einer großen Zahl von Nervenleitungen gleichzeitig zum Sehzentrum im Gehirn. Wollte man bei der Übertragung von Fernsehbildern den gleichen Weg verfolgen, so benötigte man für jede dieser punktuellen Informationen einen eigenen Übertragungskanal sowie ebenso viele Sende- und Empfangseinrichtungen. Will man hingegen mit nur einem Übertragungskanal je Programm auskommen, so muss man die Einzelinformationen in diesem Kanal nacheinander übertragen. Deshalb wird bei der Abtastung die Bildvorlage zeilenweise in Bildpunkte zerlegt, diese nacheinander in einem einzigen Kanal übertragen und auch nacheinander wieder sichtbar gemacht.

Bei der Darstellung auf einem Fernsehmonitor werden die Phosphore der Bildröhre von einem vorbeilaufenden Elektronenstrahl zum Leuchten angeregt, leuchten kurz nach und werden wieder dunkler. Das Fernsehbild ist somit im Prinzip eine optische Täuschung, welche darauf beruht, dass das Auge bei kurzen Reizen einen Mittelwert bildet und diesen als kontinuierlich einstuft.



Querschnitt einer Bildschirmröhre

Es existieren heute im Fernsbereich weltweit zwei Hauptnormen (s. Fernsehnormen und -verfahren), die sich in der Bildwechselfrequenz und in der Zeilenzahl unterscheiden. In Nordamerika (USA, Canada) sowie z. B. in Japan hat sich eine - allgemein als US-Norm bezeichnete - Norm mit 525 Zeilen durchgesetzt. Unsere mitteleuropäische CCIR-Norm schreibt 625 Zeilen vor.

Aufgrund der sogenannten vertikalen Austastlücke - einer Dunkelphase, in der der Schreibstrahl vom unteren Bildrand aus wieder nach oben springt - sind nicht alle diese Zeilen aktiv, d.h. auf dem Schirm sichtbar. So werden in der CCIR-Norm lediglich 575 Zeilen auf dem Schirm dargestellt. Damit diese Zeilenstruktur nicht wahrgenommen werden kann, sollte, unter Berücksichtigung des geometrischen Auflösungsvermögens von ca. 1,5 Gradminuten, der Betrachtungsabstand (d) entsprechend der Gleichung:

$$d = \frac{h}{2} \times \frac{1}{\tan(575 \times 1,5 \text{ Grad Minuten})} = \frac{h}{2} \times \frac{1}{\tan 14,375^{\circ}} = 4h$$

etwa der vierfachen Bildschirmhöhe (h) entsprechen.

Halbbildübertragung

Die CCIR-Norm legt eine Bildwechselfrequenz von 25 Bildern/s (Frames/s) fest, wodurch eine befriedigende Bewegungsverschmelzung erreicht wird (US-Norm: 30 Frames/s). Darüber hinaus ist das menschliche Auge aber in der Lage, Leuchtdichteschwankungen als Flimmern, noch bei höheren Frequenzen, wahrzunehmen. Die Phosphore einer Bildröhre leuchten während und kurz nach der Anregung durch den Elektronenstrahl auf. In der Zeit bis zur nächsten Anregung muss ihre Leuchtdichte zu Null werden, da sonst helle Bildpunkte beim Übergang zu dunkleren Szenen nachleuchten würden. Die dadurch entstehende Leuchtdichteschwankung wird in Abhängigkeit von der Leuchtdichte der Bildvorlage als störendes Flimmern wahrgenommen. Bei den Leuchtdichten, die von einer Bildröhre erzeugt werden können, liegt die Flimmergrenze im Bereich um 50 Hz und höher.

Da eine Verdoppelung der Bildwechselfrequenz auch eine Verdoppelung der erforderlichen Bandbreite des Sendekanals zur Folge hätte, behilft man sich mit einem Kunstgriff - dem sogenannten Zeilensprungverfahren (auch Interlaced Mode genannt). Es werden in einem ersten Durchlauf alle ungeradzahligen Zeilen und in einem zweiten alle geradzahligen Zeilen in sogenannten Halbbildern (Fields) übertragen. Dadurch werden die jeweiligen Zeilen gerade dann vom Elektronenstrahl angeregt, wenn ihre vertikalen Nachbarn nachlassen. Da das Auge die einzelnen Zeilen nicht auflösen kann, werden die Schwankungen „ausintegriert“ und so letztlich der Effekt von 50 Bildern pro Sekunde simuliert. Dadurch wird die Wahrnehmbarkeit des Bildflimmerns stark reduziert.

Fernsehgeräte in der Preisoberklasse arbeiten heutzutage mit einem Bildspeicher aus dem die einzelnen Bilder mehrmals (und dafür schneller) ausgelesen werden, und liefern

so eine Teilbildfrequenz von 100 Hz; die Folge ist ein absolut flimmerfreies Bild, was sich vor allem bei langem Fernsehen positiv dadurch auswirkt, dass Ermüdungserscheinungen der Augen herabgesetzt werden. Im Rahmen der geplanten digitalen Fernsehausstrahlung wird es künftig u.a. möglich sein, eine Bildwechselfrequenz von 100 Hz direkt auszustrahlen.



Bildgrafik über das Zeilensprungverfahren

Das Austastsignal

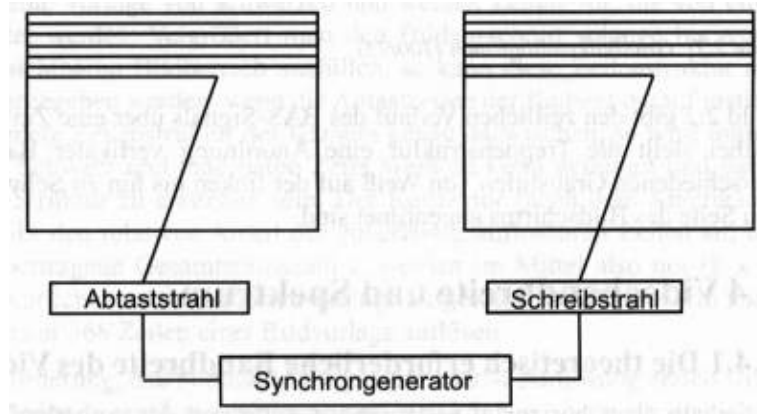
In den Zeiten, in denen der Elektronenstrahl vom Zeilenende zum Zeilenanfang zurückspringt, wird er für die Dauer von 12 ms dunkelgeschaltet, damit die Strahlrückläufe nicht sichtbar werden. Dieser Bereich innerhalb einer Zeile wird als horizontale Austastlücke bezeichnet. Die Austastlücke für den vertikalen Strahlrücklauf der zweimal je Vollbild notwendig ist, umfasst zwischen zwei Halbbildern jeweils 25 Zeilen. In diesem Bereich kann z.B. der Videotext übertragen werden.

Das Synchronsignal

Abtaststrahl von Bildquelle (z.B. Kamera) und Schreibstrahl der Bildröhre müssen synchron laufen, d.h. zu gleichen Zeiten an gleichen Orten des Bildfeldes stehen. Um das zu gewährleisten, wird in jeder Zeile ein Synchronsignal - gemeinhin auch als „Sync“ bezeichnet -- übertragen. Dies geschieht während der horizontalen Austastlücke, in deren Verlauf der „Sync“ für die Dauer von 4,7 μ s von der Austastspannung 0 Volt auf -0,3 Volt springt.

Da die Halbbilder abwechselnd mit einer ganzen und einer halben Bildzeile beginnen, wird im Bereich des Bildwechsels der „normale“ Rhythmus der Synchronsignale verdoppelt. Damit die Synchronisation an diesen Stellen nicht aussetzt, ist während der vertikalen

Austastlücke ein besonderes System von „Sync“ Impulsen erforderlich. Auf eine detaillierte Darstellung sei in diesem Rahmen verzichtet.

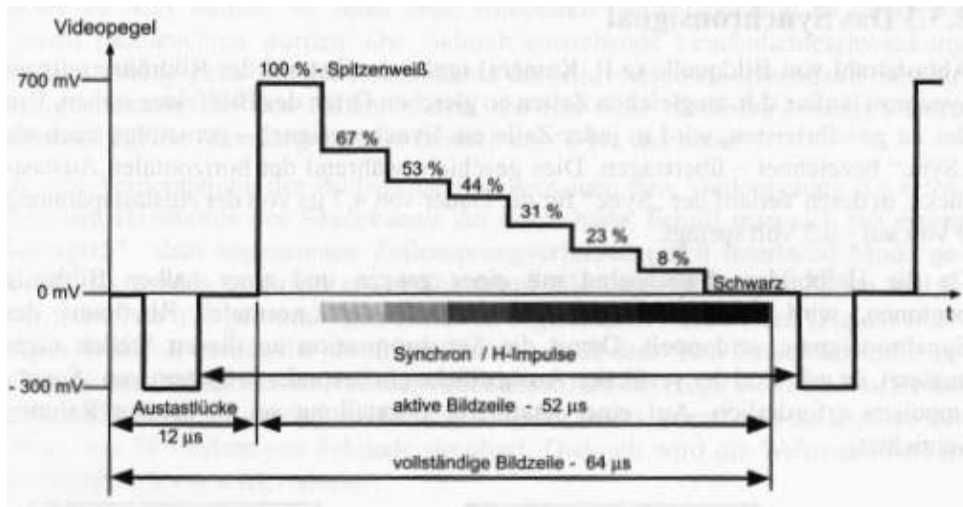


Synchronisierung von Abtast- und Schreibstrahl

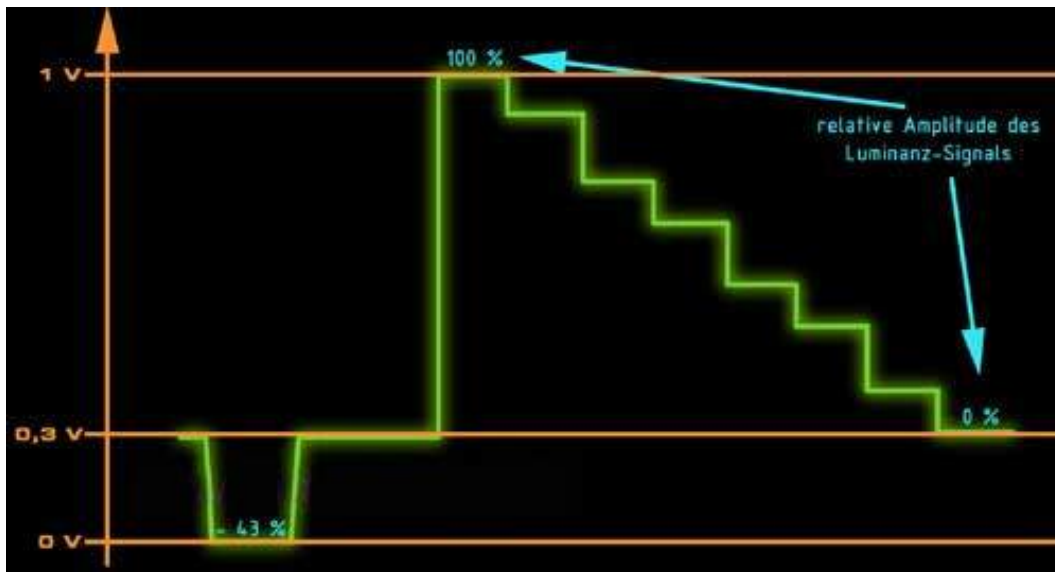
Der Empfänger erhält den „Sync“ im übertragenen Fernsehsignal mitgeliefert. Das Heimgerät filtert die negativen Signalanteile (-0,3 V) aus dem Signal heraus und nutzt sie für die Synchronisation des eigenen Schreibstrahls.

Des weiteren kann der „Sync“, stellvertretend für das Video-Signal selbst, zur Kontrolle desselben herangezogen werden. Bei jeder Übertragung erfährt das übertragene Signal eine Dämpfung. Kennt der Empfänger - wie bei einem Testbild - die Sollpegel, so kann er das ankommende Signal entsprechend aufbereiten. Im allgemeinen wird aber Bildmaterial übertragen, dessen Pegelstruktur der Empfänger nicht kennt. In diesem Fall kann der - zu -300 mV definierte - „Sync“ als ein Maß für die Übertragungsdämpfung herangezogen werden und die notwendige Aufholverstärkung automatisch eingestellt werden.

Das BAS-Graubalkendiagramm (BAS = Bild-, Austast- und Synchronsignal)



Graubalkendiagramm (100/75)



Das Bild oben gibt den zeitlichen Verlauf des BAS-Signals über eine Zeile hinweg wieder. Dabei stellt die Treppenstruktur eine Anordnung vertikaler Balken dar, die in verschiedenen Graustufen von Weiß auf der linken bis hin zu Schwarz auf der rechten Seite des Bildschirms angeordnet sind.

Videobandbreite und Spektrum

Die theoretisch erforderliche Bandbreite des Videosignals

Innerhalb einer horizontal verlaufenden Zeile regt der vorbeilaufende Elektronenstrahl die Phosphore der Bildröhre zum Leuchten an. Die Stärke des Strahls wird dabei von der Helligkeit der Bildvorlage an diesem Punkt bestimmt und damit von der Spannung des Bildsignals bezüglich dieses Punktes. Dieses Spannungssignal ist innerhalb einer Zeile ein zeitkontinuierliches Signal, welches eine erhebliche Anzahl von Pegeländerungen ausführen muss. Die Frequenz dieser Pegeländerungen, bezogen auf einen bestimmten Zeilenausschnitt, bezeichnet man als Ortsfrequenz dieses Zeilenausschnitts. Da die erforderliche Bandbreite des Übertragungskanals von der maximal auftretenden Ortsfrequenz abhängig sind, ist es wichtig, eine Abschätzung vorzunehmen. Die in diesem Zusammenhang extremste denkbare Vorlage besteht aus einer vertikalen schwarz-weißen Linienstruktur, bei der sich in horizontaler Richtung schwarze und weiße Linien abwechseln. Bei - horizontal wie vertikal - gleicher Auflösung erhält man diese gedachte vertikale Linienstruktur, indem man sich die horizontal verlaufende Zeilenstruktur um 90° gedreht vorstellt. Da das Bildschirmformat um den Faktor $4/3$ breiter ist als hoch, ergeben sich für die CCIR-Norm (Comité Consultatif International des Radiocommunications, heute ITU = International Telecommunication Union) an Stelle der 575 Zeilen dementsprechend 768 vertikale Linien. Für den Schreibstrahl, der Zeile für Zeile diese Linienstruktur schreibt, bilden je zwei benachbarte Linien eine Schwingungsperiode.

Die höchste erforderliche Frequenz lässt sich nun zunächst sehr einfach dadurch berechnen, dass man die maximal mögliche Anzahl solcher Perioden durch die Zeilendauer dividiert. Die Dauer einer Zeile beträgt 64 ms, von denen wegen des horizontalen Strahlrücklaufes nur 52ms für die Übertragung des eigentlichen Bildinhaltes zur Verfügung stehen. Damit ergibt sich:

$$f = \frac{768/2}{52\mu\text{s}} = 7,4 \text{ MHz}$$

Quantisiertes Bild

Bei Röhrenbildwandler ist aufgrund der Zeilenstruktur das Bild in der Vertikalen gerastert. Moderne Halbbildwandler (CCD) arbeiten mit deutlich abgegrenzten Bildpunkten (Picture Elements, Pixel). Das Bild wird in Zeilen und Spalten quantisiert. Je mehr Bildpunkte vorhanden sind je schärfer erscheint das Bild.

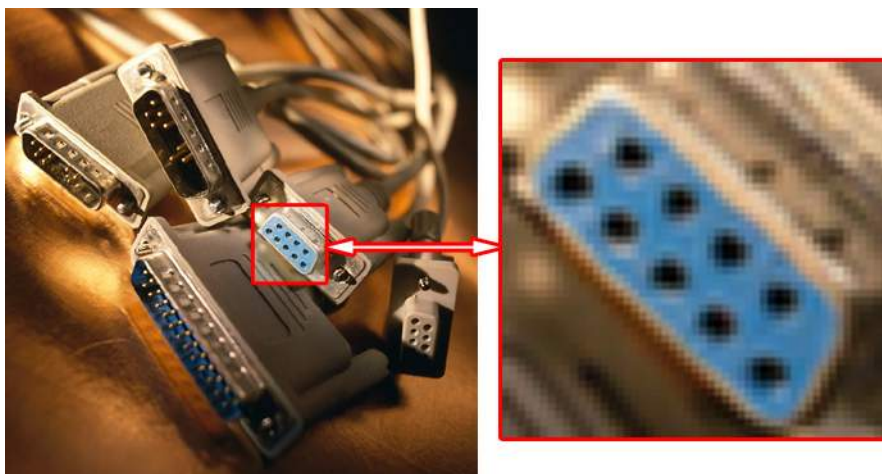


Bild mit 400 Zeilen



Bild mit 100 Zeilen

Durch das Zerlegen des Bildes in Bildpunkte kann es abhängig von der Fernseh-Bildschirmauflösung mehr oder weniger zu einer Bildverfälschung, dem sogenannten "Aliasanteil", kommen. Meistens sieht man dies an sich scheinbar rückwärtsdrehenden Speicherrädern oder ein Flimmern bei feinen Strukturen wie ein Sieb. Das Fernseh raster ist für solche feinen Strukturen zu grob. So entstehen Treppenstrukturen meist an den Diagonalen, die im Originalbild nicht vorhanden sind.



Kellfaktor und tatsächliche Bandbreite

Allerdings kann ein System mit „z“ Zeilen nicht genauso viele Zeilen zuverlässig abtasten. Man stelle sich eine Vorlage von schwarzen und weißen Zeilen vor, die von einer Kamera abgetastet werden. Vergrößert man den Bildausschnitt solange bis exakt 575 Zeilen den sichtbaren Bildbereich ausfüllen, so kann diese Zeilenstruktur nur dann exakt wiedergegeben werden, wenn die Abtastzeilen der Kamera darauf justiert sind. Liegt die innere Zeilenstruktur der Kamera genau dazwischen, so wird immer eine halbe Zeile Schwarz und eine halbe Zeile Weiß zu Grau gemittelt und dabei überhaupt keine Struktur zu erkennen sein. Der Kellfaktor (nach dem Amerikaner Kell) $k = 0,64$ gibt den relativen Anteil der zuverlässig auflösbaren Zeilen an; bezogen auf die übertragene Gesamtzeilenzahl z , werden im Mittel also nur $(k \times z)$ Zeilen einer willkürlichen, nicht justierten Vorlage aufgelöst. Die CCIR-Norm kann dementsprechend nur 368 Zeilen einer Bildvorlage auflösen.

Erhebt man die Forderung, dass horizontal die gleiche relative Auflösung erzielt wird, wie sie die 575 Zeilen in vertikaler Richtung abbilden können, so errechnen sich in horizontaler Richtung an Stelle der ursprünglich 768 nur noch etwa 490 Linien. Die gesamte erforderliche Bandbreite beträgt demnach:

$$f = \frac{490/2}{52\mu\text{s}} = 4,7 \text{ MHz}$$

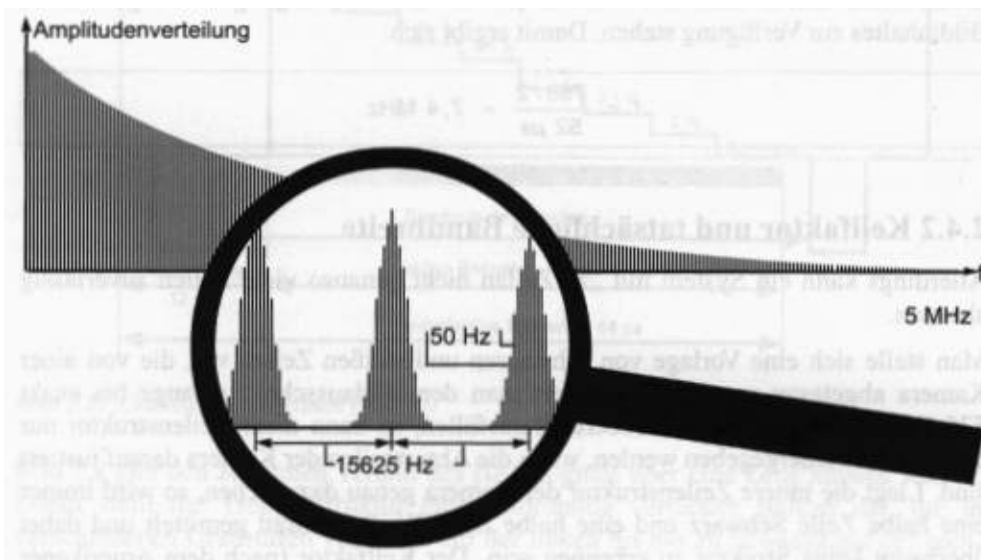
Dies ist auf der einen Seite die absolute Mindestanforderung, da Schwarz/Weiß-Sprünge sich im Signalstrom theoretisch als Rechteckverlauf ausprägen und in dieser Abschätzung nur die erste Grundwelle berücksichtigt wurde. Auf der anderen Seite ist das gewählte Linienmuster in sich natürlich eine sehr theoretische Vorlage, so daß für die Ausstrahlung 5 MHz als ausreichend betrachtet werden.

Das Spektrum des BAS-Signals

Das Spektrum des BAS-Signals ist kein kontinuierliches Spektrum, sondern enthält nur bestimmte Frequenzen, deren Verteilung folgendes Bildungsgesetz beschreibt:

$$f_{\text{BAS}} = m \times f_{\text{H}} + n \times f_{\text{V}}$$

m, n : ganze Zahlen; f_{H} : Zeilenfrequenz 15625 Hz; f_{V} : Halbbildfrequenz 50 Hz



Spektrum des BAS-Signals

Daraus geht hervor, dass das Spektrum aus Vielfachen der beiden Grundfrequenzen besteht und die einzelnen Spektrallinien in der Regel einen Abstand von 50 Hz nicht unterschreiten.

Die Pegel der einzelnen Spektrallinien weisen üblicherweise Maxima und Minima auf, wobei die Einhüllende der Maxima mit zunehmender Frequenz absinkt. Dies geschieht umso langsamer, je höher in der Vorlage die Kontraste bei hohen Ortsfrequenzen sind.

Die Gruppierung in Hauptspektralbereichen um die Zeilenfrequenzvielfachen und die relativ geringen Pegel im höheren Frequenzbereich werden bei der Übertragung des Farbsignals genutzt. Im übrigen redet man vom Spektrum des BAS-Signals, meint damit aber das Spektrum des Bildsignals, dem Träger der eigentlichen Information.

Das Farbbildsignal und seine Verarbeitungsstufen Die RGB-Farbwertsignale

Spektralzerlegung bei der Bildabtastung

Die Farbphotographie, der Farbfilm und auch das moderne Farbfernsehen lehnen sich in der Umsetzung von farbigen Vorlagen eng an die Arbeitsweise des Auges an. Farben werden als eine Mischung dreier Grundfarben interpretiert und verarbeitet. Dabei ist sowohl beim Auge als auch bei Photo und Film (auch bei den älteren 1-Röhren- bzw. 1-Chip-Kameras) die Netzhaut bzw. die zu belichtende Fläche durchsetzt mit „Sensoren“, die, dicht nebeneinander gepackt, jeweils auf die in ihrem Empfindlichkeitsbereich liegenden Spektralanteile reagieren und dabei den gesamten Spektralbereich auf einer einzigen „Fläche“ erfassen.

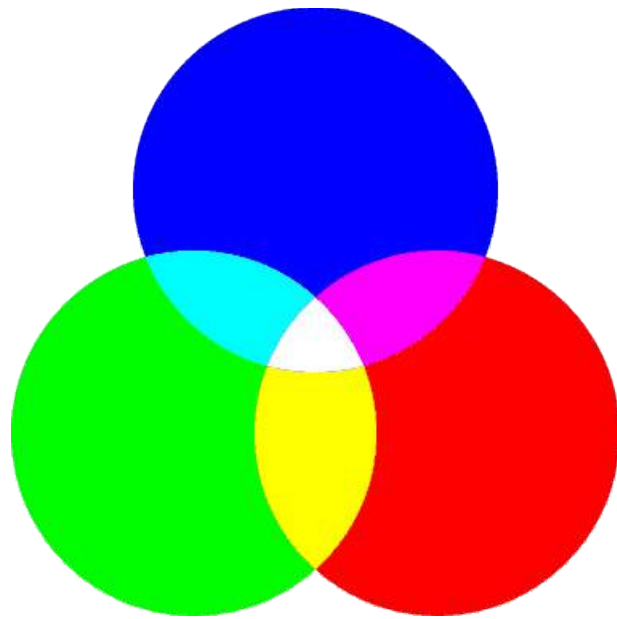
Demgegenüber erfolgt in den modernen 3-Chip-Farbfernsehkameras über ein so-
genanntes Farbteilerprisma eine Zerlegung der Bildvorlage in drei - bezüglich ihrer
Bildinhalte - deckungsgleiche Farbauszüge, die, räumlich getrennt, auf ihre Leuchtdichte
hin abgetastet werden und als Farbwertsignale Rot, Grün und Blau am Ausgang der
Kamera zur Verfügung stehen. Für jeden dieser Farbauszüge gelten bezüglich Spektrum
und Pegel die gleichen Überlegungen wie für die Luminanz im Schwarz/Weiß-System.

Farbbildreproduktion durch additive Farbmischung

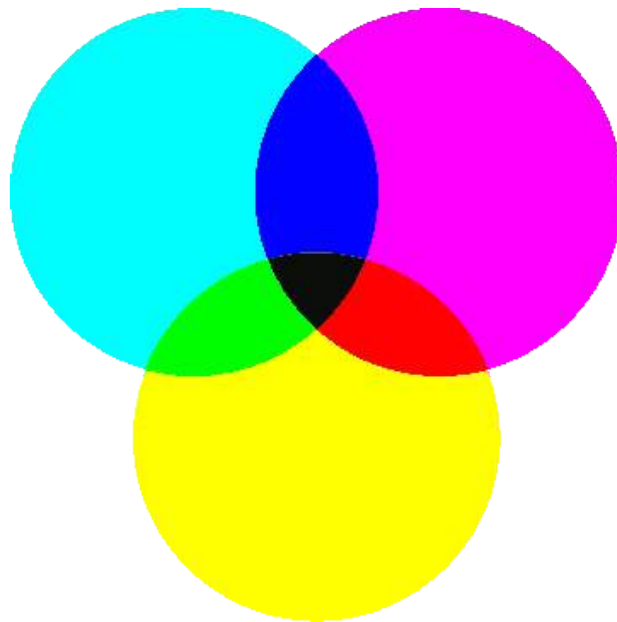
Da im Gegensatz zum durchleuchteten DIA- oder Filmnegativ (subtraktive Farbmischung)
in der Bildröhre Phosphore zum Einsatz kommen, die nach Anregung durch einen
Elektronenstrahl selbst leuchten, liegt hierbei eine additive Farbmischung vor.

Bei der Wiedergabe müssen die drei Farbauszüge, unter Ausnutzung der zeitlichen oder
geometrischen Auflösungsgrenzen des Sehsinns, wieder so zusammengefügt werden,
dass der Eindruck eines farbigen Bildes entsteht. Grundlage aller heutigen
Wiedergabebildröhren ist eine Technik, mit deren Hilfe die drei Farbauszüge zeitgleich
und in einer einzigen Ebene wieder sichtbar gemacht werden. Dabei sind die
Fernsehzeilen in kleine Bildpunkte - sogenannte Farbtripel - unterteilt, die aus jeweils drei
Phosphoren unterschiedlicher Leuchtfarbe bestehen. Stellt man sich die Bildpunkte in
ihrer Grundform als quadratisch vor, so ergeben sich horizontal 768 Bildpunkte.
Dementsprechend ist bei Einhaltung des vorgeschlagenen Betrachtungsabstandes von 4
h die innere Struktur der Bildpunkte nicht auflösbar - die Farbtripel verschmelzen zu einem
Bildpunkt (Pixel).

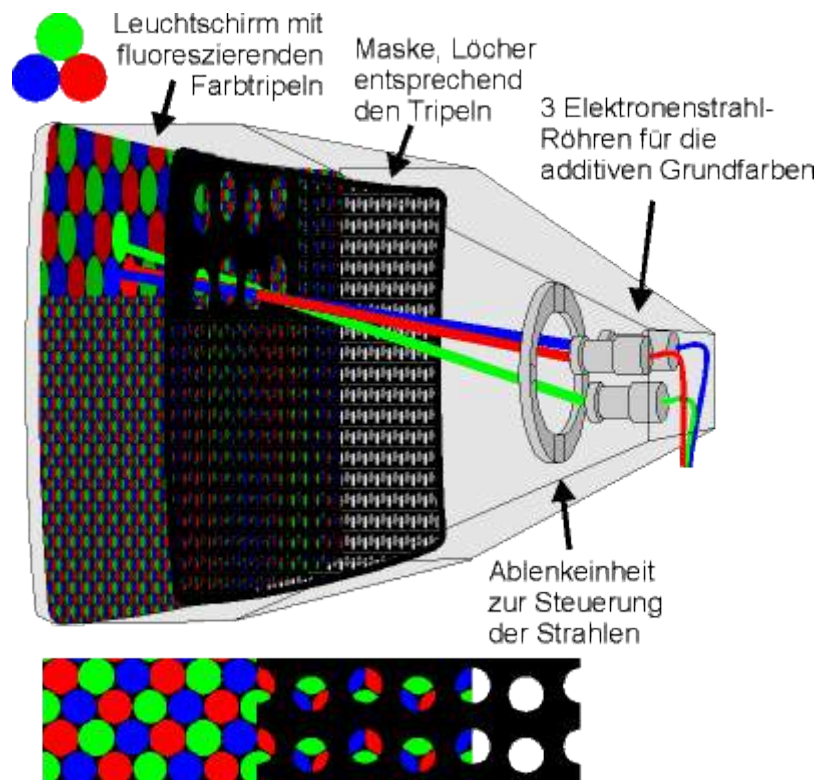
Um die drei Phosphore der Bildpunkte gleichzeitig anzuregen, sind drei unabhängige
Elektronenstrahlen erforderlich, die so eingerichtet werden müssen, dass sie innerhalb
jedes einzelnen Farbtripels auf den ihnen zugeordneten Phosphor treffen. Dies wird
erreicht durch eine hinter der Röhrenfläche angebrachte Schattenmaske, in deren Ebene
sich die - von unterschiedlichen Punkten ausgehenden - drei Elektronenstrahlen in jeweils
einer Punktöffnung quasi durchdringen, um anschließend, wieder auseinanderstrebend,
kurz hinter der Lochmaskenebene auf die jeweiligen Phosphore zu treffen. Röhrenformen
wie z.B. „Trinitron“- oder „Lynitron“-Röhren unterscheiden sich von der Schattenmaske in
der Anordnung der Maskenöffnungen, in der Strahlführung sowie in der Anordnung der
Farbtripel.



additiver Farbkreis



subtraktiver Farbkreis

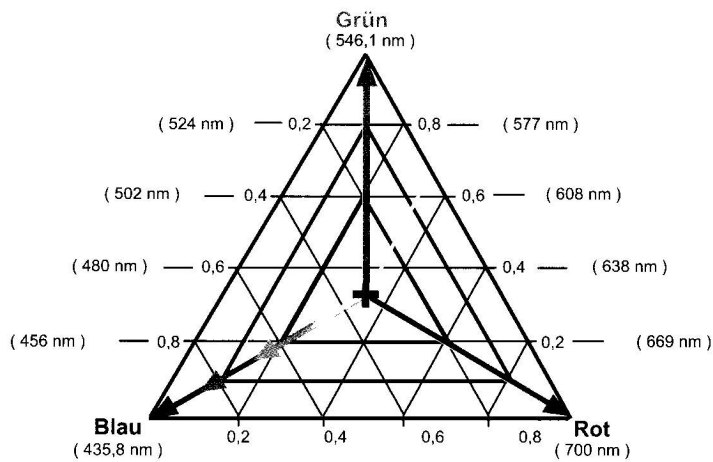


Querschnitt des Aufbaus eines Fernsehsystems

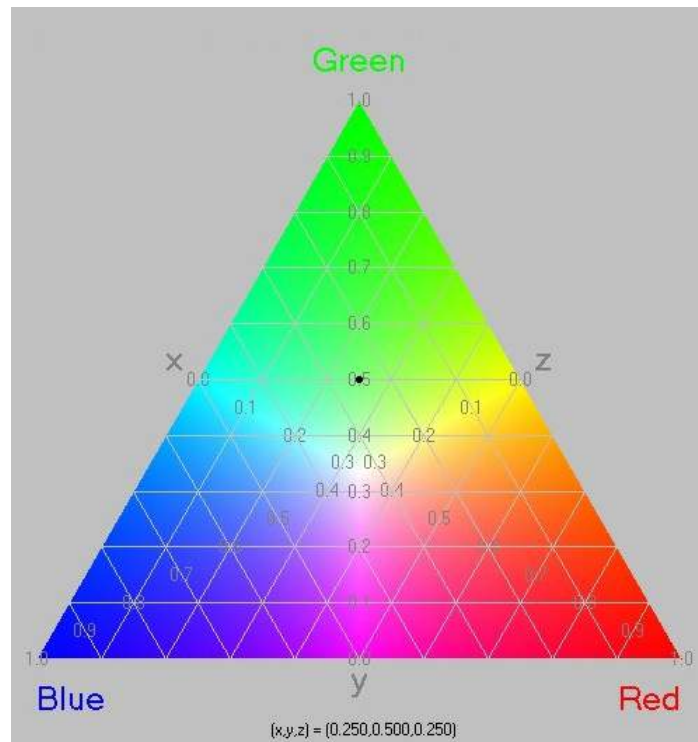
Maxwelldreieck

Die Wellenlängen der Eichfarben sind nicht identisch mit jenen, bei denen das Auge Empfindlichkeitsmaxima aufweist. Während beim Auge ein echter Rotsensor fehlt und dieser Bereich offensichtlich vom Gelbsensor hinreichend mit abgedeckt wird, verwendet man aus Gründen, die vornehmlich mit der Farbsättigung zusammenhängen, beim Fernsehen Phosphore, die im langwelligen (rötlichen) Randbereich des sichtbaren Spektrums liegen. Die beiden anderen Phosphore entsprechen mit Blau (etwa 450 nm) und Grün (etwa 540 nm) in etwa denen des menschlichen Auges. Kommen aus technischen Gründen anders strahlende Phosphore zum Einsatz, dann muss dies durch eine veränderte Filtercharakteristik kompensiert werden.

Man kann sich die gewählten Eichfarben als die Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks vorstellen, innerhalb dessen sich durch verschiedene Anteilkombinationen jeder Farbton des sichtbaren Lichts reproduzieren lässt. Dieses Dreieck wird nach dem gleichnamigen Physiker auch Maxwelldreieck genannt.



Maxwelldreieck



Im Mittelpunkt des Maxwelldreiecks liegt der sogenannte „Unbunt“-Punkt - der Punkt, in dem die drei Farbkomponenten entsprechend ihrem Beitrag zur Helligkeitsbildung gleich stark vertreten sind und dabei die Grauskala - von Weiß bis Schwarz - bilden.

Von diesem Punkt ausgehend, lässt sich jede Farbe auch als Winkel gegenüber einer imaginären Bezugsachse darstellen. Legt man zum Beispiel das Eichrot als 0°-Achse fest und geht dann gegen den Uhrzeigersinn weiter, so überstreicht der Zeiger den Wellenlängenbereich von 700 nm bei 0°, bis hin zu 546 nm - Eichgrün bei 120°. Die Länge

eines Zeigers (vom Unbuntpunkt bis zum jeweiligen Farbkoordinatenpunkt), bezogen auf die unter diesem Winkel maximal mögliche Länge bis zum Außenrand, spiegelt die Farbsättigung wieder. Demgemäss sind die konzentrischen Dreiecke im inneren Kurven gleicher Farbsättigung; im Unbuntpunkt liegt keinerlei Sättigung in irgendeine Farbrichtung vor, da ja keine Farbe bevorzugt enthalten ist. Auf den Außenseiten des Dreiecks liegt die Sättigung bei 100%.

Die Farbdifferenzsignale

Kompatibilitätsüberlegungen

Eigentlich könnte mit den RGB-Farbwertsignalen eine Farbfernsehausstrahlung schon realisiert werden. Wenn man einmal davon absieht, dass für die direkte Ausstrahlung dieser Grundsignale der Sendekanal die dreifache Bandbreite eines Schwarz/Weiß-Kanals benötigte, so hätte man dabei in jedem Fall die beste technische Qualität zu erwarten. Neben der Bandbreitenproblematik sprach bei Einführung des Farbfernsehens ein anderer wesentlicher Punkt gegen einen solchen Weg. Es mussten nämlich die herkömmlichen Schwarz/Weiß-Geräte weiterhin Verwendung finden. Schließlich gab es bei den Zuschauern zunächst kaum Farbfernsehgeräte. Andererseits sollte Schwarz/Weiß-Material auf Farbempfängern - wenn auch nicht farbig - so doch ohne zusätzlichen Aufwand empfangen werden können.

Nun ist aber leicht einzusehen, dass ein RGB-Signal, wie es von allen Farbbildgebern geliefert wird, nicht direkt kompatibel zu Schwarz/Weiß-Signalen sein kann, denn es fehlt die unmittelbare Information bezüglich der Luminanz und nur diese kann von den Schwarz/Weiß-Geräten verarbeitet werden. Umgekehrt wird ein Farbempfänger, der auf eine unmittelbare Verarbeitung von RGB-Signalen eingerichtet ist, ohne zusätzlichen Schaltungsaufwand mit dem reinen Luminanz-Signal von Schwarz/Weiß-Sendungen nichts anfangen können. Aus diesen Gründen musste das Farbbildsignal so aufbereitet werden, dass daraus die Luminanz direkt entnommen werden konnte.

Gewinnung der Luminanz Y

Aus den drei Farbwertsignalen, in denen ja die Leuchtdichte bezogen auf je einen bestimmten Spektralbereich enthalten ist, muss ein Leuchtdichtesignal gewonnen werden, welches den unterschiedlichen Beitrag verschiedener Farben zum Hellempfinden berücksichtigt. Die drei Farbwertsignale müssen dabei entsprechend der V_λ -Kurve gewichtet werden. Dies geschieht in einer Matrixschaltung nach folgender linearen Gleichung:

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

Die Farbdifferenzsignale R-Y und B-Y

Damit wäre das Y-Signal gewonnen, aber die jetzt vorhandenen vier Signale erforderten derart ausgestrahlt mittlerweile über 20 MHz Bandbreite. Allerdings ist das Y-Signal ja

nichts anderes als eine Linearkombination der RGB-Signale - was heißt, es steckt keine neue, sondern nur eine umgeformte Information darin. Man kann die gleiche Information auch in drei Signalen ausdrücken, wenn diese als Kombination aus zwei Farbkomponenten und dem Y-Signal dargestellt werden. Dies geschieht in den Farbdifferenzsignalen R-Y und B-Y, welche sich aus folgenden Gleichungen ergeben:

$$(R - Y) = R - (0,3 R + 0,59 G + 0,11B) = + 0,7 R - 0,59 G - 0,11 B$$

$$(B - Y) = B - (0,3 R + 0,59 G + 0,11 B) = - 0,3 R - 0,59 G + 0,89 B$$

Aus den drei Signalen Y, R-Y, B-Y lassen sich die drei RGB-Signale wieder bilden und trotzdem liegt die Luminanz direkt kompatibel vor.

Stand der Verarbeitung an diesem Punkt:

Drei Signale von 5 MHz Bandbreite, von denen eines direkt schwarz/weiß-kompatibel ist. Signale die in dieser Form vorliegen, sollen künftig von Digital-MAZ-Systemen nach der 4:4:4-Norm aufgezeichnet werden. Im weiteren Verlauf werden zu den einzelnen Verarbeitungsschritten die jeweils verwendeten MAZ-Formate genannt. Diese werden im Abschnitt „Aufzeichnungsformate“ vorgestellt.

Bandbreitenreduzierung in den Farbdifferenzsignalen

Die Fähigkeit feine Details farblich korrekt aufzulösen, ist erheblich geringer ausgeprägt, als dies bei feinen Hell/Dunkel-Strukturen der Fall ist. Aus diesem Grund muss auch nicht jedes übertragene Luminanz-Detail eine ebenso feine farbliche Zuordnung aufweisen. Da weniger feine Details auch weniger Bandbreite benötigen, werden die beiden Farbdifferenzsignale als Träger der Farbinformation konsequenterweise in ihrer oberen Grenzfrequenz beschnitten. Die Begrenzung im Rahmen der Komponententechnik liegt zwischen 1,5 (Betacam UVW-Serie) und 3 MHz (CCIR 601).

Stand der Verarbeitung an diesem Punkt:

Ein Signal mit voller Bandbreite als Träger der Luminanz-Information sowie zwei bandbegrenzte Farbdifferenzsignale. Bis hierher ist die technische Ausgangsqualität der Signale noch weitgehend erhalten und kann - von der Bandbegrenzung abgesehen - ohne Verlust in RGB-Signale zurückgerechnet werden.

Signale die in dieser Form vorliegen, werden mit 4-2-2-Digital-MAZ-Systemen nach der CCTR 601-Norm (D5, D1 sowie Digital Betacam) sowie mit den Analog-MAZ-Systemen Betacam SP und MII aufgezeichnet, wobei die Bandbreite der reduziert aufgezeichneten Farbdifferenzsignale unterschiedlich hoch - in jedem Fall aber noch deutlich über den Anforderungen der verschiedenen Farbübertragungsverfahren liegt.

Anmerkung: Die Entstehung der Bezeichnung 4:4:4 bzw. 4:2:2 liegt in der Historie der Bemühungen um eine weltweite Normung für digitale Video-Abtastung begründet und bezieht sich auf die Abtastrate. In der mittlerweile festgelegten CCIR 601-Norm steht die Ziffer „4“ für eine Abtastrate von 13,5 MHz und die Ziffer „2“ für eine Abtastrate von 6,75 MHz. Während die erste Ziffer die Abtastung der Luminanz bezeichnet, machen die

beiden letzten Ziffern Aussagen über die Chrominanz-Abtastung. Da die Abtastrate eng mit der zulässigen Signalbandbreite gekoppelt ist, steht die Bezeichnung im Sprachgebrauch auch hierfür. So bezeichnet man im allgemeinen mit 4:4:4 die volle Luminanz- und Farbauflösung und mit 4:2:2 volle Luminanz- aber eingeschränkte Farbauflösung .

Das FBAS- (Farb-, Bild-, Austast-, Synchronsignal) oder Composite-Signal

Frequenzverkämmung mittels Farbhilfsträger bzw. Sub-Carrier (SC)

Die Übertragungsnormen schreiben am Ausgang des Studios eine Bandbegrenzung des Videosignals vor. Diese wurde schon für Schwarz/Weiß-Signale festgelegt und sollte bei Einführung des Farbfernsehens nicht geändert werden. Deshalb mussten in einem weiteren Schritt auch noch die Farbdifferenzsignale in den vormals ausschließlich für die Luminanz zur Verfügung stehenden Frequenzbereich integriert werden.

Das FBAS- oder Composite-Signal entsteht durch die Zusammenführung von Luminanz (Y)- und dem Chrominanzsignal (C). Die Farbdifferenzsignale werden dazu zunächst zum Chrominanzsignal zusammengefasst, das aufgrund der gleichen Zeilenstruktur auch in etwa die gleichen Lücken im Amplitudenspektrum aufweist wie das Luminanzsignal. Das Chrominanzsignal wird anschließend auf einen Farbhilfsträger moduliert und somit das Y- und C-Signal ineinander verkämmt.

Im Chrominanzsignal sind die beiden Farbdifferenzkomponenten zusammengefasst. Es gibt diesbezüglich die drei wichtigsten Varianten NTSC, SECAM und PAL.

Vor der weiteren Verarbeitung zum FBAS-Signal wird die Bandbreite der Farbdifferenzsignale entsprechend der Anforderungen des jeweiligen Farbübertragungsverfahrens begrenzt, in ihrem Pegel reduziert und nunmehr als „Farbartsignale“ bezeichnet. Die Pegelanpassung ist notwendig, da sonst im weiteren Verlauf durch Überpegel Probleme im Sendeweg auftraten. Je nach Farbübertragungsverfahren liegt die Grenzfrequenz zwischen 0,9 MHz und 1,85 MHz. Die Farbartsignale werden mit U/V (PAL), I/Q (NTSC), D_r/D_b (SECAM) bezeichnet.

Die Frequenzanalyse zeigt für Luminanzsignale ein Linienspektrum, dessen Pegel im oberen Frequenzbereich zunehmend kleiner werden und sich um die Zeilenvielfachen (siehe vorne) gruppieren. Dazwischen bilden sich Lücken, die die Möglichkeit bieten, weitere Informationen zu übertragen. Deshalb kam man auf den Gedanken, die Farbartsignale mittels einer Modulation (s. Einschub 1 und 2) in diesen oberen Frequenzbereich zu versetzen und zusammen mit der Luminanz im Frequenzmultiplex zu übertragen. Da die Farbartsignale die gleiche Spektralstruktur aufweisen wie die Luminanz, kann das entstehende Signal durch geschickte Wahl der Trägerfrequenz in die Spektrallücken der Luminanz eingeschachtelt werden.

Das Prinzip dieser Einschachtelung - auch Frequenzverkämmung genannt - zeigt folgende Graphik:

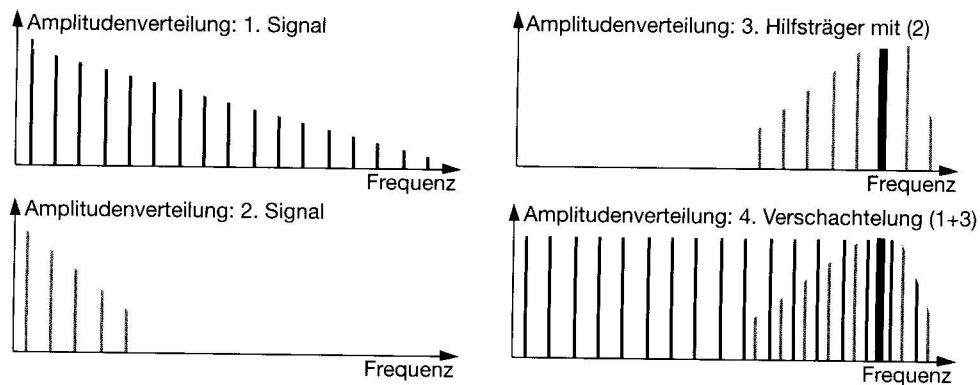
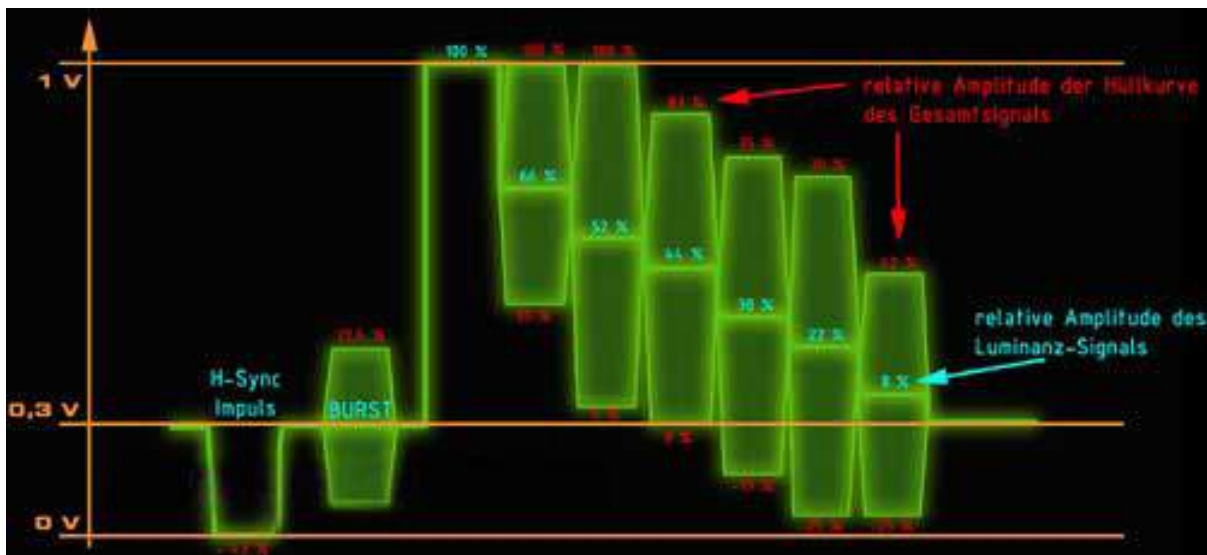


Bild: Frequenzverkämmung



Das Problem, das in diesem Zusammenhang auftritt, liegt darin begründet, dass zwei Farbartsignale frequenzverkämmt mit der Luminanz übertragen werden müssen. Die verschiedenen Farbübertragungsverfahren beschreiten unterschiedliche Wege, um beide Farbartsignale zu übertragen. So verwenden das NTSC- und das PAL-Verfahren die sogenannte Quadratur-Amplitudenmodulation (zweifache Amplitudenmodulation mit zwei Träger gleicher Frequenz), während das SECAM-Verfahren mit Frequenzmodulation arbeitet und im zeilenweisen Wechsel jeweils nur eines der beiden Farbartsignale überträgt.

Um die Beschreibung der verschiedenen Stufen der Farbsignalverarbeitung - von den drei RGB-Signalen hin zum sendefähigen Composite-Signal - an dieser Stelle nicht mit zu vielen Details zu belasten, sei hier lediglich festgehalten, dass eine solche Übertragung möglich ist. Eine differenziertere Darstellung der Farbübertragungsverfahren „NTSC“, „PAL“ und „SECAM“ findet sich in der Literatur.: „Normen und

Farbübertragungsverfahren“. Allen Verfahren gemeinsam ist die Frequenzumsetzung der Farbartsignale und die gemeinsame Übertragung von Luminanz- und Farbartsignalen auf einer Leitung. Die Farbartsignale werden nach der Frequenzumsetzung als Chrominanz bezeichnet.

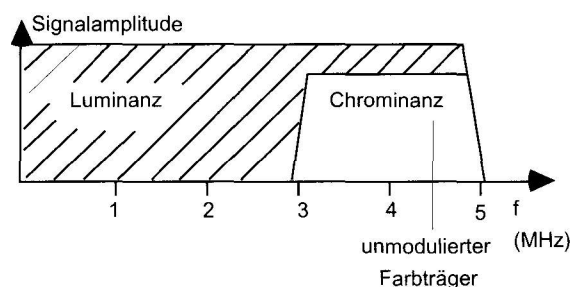
Stand der Verarbeitung nach der Frequenzumsetzung, aber noch vor der Spektralverkämmung (Signal 3 der obigen Graphik):

Luminanz-Signal in voller 5 MHz - Bandbreite und Chrominanz entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Farbübertragungsverfahrens. Die Chrominanz besteht aus den Farbartsignalen, die in der Frequenz umgesetzt und addiert wurden. Die gesamte Verarbeitungsstufe wird allgemein als Y/C bezeichnet (man spricht auch von Y/C-Komponenten). Diese Stufe weist in allen bislang eingeführten Farbübertragungsverfahren grundsätzlich immer eine trägerfrequente Chrominanz, d.h. in der Frequenz versetzte Farbartsignale auf.

Signale die in dieser Form vorliegen, können mit Analog-MAZ-Systemen aufgezeichnet werden, welche über getrennte Y/C-Eingänge verfügen. Dies sind das **S-VHS-Format** sowie das **High 8-Format**.

Addition von Luminanz und Chrominanz zum FBAS-Signal

Durch die Addition von Luminanz und Chrominanz entsteht das nunmehr frequenzverkämmte FBAS-Signal.



- Das endgültige FBAS-Signal
schematische Darstellung der Frequenzbereiche
Bild: FBAS-Signal

Dieses FBAS-Signal, international auch Composite-Signal genannt, genügt jetzt der für eine Ausstrahlung festgelegten Bandbreitenanforderung.

Alle Einschränkungen welche die Signale in den bisherigen Verarbeitungsstufen erfahren hatten, werden in ihrer Wirkung vom Auge nicht wahrgenommen, da sie geschickt die Grenzen des Sehsinns ausnutzen. Der letzte Schritt hingegen, nämlich die Bildung des FBAS-Signals, bringt Störungen mit sich, die auch deutlich wahrnehmbar sind. Sie entstehen dadurch, dass bei der empfängerseitigen Trennung ein Übersprechen von Luminanz-Anteilen in das Chrominanz-Signal und umgekehrt nicht völlig vermieden werden kann. Um des Vorteils willen, die bisherigen Ausstrahlungskanäle beibehalten zu können und die Anzahl der übertragbaren Kanäle nicht verringern zu müssen, wurden diese Nachteile bei Einführung des Farbfernsehens in Kauf genommen. Seitdem ist es ständiges Bestreben, diese Störungen zu minimieren und die Übertragungsverfahren zu verbessern.

Stand der Verarbeitung an diesem Punkt:

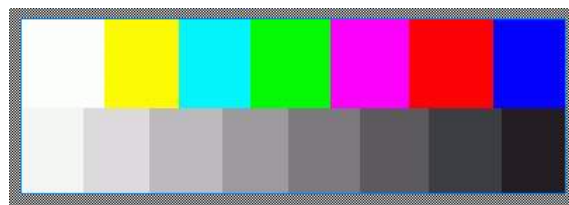
Aus dem BAS-Signal ist durch Addition des Farbsignals das Farb-BAS-Signal geworden. Es wird auch mit Composite bezeichnet und beinhaltet eine Reihe von Nachteilen, die in Kauf genommen werden, um die Sendefähigkeit innerhalb der vorhandenen Schwarz/Weiß-Kanäle zu erreichen. Im anschließenden Kapitel werden einige dieser Nachteile erörtert. Darüber hinaus werden im Anhang anhand der einzelnen Farbübertragungsverfahren weitere, normspezifische Vor- und Nachteile aufgezeigt. Composite-Signale werden mit folgenden Systemen verarbeitet:

- digitale Verarbeitung mit dem D2-Format der Firma Sony, sowie dem D3-Format der Firma Panasonic
- analoge Verarbeitung auf Videokassetten mit dem U-matic- und dem VHS-Format
- darüber hinaus sind in den Sendern nach wie vor 1"-MAZ-Systeme mit offenen Spulen nach dem B/C-Format verbreitet.

Die Angaben bezüglich der MAZ-Formate beziehen sich auf die Aufzeichnungsform des jeweiligen Systems, welche den systemtechnisch bestmöglichen Stand darstellt. Natürlich sind praktisch alle Systeme dahingehend abwärtskompatibel, dass sie eingangsseitig die weiteren Verarbeitungsschritte berücksichtigen. So sind zum Beispiel die Komponentenformate nach „unten“ hin sowohl mit Y/C-Eingängen als auch mit Composite-Eingängen ausgestattet, während die Y/C-Formate zusätzlich naturgemäß nur noch mit Composite-Eingängen aufwarten können. Allerdings sind bei einer solchen Überspielung von niederwertigem Material auf ein höherwertiges System die Nachteile nicht generell aufgehoben. Ist ein Videosignal erst einmal durch eine bestimmte Verarbeitungsstufe gegangen, so sind deren Beschränkungen in das System eingeführt und können auch durch eine anschließende höherwertige Aufzeichnung nicht ohne weiteres wieder eliminiert werden. Allenfalls können weitere Generationsverluste in Grenzen gehalten werden.

Das FBAS-Farbbalkendiagramm

Das farbige Äquivalent zum BAS-Graubalken ist der F(arb)BAS-Farbbalken. Dabei sind von links nach rechts die Signale Weiß, Gelb, Cyan, Grün, Magenta, Rot, Blau und Schwarz als vertikale Balken angeordnet. Die Farben Rot, Grün und Blau enthalten in reiner Form jeweils nur die entsprechende Grundfarbe, während die restlichen drei Farben aus jeweils zwei Grundfarben gebildet werden: Gelb besteht aus Rot und Grün, Cyan wird aus Grün und Blau und Magenta aus Rot und Blau gebildet.



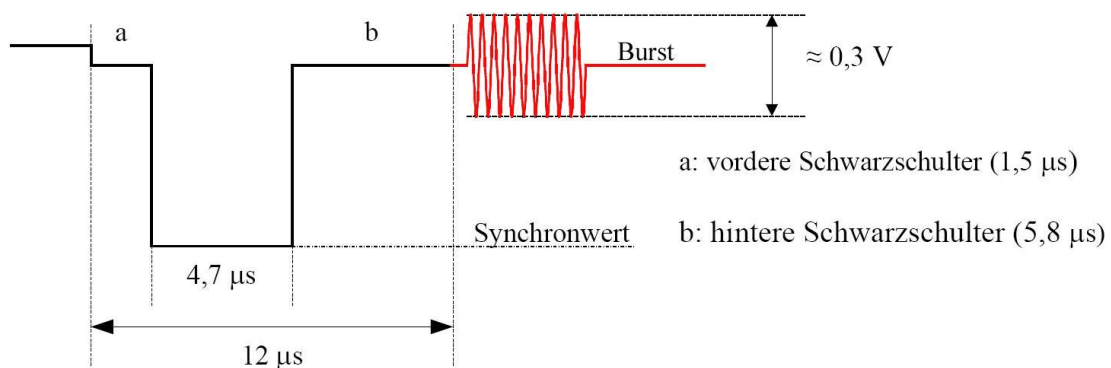
BAS- und FBAS-Balkendiagramm

Entsprechend dem Graubalkendiagramm ist auch hier die Luminanz als Treppenstruktur zu erkennen, auf deren Stufen jetzt allerdings die aufaddierte trägerfrequente Chrominanz erkennbar ist. In dieser Darstellung fällt auf, dass die Unbunt-Balken Weiß und Schwarz keine Chrominanz-Anteile enthalten. Dies steht offensichtlich im Widerspruch zu der Darstellung weiter vorne „Maxwelldreieck“, wo der Unbuntpunkt als eine Mischung der drei Farbkomponenten gemäß der V_λ -Kurve dargestellt wurde. Die Lösung liegt in der Verarbeitung der Farbkomponenten zur Luminanz, in welche die drei Farbkomponenten ja schon in entsprechender Gewichtung eingehen. *In der Chrominanz sind danach ausschließlich farbige Bildanteile enthalten.*

In der hier dargestellten Bildzeile ist auf der hinteren Schwarzscher, zwischen dem Synchronimpuls und dem Beginn des eigentlichen Bildes, als weitere Änderung gegenüber der BAS-Zeile, die Farbträgerreferenz - der sogenannte „burst“ - zu sehen. Dieser ist wichtig für die Rückgewinnung - die Demodulation - der Farbsignale aus der modulierten Chrominanz, nach der die Farbsignale wieder in ihrer ursprünglichen Form vorliegen.

Mit dem „burst“ ist es möglich, den Empfängeroszillator bezüglich Phase und Frequenz mit dem Sender synchron zu halten.

Des weiteren wird der „burst“ zur Kontrolle des Chrominanz-Pegels herangezogen. Die Signaldämpfung ist nicht für alle Frequenzen identisch. Insofern stellt eine Pegelkorrektur anhand des „Syncs“ einen vertretbaren Kompromiss für die reine Luminanz dar. Die Chrominanz liegt aber im oberen Frequenzbereich und wird deshalb in der Regel stärker gedämpft, was zu einer Entsättigung des Farbbildes führt. Deshalb wird der - in diesem oberen Frequenzbereich liegende und zu ± 150 mV definierte „burst“ - als Maß für die Dämpfung hoher Frequenzen herangezogen. Im Heimfernsehempfänger wird anhand von „Sync“ und „burst“ die notwendige Aufholverstärkung für Luminanz und Chrominanz automatisch eingestellt.



Rückführung zum RGB-Signal

Um das Signal auf dem Bildschirm sichtbar zu machen, müssen die Informationen wieder voneinander getrennt werden und sämtliche Verarbeitungsschritte bis zum RGB-Signal rückwärts durchlaufen werden. Der in diesem Zusammenhang schwierigste Schritt ist die

Trennung von Luminanz und Chrominanz aus dem FBAS-Signal heraus.

Das einfachste, billigste, gleichzeitig das am wenigsten befriedigende Verfahren ist die sogenannte Farbfalle, bei der der Frequenzbereich ober- und unterhalb der Farbhilfsträgerfrequenz, in welchem ja die Farbinformation beinhaltet ist, einfach weggefiltert wird und der verbleibende tieffrequente Rest als Luminanz zur Verfügung steht. Dabei bleiben, je nach Steilheit der Filter, mehr oder weniger Chrominanz-Anteile erhalten und führen zu Fehlinterpretationen, den sogenannten Cross-Luminanz-Effekten (Übersprechen von Chrominanz-Anteilen in das Luminanz-Signal). Diese Störungen sind allerdings nur mäßig wahrnehmbar. Umgekehrt erhält man das Chrominanz-Signal durch eine Bandpassfilterung. Hierbei werden nun umgekehrt die Luminanz-Anteile in diesem Frequenzband belassen und führen zu Cross-Colour-Störungen (Übersprechen vom Luminanz- in den Chrominanz-Kanal). Jeder kennt die schillernden Farben bei der Abbildung von Anzügen mit feinem Streifenmuster. Dies ist ein typischer Cross-Colour-Fehler. Dabei entstehen durch feine und kontrastreiche Strukturen hohe Luminanz-Pegel im oberen Frequenzbereich; diese Pegel werden als Farbinformation bewertet und führen zu den bekannten Farbfehlern.

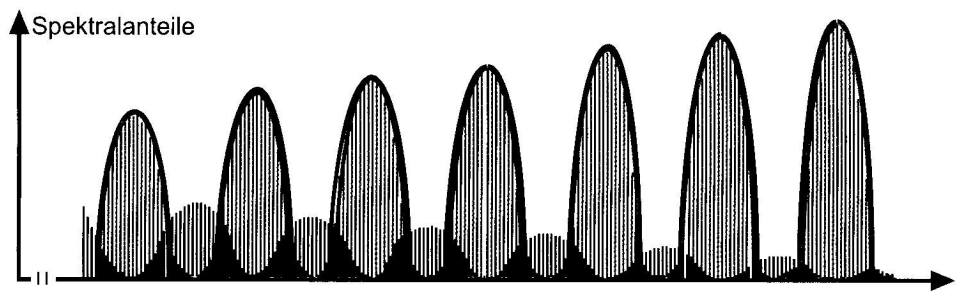


Bild: Kammfilterspektren

Um diese Effekte bei der Dekodierung eines FBAS-Signals zu unterdrücken und die nutzbare Luminanz-Bandbreite zu erhöhen, kommen Kammfilter zum Einsatz. Durch die Wahl der Farbhilfsträgerfrequenz liegen die Maxima des Chrominanz-Signals zwischen denen des Luminanz-Signals. Aufgrund der gegenseitigen Verkämmung können diese durch entsprechend dimensionierte Kammfilter wieder relativ genau voneinander getrennt werden. Doch sind auf Grund der beschränkten Genauigkeit und Stabilität analoger Filter der Auslösung Grenzen gesetzt.

Für eine noch weitergehende Reduzierung von Cross-Effekten (Verzerrung des Videosignals) kommen digitale Kammfilter zum Einsatz. Damit wird auch im Überlappungsbereich ein Übersprechen vermieden - Fehlinterpretationen werden weiter reduziert. Das ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn aus dem Composite-Bereich heraus in die Komponentenebene gewandelt wird, was natürlich grundsätzlich in jedem Monitor mit Composite-Eingang geschieht. Von großer Bedeutung ist es darüber hinaus dann, wenn bestehende Composite-Studioeinrichtungen im Rahmen von Ersatz- oder Neuinvestitionen durch Komponentensysteme ergänzt oder erweitert werden bzw. wenn analoge Archivbestände in Komponentensystemen eingespielt werden. Komponentensysteme in einer derartigen Umgebung sollten - unabhängig davon, ob die Aufzeichnung digitaler oder analoger Natur ist - im eingangsseitigen Composite-Weg mit digitalen Kammfiltern ausgestattet sein. Solche digitalen Filter arbeiten vielfach dreidimensional - also unter Berücksichtigung der zeitlichen Bildabläufe. Wenn nämlich im Bild viel

Bewegung ist, dann verändern sich die Ortsspektren bezüglich ihrer relativen Lage innerhalb der Zeilen. Eine solche zeitliche Verschiebung ist gleichbedeutend mit einer veränderten Phasenlage und verringert den Erfolg statischer Filter. Eine exakte Trennung ist dann nur unter Kenntnis der vorherigen Bilder möglich. Dreidimensionale Filter passen sich den Bewegungen an.

Neben der Vermeidung von Cross-Effekten (Verzerrung des Videosignals) erzielt man einen echten Gewinn bei der Auflösung, da Kammfilter im Gegensatz zu Tiefpassfiltern auch höhere Luminanz-Anteile noch aus dem Composite-Signal herauslösen können. Letzteres gilt wiederum nur dann, wenn ein ursprüngliches Composite-Signal vorliegt. Dies ist z.B. bei direkt ausgestrahltem oder zwischenzeitlich mit digitalen Composite-MAZ-Systemen aufgezeichnetem Material der Fall, oder bei HF-Signalen, die aus der Komponentenebene heraus gesendet wurden. Es ist nicht mehr der Fall, wenn mit analogen MAZ-Systemen im sogenannten Colour-Under-Verfahren (Chroma- und Luminanzinformation erfolgt mit Hilfe von Tief- und Hochpassfilter) aufgezeichnet wurde.

Die weitere Rückwandlung führt über den Decoder, in dem die Chrominanz wieder in ihre ursprüngliche Frequenzlage zurückversetzt und die Farbsignale aus der Chrominanz zurückgewonnen werden. Durch Umkehrung der Y-Matrizierung erhält man wieder RGB-Komponenten:

$$R = Y + (R - Y)$$

$$B = Y + (B - Y)$$

$$G = (Y - 0,3xR - 0,47xB) \times (1/0,59)$$

Die resultierenden RGB-Signale setzen sich aus zwei überlagerten Frequenzbändern zusammen. Zum einen weisen sie über den gesamten Frequenzbereich hinweg identische Spektralanteile auf, die sich nur im absoluten nicht im relativen - Pegelverlauf unterscheiden. Das sind jene RGB-Anteile, welche zusammen das Luminanz-Signal bildeten. Zum anderen liegen im Bereich unterhalb der Chrominanz-Begrenzung Spektralanteile, in denen sich die RGB-Komponenten unterscheiden. In diesen Anteilen kommt die Farbinformation zum Ausdruck. *Damit wird das Schwarz/Weiß-Bild, welches wie eine feine Strichzeichnung erscheint, quasi wie mit einem groben Pinsel koloriert.*

Zusammenfassung

Die Videokamera zerlegt eine Farbvorlage in drei deckungsgleiche Farbauszüge von **5 MHz** Bandbreite - die sogenannten Farbwertsignale RGB. Zur Wahrung der Schwarz/Weiß-Kompatibilität wird aus diesen Komponenten durch eine gewichtete

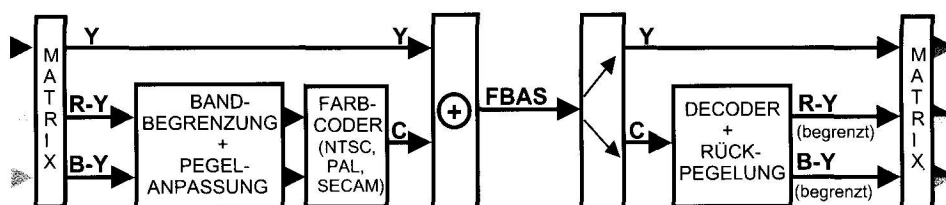


Bild: Signalwege

Summierung die Luminanz Y gebildet, welche dem reinen Schwarz/Weiß-Signal entspricht. Da dieses von den Farbwertsignalen linear abhängig ist, genügt es neben dem Y-Signal noch zwei - statt drei - Signale - die Farbdifferenzsignale - zu übertragen.

Da das Auge farbige Details nicht genauso fein auflösen kann wie Schwarz/Weiß-Details, werden diese Farbdifferenzsignale, in denen die Farbinformation steckt, bandbegrenzt und - nach einer Pegelreduzierung weiterverarbeitet.

Beim Farbfernsehen sollten die bestehenden Schwarz/Weiß-Übertragungskanäle weiterhin Verwendung finden. Aus diesem Grund blieb auch die bis dato gültige Signalbandbreite von 5 MHz bestehen. Um nun - zusätzlich zur Luminanz - auch noch die Farbsignale in diesem Frequenzbereich übertragen zu können, werden diese einer Hilfsträgerschwingung (Sub-Carrier) aufmoduliert und damit in jenen oberen Frequenzbereich von 3-5 MHz versetzt, in dem die Luminanz-Pegel zunehmend abnehmen. Als Chrominanz C addieren sie sich dann mit der Luminanz zum FBAS- oder Composite-Signal. In diesem Schritt entstehen die für Composite-Signale typischen Cross-Colour- bzw. Cross-Luminanz-Fehler. Zur sauberen Luminanz / Chrominanz-Trennung sind aufwendige Filter notwendig.

Einschub 1: Frequenzumsetzung durch Amplitudenmodulation (AM)

Bei der Amplitudenmodulation wird eine hochfrequente Trägerschwingung durch ein niederfrequentes Nutzsignal in seiner Amplitude moduliert, d.h. verändert. Dabei bildet sich die Amplitude des Nutzsignals in der Amplitude des Trägers ab.

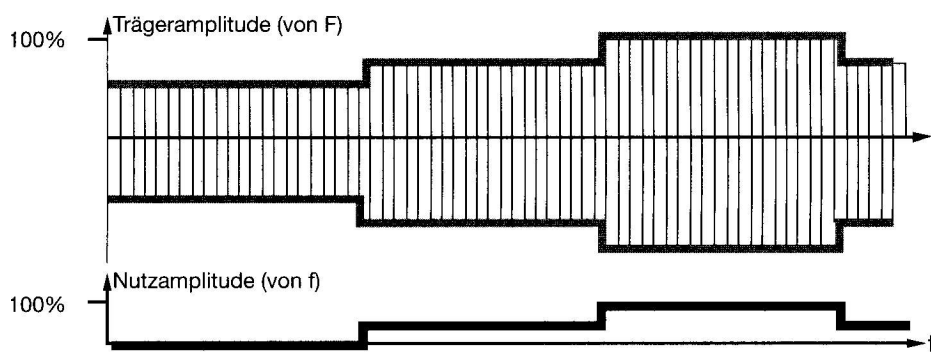


Bild: Amplitudenmodulation

Die AM wird mathematisch beschrieben als Multiplikation zweier Schwingungen:

Schwingung (Frequenz f) x Schwingung (Frequenz F) = Schwingung (f) + Schwingung (F) + Schwingung (F - f) + Schwingung (F + f)

Dementsprechend zeigt sich für das amplitudenmodulierte Signal folgendes Spektrum:

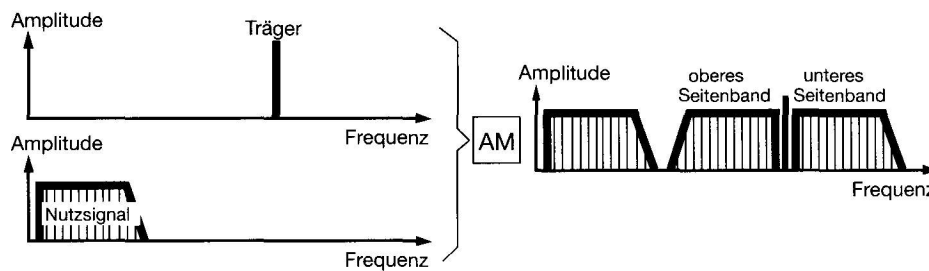


Bild: AM-Spektrum

Die Information steckt in den Seitenbändern. Diese Seitenbänder sind spektral identische Abbilder des ursprünglichen Nutzsignalbandes. Sie weisen also auch die gleiche Frequenzstruktur auf wie dieses. Lediglich erscheint das untere Seitenband an der Trägerfrequenz gespiegelt.

Werden beide Seitenbänder übertragen, so spricht man von einer Zweiseitenband-AM. Wird eines der beiden Seitenbänder nur teilweise übertragen, so spricht man von einer Restseitenband-AM. Entsprechendes gilt für die Einseitenband-AM. Wenn die Trägeramplitude so eingestellt wird, dass sie im unmodulierten Zustand (kein anliegendes Nutzsignal) gleich „Null“ ist, so spricht man von einem unterdrückten Träger.

Für die Demodulation - die Rückgewinnung des ursprünglichen Nutzsignals - ist es von großer Bedeutung, dass der Träger im Demodulator vorliegt. Wird nämlich das Modulationsprodukt wiederum mit einer phasenrichtigen Trägerschwingung multipliziert, so entsteht dabei das ursprüngliche Nutzsignal. Bei Übertragungen mit unterdrücktem Träger kann dieser dem übertragenen AM-Signal aber nicht entnommen werden und muss deshalb anderweitig bereitgestellt werden.

Die Farbübertragungsverfahren die mit Amplitudenmodulation arbeiten (NTSC, PAL), verwenden eine Restseitenband-AM mit unterdrücktem Träger.

Einschub 2: Frequenzumsetzung durch Frequenzmodulation (FM, engl. RF)

Bei der Frequenzmodulation wird eine hochfrequente Trägerschwingung durch ein niederfrequentes Nutzsignal in seiner Frequenz moduliert. Dabei wird dem Amplitudenhub des Nutzsignals der Frequenzhub einer Trägerfrequenz zugeordnet. Der höchsten Nutzsignalamplitude entspricht die obere Hubgrenze, während bei der kleinsten Nutzsignalamplitude die Frequenz der Trägerschwingung an die untere Grenze des Hubbereichs geschoben wird. So schwankt die Trägerfrequenz zwischen der unteren und der oberen Hubfrequenz. Die Information liegt jetzt nicht mehr in der Amplitude des Signals, sondern in der Frequenz - anschaulich in der Veränderung der Nulldurchgangsabstände.

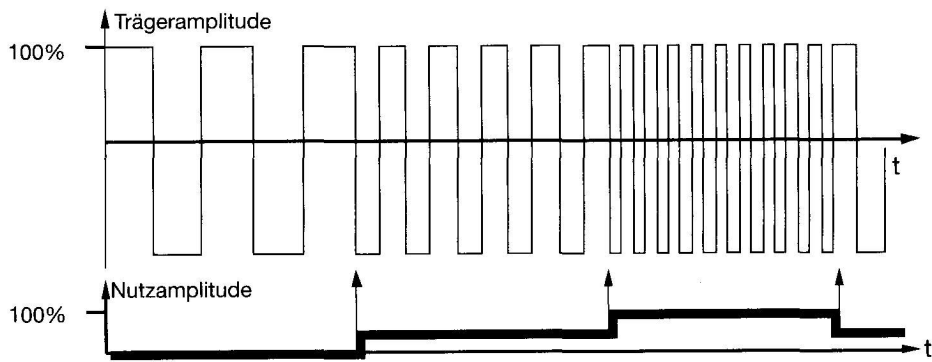


Bild: Frequenzmodulation

Wie schon bei der AM wird hier - aus Gründen der Vereinfachung - eine Rechteckschwingung dargestellt, obwohl in Wirklichkeit eine Sinusschwingung moduliert wird. Anders als bei der AM, wird jedoch bei der Demodulation des FM-Signals dieses oftmals durch einen Begrenzerverstärker zunächst hoch verstärkt und dann begrenzt. Dies hat zur Folge, dass aus der ursprünglichen Sinusschwingung ein Rechtecksignal wird. Die Nulldurchgangsabstände sind jetzt gut auszuwerten.

Durch die Frequenzmodulation werden oberhalb und unterhalb des Hubbereichs Frequenzbänder erzeugt, die aus Vielfachen der im Videosignal vorkommenden Frequenzen bestehen und, bei abnehmender Amplitude, bis zu hohen Vielfachen der modulierenden Nutzfrequenzen gehen. Dabei kommen die niedrigeren Nutzfrequenzen öfter vor als die höheren; anders als bei der AM, wo die Spektren der Seitenbänder mit dem des Nutzsignals identisch ist, verdichtet sich bei der FM durch die hohe Anzahl von Vielfachen das Spektrum ganz erheblich.

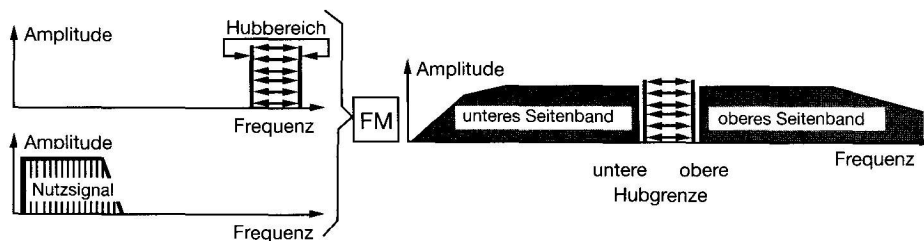


Bild: FM-Spektrum

Je größer die übertragenen Seitenbänder im Verhältnis zum Nutzspektrum sind, desto sauberer ist das demodulierte Nutzsignal. Im allgemeinen werden die übertragenen Seitenbänder gerade so groß gewählt, dass die Qualität des demodulierten Nutzsignals entsprechend den verschiedenen Anwendungen noch ausreicht. Im Videobereich wird vielfach das absolute Minimum gewählt. Dieses liegt bei einer Seitenbandbreite, die der des Nutzsignals entspricht - die höchste auftretende Nutzfrequenz kommt dabei gerade einmal vor. Man spricht dann auch von der sogenannten „Schmalband-FM“.

Bei der Frequenzmodulation gibt es keine eindeutige Trägerfrequenz. Besitzt das Nutzsignal eine definierte Null-Lage, spricht man von der FM-Trägerfrequenz als der Modulationsfrequenz, die dieser Null-Lage zugeordnet ist. Sie muss nicht in der Mitte des Hubbereichs liegen, sondern kann - wie bei einer Modulation durch ein BAS-Signal - zu einer der beiden Hubgrenzen hin verschoben sein.

Fernsehnormen und Farbübertragungsverfahren

Es herrscht vielfach eine gewisse Ratlosigkeit angesichts der Vielzahl von Normen und Verfahren. Immer wieder werden Begriffe gleichgesetzt die formal unterschiedliche Bedeutung haben. So wird man bei der Betrachtung der Farbübertragungsverfahren „NTSC“ und „PAL“ immer auch gleichzeitig mit der Problematik unterschiedlicher Fernsehnormen konfrontiert. Deshalb erscheint eine begriffliche Klärung sinnvoll.

Die heutigen Fernsehnormen: „US-525/60“ und „CCIR-625/50“ Historische Entwicklung

Als entscheidender Zeitraum für die Entwicklung des Schwarz/Weiß-Fernsehens ist die Zeit zwischen den Weltkriegen anzusehen. In dieser Zeit entstanden in allen wichtigen Industriestaaten eigene Festlegungen bezüglich Bildabtastung und Bildwiedergabe, und es ist nicht verwunderlich, dass es unter dem Druck wirtschaftlicher und politischer Eigeninteressen damals nicht zu einer internationalen Regelung kam. So gab es schnell eine Vielzahl von nationalen Normen, die untereinander nicht kompatibel waren. Aus technischen Gründen war - und ist - in allen Ländern die Bildwechselfrequenz an die Stromnetzfrequenz gekoppelt. So entstanden in Europa (Netz: 50 Hz) Normen mit 25 Voll- bzw. 50 Halbbildern, während in Nordamerika (Netz: 60 Hz) und später auch in Japan 30 Voll- bzw. 60 Halbbilder pro Sekunde abgetastet und übertragen wurden.

Die Zeilenzahl war darüber hinaus von Land zu Land unterschiedlich; so gab es in Frankreich 819 Zeilen, in England 405 und in Deutschland 625 Zeilen. In Nordamerika hingegen arbeitete man mit 525 Zeilen Auflösung. Es sollte Jahrzehnte dauern, bis sich die Situation hin zu zwei wesentlichen Normen verändert hatte:

- der **US-Norm mit 525 Zeilen**, 60 (exakt 59,94) Hz Halbbildfrequenz (f_v), 15734,264 Hz Zeilenfrequenz (f_H), Bandbreite: USA 4,2 MHz
 - der europäischen **CCIR-Norm mit 625 Zeilen**, 50 Hz Halbbildfrequenz (f_v), 15625 Hz Zeilenfrequenz (f_H), Bandbreite: 5 MHz
- Beiden Normen gemeinsam ist das Bildformat von 4:3 (Breite: Höhe). Daneben gibt es in verschiedenen Ländern nach wie vor einzelne Programme mit abweichenden Zeilenzahlen und Videobandbreiten.

Die Gremien beider Normungsbereiche verweisen auf die jeweils spezifischen Vorteile: die

US-Norm vermittelt durch die höhere Frequenz ein ruhigeres, flimmerfreies Bild, wohingegen die CCIR-Norm eine bessere Detailauflösung bietet. Allerdings verlieren diese Argumente in einer Zeit, in der zum einen selbst Consumer-Geräte mit Bildraten von 100 Hz aufwarten und zum anderen an hochauflösenden Systemen gearbeitet wird mehr und mehr an Relevanz.

Prinzipielle Probleme bei der Normwandlung

Eine Konvertierung von Bildern aus der einen in die andere Norm muss eine Anpassung der Zeilenzahl und der Bildwechselfrequenz leisten. Dabei treten jeweils spezifische Probleme auf, die hier nur prinzipiell aufgeführt werden sollen.

Bei der Anpassung der Bildwechselfrequenz sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- **Umsetzung 1:1, also Bild für Bild**

Nachteil: Bei Übertragung von 30/60 Hz-Material auf 25/50-Systemen erfolgt eine Beschleunigung, umgekehrt eine Verlangsamung der Bewegungsabläufe; Ton wird entsprechend höher oder tiefer ausgestrahlt

- **Weglassen jedes sechsten bzw. Verdoppeln jedes fünften Bildes**

Nachteil: Bei Übertragung von 30/60 Hz-Material auf 25/50-Systemen werden Bewegungsabläufe zerrissen, Schwenks weisen Sprungstellen auf; umgekehrt entsteht ruckartiges Verharren innerhalb der Bewegungsabläufe

- **Interpolation von Bildern (Errechnen von Zwischenwerten)**

Vorteil: Befriedigende Ergebnisse

Nachteil: Hoher Aufwand, da alle Bewegungsphasen neu zu berechnen sind.

Bei der Anpassung der Zeilenzahl sind analog folgende Möglichkeiten denkbar:

- **Umsetzung 1:1, also Zeile für Zeile**

Nachteil: Bei Übertragung von 525 Zeilen-Material auf 625 Zeilen-Systemen weisen die Bilder Ränder auf, ähnlich denen die bei Breitwand-Kinofilmen entstehen, allerdings an allen vier Seiten; umgekehrt fallen Bildinhalte weg

- **Interpolation von Zeilen (Errechnen von Zwischenzeilen)**

Vorteil: Befriedigende Ergebnisse; relativ geringer Aufwand, da die einzelnen Bilder jeweils nur eine Bewegungsphase repräsentieren, also quasi stillstehen.

Da in beiden Fällen nur die Interpolation befriedigende Ergebnisse bietet, wird diese Technik angewendet. Es gibt heutzutage digitale Systeme welche bei sinkenden Kosten diese Konvertierung in Echtzeit zu leisten in der Lage sind.

Die klassischen Farbübertragungsverfahren

Innerhalb dieser Fernschnormen wurden im Laufe der Zeit verschiedene Farbübertragungsverfahren entwickelt und eingeführt. Diese Verfahren bereiten auf unterschiedliche Weise die Farbartsignale für die Addition mit der Luminanz derart auf, dass *beide* Farbartsignale im oberen Frequenzbereich der Luminanz übertragen werden können. Eine derartige Übertragung von Luminanz und Chrominanz führt aber in jedem Fall zu sogenannten Moiré-Störungen. Einer der wichtigsten Schritte in jedem der drei nachfolgend beschriebenen Verfahren - NTSC, PAL und SECAM, ist die Festlegung eines wesentlichen Parameters - der Hilfsträgerfrequenz - dergestalt, dass diese Moiré-Störungen minimiert werden.

Das erste Farbübertragungsverfahren war das amerikanische NTSC-Verfahren. Es weist allerdings verschiedene Nachteile auf, so dass es vor Einführung des Farbfernsehens in Europa zur Entwicklung verbesserter Verfahren kam - dem französischen SECAM- und dem deutschen PAL-Verfahren. Die grundlegenden Unterschiede und Funktionsweisen sollen in diesem Kapitel dargestellt werden.

Das NTSC-Verfahren (im Rahmen der US-Norm)

Die NTSC-Farbartsignale „1“ und „Q“

Im vorausgehenden Kapitel wurde die Bandbreitenreduzierung der Farbdifferenzsignale beschrieben. Diese ist möglich und sinnvoll auf Grund der geringeren Auflösungsfähigkeit des Auges gegenüber farbigen Details. Nun werden aber auch Farben als solche unterschiedlich - Rot-Details feiner als Blau-Details - aufgelöst. Deshalb arbeitet das NTSC-Verfahren auch mit unterschiedlich begrenzten Farbdifferenzsignalen. „R-Y“ wird bei 1,5 MHz begrenzt und mit dem Buchstaben „1“ bezeichnet. Dem gegenüber erfährt „B-Y“ eine Begrenzung bei 0,5 MHz und wird danach als „Q“-Signal bezeichnet.

Die NTSC-Farbträgerfrequenz (Sub Carrier Frequency)

Die Wahl des Hilfsträgers ist von entscheidender Bedeutung für die Verschachtelung von Luminanz und Chrominanz. Dabei ist folgendes zu beachten:

- der Träger muss im oberen Frequenzbereich der Luminanz liegen
- er muss zwischen zwei Hauptspektラルbereichen ($n \times f_H$) liegen

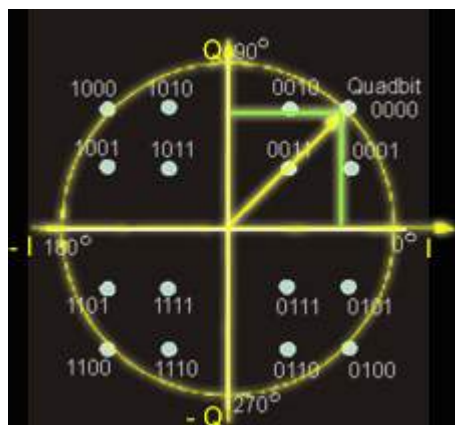
Beim NTSC-Verfahren wählte man deshalb den sogenannten Halbzeilen-Offset, d.h. die Trägerfrequenz errechnet sich als ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Zeilenfrequenz f_H .

$$f_{sc} = 455 \times f_H / 2 = 455 \times 15734,264 \text{ Hz} / 2 = \mathbf{3\ 579\ 545\ \text{Hz}}$$

Umsetzung beider Farbartsignale durch Quadraturmodulation

Einschub 1 (Farbdifferenzsignal) zeigt die Umsetzung eines Signals bezüglich seiner Frequenz mittels einer Amplitudenmodulation. Da für die Anwendung im Rahmen des Farbfernsehens aber zwei Farbartsignale in den gleichen Frequenzbereich umgesetzt werden müssen, kommt eine spezielle Variante zum Einsatz - die sogenannte Quadratur-Amplitudenmodulation.

Hierbei handelt es sich zunächst um zwei voneinander unabhängige Amplitudenmodulationen, deren Hilfsträgerschwingung die gleiche Frequenz und deren Spektren die gleiche Struktur aufweisen. Ein unmittelbares Zusammenfügen (Addition) dieser beiden Modulationsprodukte zur Chrominanz würde aber eine nachträgliche Trennung unmöglich machen. Als „Unterscheidungskriterium“ für die Demodulation wird daher der eine Träger gegenüber dem anderen in seiner Phasenlage um 90° verschoben. Die Träger werden unterdrückt, d.h. so eingestellt, dass ohne anliegendes Nutzsignal auch keine Trägeramplitude auftritt. Das obere Seitenband des 1-modulierten Signals wird begrenzt. Anschließend werden die beiden modulierten Signale addiert. Das Bild *Quadratur-Amplitudenmodulation* zeigt die prinzipielle Wirkungsweise der Quadratur-AM.



Quadratur-Amplitudenmodulation

Die Demodulation eines AM-modulierten Signals erfolgt durch Multiplikation mit der unmodulierten, phasenrichtigen Trägerschwingung. Die Quadratur-AM benötigt deshalb einen Träger in Normalphasenlage und einen um 90° verschobenen Träger. Diese sind wegen der Trägerunterdrückung nicht aus der Chrominanz selbst zu entnehmen, sondern müssen anderweitig gewonnen werden.

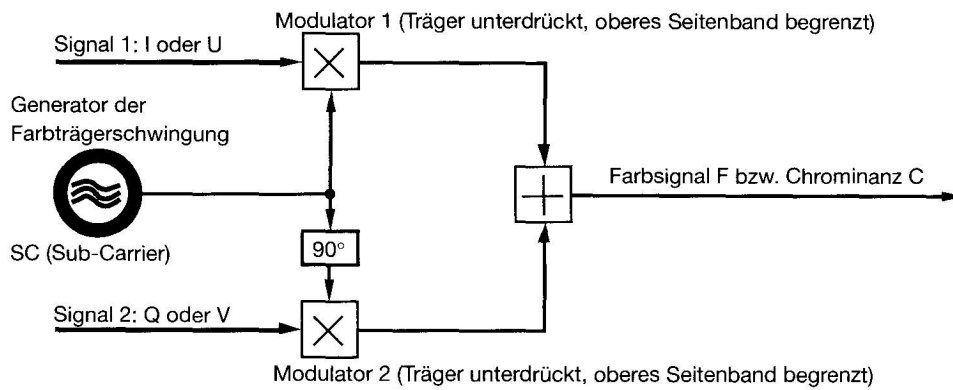


Bild: Blockschaltbild Quadraturmodulation

Dabei ist der „burst“ von entscheidender Bedeutung. Er stellt eine Referenzphase dar, mit deren Hilfe ein - im Dekoder befindlicher - Schwingkreis nachgesteuert wird. Mittels eines sogenannten Phasenschiebers wird dann noch die zugehörige 90°-Phase erzeugt. Damit ist die Demodulation der beiden Farbartsignale möglich.

Der komplexe Farbvektor im NTSC-Verfahren

Die beiden in der Chrominanz zusammengefassten Farbartsignale I und Q ergeben den sogenannten Farbvektor. Durch diesen sind sämtliche Farbtöne als Winkel gegenüber der Bezugsphase des Hilfstägers definiert. In der Länge des Vektors kommt die Farbsättigung zum Ausdruck. Hier findet sich die Analogie zum Maxwelldreieck.

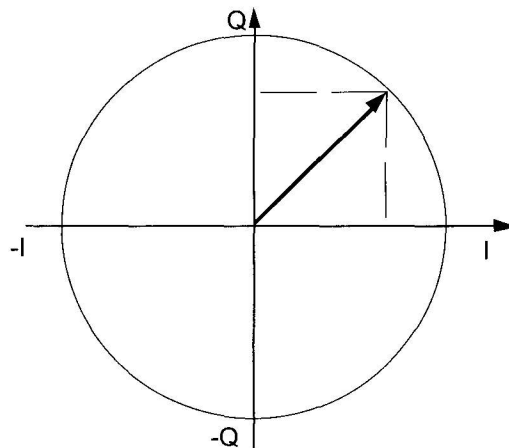


Bild: Komplexer NTSC-Farbvektor

Phasenfehler im NTSC-Verfahren

Das NTSC-Verfahren ist sehr empfindlich gegenüber Phasenfehlern, die im Zuge der Signaldemodulation auftreten. *Phasenfehler verändern den Winkel des Farbvektors* und

führen zu Farbtonverschiebungen, die schon ab etwa 5° sichtbar werden. NTSC-Empfänger haben deshalb einen Einsteller zur Kompensation solcher Phasenfehler. Dieser sogenannte „Tint“-Steller kann aber nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn der Fehler zumindest über einen längeren Zeitraum konstant ist. Bei zeitlich veränderlichen, sogenannten „differenziellen Phasenfehlern“ versagt diese Korrekturmöglichkeit.

Zusammenfassung NTSC-Verfahren(Nation Television System Commitee)

NTSC beinhaltet ein Farbcodierverfahren, das vor allem in Nord- und Südamerika sowie in Japan verwendet wird.

1941 wurde NTSC erst in Schwarz-Weiß und 1953 in Farbe eingeführt.

Die Bildzeilenzahl beträgt 525 (davon sind 486 sichtbar) mit einer Bildwechselfrequenz von 29,97 Vollbildern pro Sekunde.

Das Bildseitenverhältnis (Aspect Ratio) beträgt 4:3.

Ebenso wie im PAL-Verfahren erfolgt beim NTSC die Darstellung im Interlace Modus, d.h. jedes Bild ist in zwei Halbbilder unterteilt.

Beim NTSC-Verfahren wird der Farbträger für die Farbsättigung amplituden- und für den Farbton phasenmoduliert.

Dabei entstehen aber übertragungsbedingte Phasenfehler zwischen der Farbreferenz (Burst B) und dem übertragenen Farbvektor, die dann als Farbtonfehler zu erkennen sind. Heute werden integrierte Schaltkreise verwendet, die wesentlich stabiler sind und die Farbfehler stark reduzieren.

Das PAL-Verfahren (im Rahmen der CCIR-Norm)

Das PAL-Verfahren arbeitet wie das NTSC-Verfahren mit Quadratur-AM.

Die PAL-Farbsignale „U“ und „V“

Im Gegensatz zum NTSC-Verfahren werden die Farbdifferenzsignale bei **PAL** beide auf 1,3 MHz begrenzt. Die Farbsignale werden mit „U“ (reduziertes „B-Y“-Signal) und „V“ (reduziertes „R-Y“-Signal) bezeichnet.

Zeilenweise Umschaltung - Phase Alternation Line (PAL)

Der entscheidende Nachteil des NTSC-Verfahrens liegt in der Anfälligkeit gegenüber Phasenfehlern. Hier setzt PAL an.

Bei PAL wird die V-Komponente senderseitig im zeilenweisen Wechsel von 90° auf 270° umgeschaltet - also an der U-Achse gespiegelt. Die Zeile in Normallage wird als NTSC-

Zeile, die umgeschaltete Zeile als PAL-Zeile bezeichnet. Damit der Empfänger die PAL-Zeilen erkennen kann, wechselt der „burst“ seine Phasenlage zeilenweise.

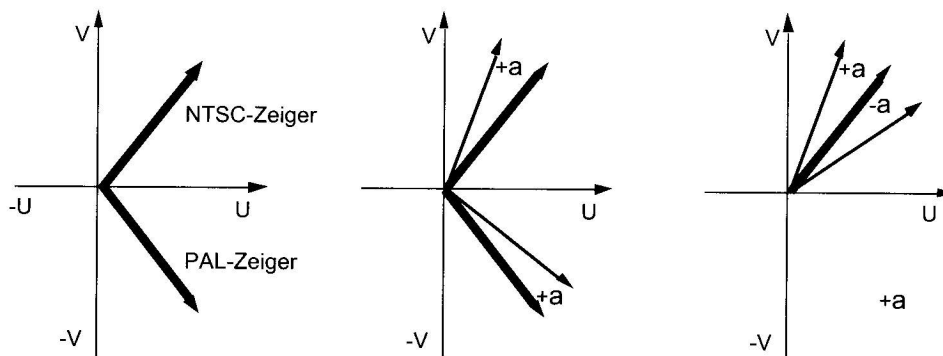


Bild: Kompensation von Phasenfehlern durch zeilenweise Umschaltung der V-Komponente

Ein auftretender Phasenfehler wirkt nun in gleicher Richtung auf jeweils beide Zeilen. Im Empfänger werden die PAL-Zeilen wieder zurückgespiegelt, wodurch die Richtung des Phasenfehlers wechselt. Das erste PAL-Verfahren, das sogenannte „Simple-PAL“ belässt nun die Zeilen in dieser Lage und vertraut darauf, dass die zeilenweise alternierenden Phasen- und damit Farbfehler vom Sehsinn „ausintegriert“ werden.

Die Weiterentwicklung zum „Standard-PAL“ integriert die beiden Zeilen elektronisch, indem es die erste Zeile um 64 μ s (eine Zeilendauer) verzögert und zur nächsten Zeile hinzuaddiert. Zwar wird dadurch die vertikale Chrominanz-Auflösung halbiert, dies ist aber für das Auge unkritisch (durch die Bandbegrenzung der Farbdifferenzsignale wird die horizontale Chrominanz-Auflösung sogar um etwa den Faktor 4 herabgesetzt, ohne dass das Auge dies wahrnehmen kann). Beide Verfahren basieren auf der Ähnlichkeit aufeinanderfolgender Zeilen, die in aller Regel gegeben ist.

Gegenüber NTSC ergibt sich bei Standard-PAL eine deutlich erhöhte Farbstabilität. So werden bei PAL noch Phasenfehler von mehr als 50° zufriedenstellend korrigiert.

Die PAL-Farbträgerfrequenz

Als ein Nachteil des PAL-Verfahrens erweist sich die sogenannte PAL-„Jalousie“ ein vertikales Störmuster, das durch die zeilenweise Umschaltung verursacht wird. Durch geschickte Wahl der Farbhilfsträgerfrequenz F lässt sich die Wahrnehmbarkeit dieser Cross-Colour-Störung reduzieren. Das Verfahren zur Verringerung der PAL-„Jalousie“ nennt sich Viertelzeilen-Offset. Die PAL-Farbträgerfrequenz F_{SC} errechnet sich gemäß:

$$F_{SC} = 567 \times f_H/2 + f_H/4 + 25 \text{ Hz} = (567 \times 15625 \text{ Hz})/2 + 15625 \text{ Hz}/4 + 25 \text{ Hz} = 4433618,75 \text{ Hz}$$

$$f_H = \text{Horizontal- bzw. Zeilenfrequenz } (f_{H(CCR)} = 15625 \text{ Hz})$$

Das Störmuster wird dabei von Zeile zu Zeile für die Dauer einer Viertelschwingung

verzögert, was einer horizontalen Verschiebung um einige Bildpunkte entspricht. Dabei verliert es seine strikt vertikale Struktur und damit seine Wahrnehmbarkeit. Der 25-Hz-Versatz setzt es zusätzlich noch in Bewegung, so dass es vom Sehsinn zusätzlich ausintegriert wird.

Die Farbhilfsträgerfrequenz erklärt sich also folgendermaßen:

- ungeradzahliges Vielfaches der halben Zeilenfrequenz zur Verkämmung der Hauptspektralbereiche von Luminanz und Chrominanz
- Viertelzeilen-Offset zur Verringerung der Wahrnehmbarkeit der PAL-„Jalousie“
- 25-Hz-Versatz zur weiteren Minimierung derselben

Die PAL-Sequenzen

Durch das Zusammenspiel der verschiedenen Elemente eines FBAS-Bildes entstehen zwischen diesen Elementen spezifische Phasenbeziehungen, die sich periodisch wiederholen. Diese Periodizitäten werden auch als Sequenzen bezeichnet und spielen v.a. beim Bildschnitt während der Nachbearbeitung insofern eine Rolle, als die bei einem Schnitt aneinandergesetzten Videobilder bezüglich ihrer Sequenzlage zueinander passen müssen. Anders als beim Filmschnitt, kann also beim elektronischen Schnitt (von FBAS-Material) nicht jedes Bild ohne weiteres an jedes andere angehängt werden; je länger die Sequenzen sind, desto mehr schränken sie die Möglichkeiten des Bildschnittes ein. Die auftretenden Sequenzen sind im einzelnen:

- 2er- oder Halbbildsequenz; diese Sequenz ist bei allen Fernsehnormen und -verfahren gegeben; treten keine weiteren Sequenzen auf, so kann, wie beim Filmschnitt nach jedem Vollbild geschnitten werden
- 4er- oder PAL-Schaltsequenz; diese entsteht durch die zeilenweise Umschaltung des „burst“, tritt nur beim PAL-Verfahren auf und ist von untergeordneter Bedeutung
- 8er-Sequenz; diese entsteht auf Grund des Viertelzeilen-Offsets und ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen Farbträger- und Zeilenfrequenz; Schnitt alle vier Vollbilder

Bei NTSC tritt - bedingt durch den Halbzeilen-Offset - die 4er-Sequenz auf. Die PAL8er-Sequenz ist der wesentliche Nachteil gegenüber NTSC und führt zu teilweise erheblichen Einschränkungen bei der Schnitt-Nachbearbeitung. Für den Zuschauer bringt PAL aber erhebliche Vorteile. Da bei der Nachbearbeitung zunehmend Komponententechnik (2er-Sequenz) zum Einsatz kommt, und die PAL-Codierung erst bei der Ausstrahlung erfolgt, sind diese Bearbeitungsnachteile gegenüber NTSC praktisch aufgehoben und es verbleiben die Vorteile.

Zusammenfassung PAL-Verfahren (Phase Alternation Line)

Der Fernsehstandard PAL ist vor allem in Deutschland, sowie Australien und den meisten afrikanischen und asiatischen Ländern (außer Japan) verbreitet. Walter Bruch ließ sich 1963 sein entwickeltes PAL-Verfahren in Deutschland patentieren. Die Zeilenzahl bei PAL beträgt 625 (davon sind 576 sichtbar) mit einer Bildwechselfrequenz von 25 Vollbilder pro Sekunde.

Das Bildseitenverhältnis (Aspect Ratio) beträgt 4:3.

Die Bilddarstellung erfolgt im Interlace-Modus. Es wird das Bild in zwei Halbbilder zerlegt. Die gleichzeitige Übertragung von Helligkeit und Farbe führt bei den Fernsehgeräten wegen des Farbträgers (Burst) zu Cross-Colour- und Luminanz-Störungen mit einer Verminderung der Videofrequenzbreite von 5MHz auf 3,7 MHz.

Hauptanliegen bei der Entwicklung von PAL war die Verringerung der Farbtonfehler gegenüber dem NTSC-Verfahren.

Das PAL-Verfahren ist eine Weiterentwicklung und basiert auf der ursprünglichen NTSC-Norm.

Beim PAL wird die Phase des Rot-Differenzsignales von Zeile zu Zeile invertiert. Die Farbtonfehler werden im Empfänger durch Mittelwertbildung über je zwei Zeilen kompensiert (wenn Farbe und Farbtonfehler zwischen beiden Zeilen konstant sind) und in einen für den Menschen weniger auffallenden geringeren Farbtönsättigungsfehler umgewandelt.

Technisch ist PAL komplizierter als NTSC. Zur Korrektur der Phasenfehler benötigt man eine 64 ms-Verzögerungsleitung (ein Zeilengedächtnis).

Das SECAM-Verfahren (im Rahmen der CCIR-Norm)

Auch SECAM ist ein Verfahren, das die bestehenden Schwächen des NTSC-Verfahrens überwinden sollte. Anders als NTSC und PAL arbeitet es mit Frequenzmodulation, um die Farbsignale in den oberen Frequenzbereich des Luminanz-Signals zu versetzen.

Die SECAM-Farbsignale „D_R“ und „D_B“

Bei SECAM werden die Farbsignale D_R und D_B bei 1,3 MHz begrenzt.

Sequentielle couleur avec memoire - Übertragung der Farbsignale im zeilenweisen Wechsel

Der Grundgedanke bei SECAM ist die Herabsetzung der vertikalen Chrominanz-Auflösung. Dies ist im Prinzip die konsequente Anwendung der Überlegungen zur Farbauflösungsfähigkeit des Auges, die ja schon zur horizontalen Einschränkung -der Bandbegrenzung - geführt haben.

Deshalb wird bei SECAM pro Zeile jeweils nur ein Farbsignal übertragen. Mit diesem Signal werden zwei Farbzeilen dargestellt, indem es zunächst direkt und dann um eine Zeilendauer verzögert auf den Bildschirm gelangt. Dabei nutzt SECAM - wie auch PAL - die Ähnlichkeit zweier aufeinanderfolgender Bildzeilen aus.

Anders als bei PAL und NTSC ist es wegen der getrennten Übertragung bei SECAM nicht erforderlich, zu ihrer „Unterscheidung“ die Phasenverschiebung der Trägerschwingung heranzuziehen. Während der Übertragung existiert demzufolge auch keine Entsprechung von Farbton und Phasenwinkel - erst nach der Demodulation der Farbsignale ergibt

sich der Farbton aus den einzelnen Komponenten. Aus diesem Grund kann während der Übertragung auch kein Phasenfehler auftreten und SECAM ist prinzipiell nicht anfällig für Phasenfehler.

Der SECAM-Farbträger

Die Frequenzumsetzung erfolgt bei SECAM mittels *Frequenzmodulation*. Insofern ist keine Trägerfrequenz wie bei PAL und NTSC anzugeben, sondern ein Hubbereich innerhalb dessen die Trägerschwingung variiert (s. Einschub 2) bzw. eine Ruhefrequenz, die anzugeben ist, für den Fall, dass der Pegel der Farbartsignale Null wird. Ursprünglich war diese Ruhefrequenz für beide Farbartsignale identisch.

Die heute angewendete Version (SECAM 111 b) ordnet jedem Farbartsignal eine eigene Ruhefrequenz zu. Diese liegt bei 4,25 MHz für D_B und 4,4 MHz für D_R . Der Hubbereich liegt für beide Signale zwischen 3,9 MHz und 4,756 MHz, was dazu führt, dass für D_B der untere Hubbereich 350 kHz und der obere Hubbereich 506 kHz beträgt, und dieses Verhältnis für D_R umgekehrt wird.

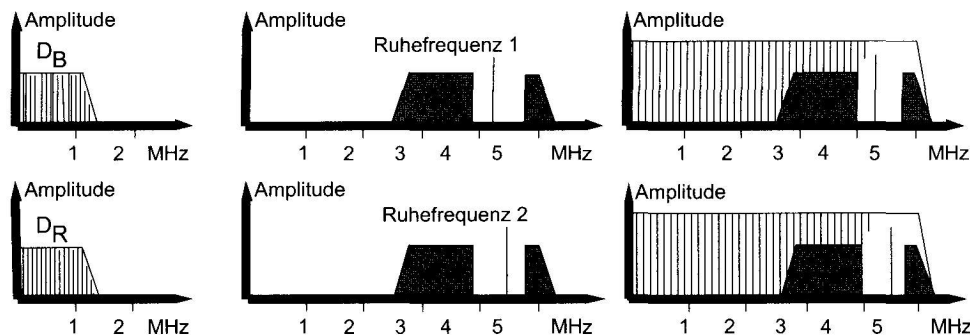


Bild: Frequenzumsetzung bei SECAM

Störwirkungen bei SECAM

Da bei der Frequenzmodulation kein feststehender Träger existiert und auch die Spektralstruktur der Seitenbänder nicht denen der Farbartsignale entsprechen, ist die Spektralverkämmung bei SECAM nicht möglich. Dies führt zwangsläufig zu Cross-Luminanz- und Cross-Colour-Störungen.

Damit diese Störungen möglichst gering bleiben, wird der Pegel des Farbträgers bei 23% des Weißpegels begrenzt und zusätzlich in der Umgebung der Ruhefrequenzen - also dort, wo der Farbträger nur durch schwache Farbpegel moduliert wird - weitgehend unterdrückt. Damit erreicht man, dass die Störpegel des unmodulierten Farbträgers in unbunten Bildpartien verringert werden.

Wie auch bei PAL (Viertelzeilen-Offset und 25 Hz-Versatz) geht es jetzt noch darum, der Struktur der Farbträgerstörung ihre Regelmäßigkeit - und dadurch ihre Wahrnehmbarkeit - zu nehmen. Dies geschieht dadurch, dass der Farbträger zu Beginn jeder dritten Zeile und zu Beginn jedes Halbbildes umgepolt wird.

Die SECAM-Bildqualität entspricht - bei vollständiger Unabhängigkeit gegenüber Phasenfehlern - am Ende der von PAL.

Die SECAM-Sequenzen

Durch die Umpolung des Farbträgers ergibt sich eine Sequenz, die sich erst nach 12 Halbbildern wiederholt. Dies stellt gegenüber PAL eine weitergehende Einschränkung der Schnitt-Nachbearbeitung dar.

Mischen bzw. Blenden von SECAM-Signalen

Ein codiertes SECAM-Bild kann nicht gegen ein anderes überblendet werden, da im kodierten Zustand die Farbe nicht vollständig vorliegt. Deshalb ist bei der Nachbearbeitung eine Demodulation von SECAM-FBAS-Material in die Komponenten Y, D_R und D_B erforderlich. Durch diesen fortwährenden Codier- und Decodiervorgang erfährt SECAM-kodiertes Material neben Kopierverlusten zusätzliche Generationsverluste.

Kompatibilität zu PAL

Da sowohl PAL als auch SECAM Farbübertragungsverfahren sind, die innerhalb der CCIR 625/50-Norm angesiedelt sind, sind diese vom Bildaufbau zunächst kompatibel.

Dies gilt allerdings nicht für die Darstellung der Farbe, so dass man bei unmittelbarem Austausch von Programmmaterial (im deutschen Raum sind französische SECAM-Programme problemlos zu empfangen) den Verlust der Farbe in Kauf nehmen muss.

Zusammenfassung SECAM-Verfahren (Séquentiel Couleur avec Mémoire = Squentielle Farbe mit Speicher)

Das 1958 entwickelte SECAM-Verfahren in Frankreich, ist eine vor allem in Osteuropa (wurde auch in der ehemaligen DDR verwendet) und Frankreich gebräuchliche Fernsehnorm.

Die Zeilenzahl beträgt 625 Zeilen und die Bildwechselrate 25 Hz.

Zur Farbübertragung verwendet SECAM die Frequenzmodulation. Dabei werden zeilenweise alternierend die Farbdifferenzsignale R-Y und B-Y übertragen. Jeweils eine Zeile wird zur Decodierung in einer Verzögerungsleitung gespeichert. Die Farbinformationen werden daher nur mit der halben vertikalen Auflösung übertragen. Dabei treten keine Farbtonfehler während der Übertragung auf.

Dem Vorteil der sehr stabilen Übertragung der frequenzmodulierten Signale stehen als Nachteil gegenüber:

- Die aktuelle übertragene Bildpunktfarbe kann erst bestimmt werden, wenn zwei Zeilen vergangen sind.
- Der Farbträger wird für unbunte Farben nicht unterdrückt.
- Die Signale sind mit Compositemischer nicht mischbar.

Neuere Entwicklungen

Das Bildschirmformat von 4:3 ist ein zunächst willkürlich festgelegtes Format, welches in den Anfangsjahren des Fernsehens vom Kino übernommen wurde. Wie sich im Laufe der Zeit herauskristallisierte - und mit Einführung der Breitwandkinotechnik untermauert wurde - entspricht dieses Verhältnis nur bedingt dem menschlichen Gesichtsfeld. Im Interesse einer stärkeren Einbeziehung des Zuschauers in das Geschehen auf dem Bildschirm sollte das Format deutlich breiter sein - eine Annäherung an das Seitenverhältnis des Kinoformats erscheint wünschenswert. In einem Format mit dem Seitenverhältnis 16:9 entfielen bei der Übertragung von Breitwand-Kinofilmen im Fernsehen die lästigen schwarzen Letterbox-Streifen am oberen und unteren Bildrand ganz - oder würden zumindest sehr schmal.

Auch die Größe des Bildes spielt eine Rolle bei der Beurteilung des subjektiven Bildeindrucks. Zwar ist es denkbar größere Bildschirme oder Video-Projektions-einrichtungen auch für den Heimempfänger herzustellen, aber in vielen Fällen gestatten die Wohnverhältnisse der Fernsehzuschauer bei großen Bildflächen nicht den angestrebten Betrachtungsabstand der vierfachen Bildschirmhöhe. Unterhalb dieser Entfernung beginnt aber die Wahrnehmbarkeit der Zeilenstruktur. Größere Bildflächen sind daher nur bei Fernsehsystemen mit einer größeren Zeilenzahl sinnvoll.

Ein weiterer Aspekt für weitergehende Überlegungen war der Wunsch der Filmindustrie, Video-Produktionstechniken für die Produktion von Kinofilmen - hier v. a. im Bereich der „Special Effects“ - zu nutzen. Hierfür reichen die Auflösungen herkömmlicher Fernsehnormen nicht aus. Außerdem wurde über die Möglichkeiten einer elektronischen Projektion im Kino sowie in der Industrierwerbung auf Messen u.ä. nachgedacht.

HDTV - High Definition Tele Vision

Schon Mitte der siebziger Jahre begann man sich in den Entwicklungslabors der japanischen Rundfunkgesellschaft NHK (Nippon Hoso Kyokai) mit der Entwicklung eines höher auflösenden Video-Systems mit einem Seitenverhältnis von 16:9 zu beschäftigen. Die Entwicklung dieses HDTV-Systems ist immer noch im Gange und führte zu Beginn der neunziger Jahre zu einer hektischen Diskussion um Chancen und Möglichkeiten. Zu diesem Zeitpunkt standen serienreife HDTV-Kameras und auch HDTV-taugliche Aufzeichnungssysteme, bestehend aus mehreren verkoppelten MAZ-Geräten, zur Verfügung und es wurde weltweit um einen einheitlichen Standard gerungen.

Bei den Normungsverhandlungen für HDTV zeigten sich die gleichen Gegensätze, wie auch bei den bisherigen Fernsehnormen. Im Bereich der US-Norm sollen 60 Hz Halbbildfrequenz gelten, während die Länder mit CCIR-Norm statt dessen 50 Halbbilder durchsetzen wollten. Bei der Zeilenzahl gehen die Unterschiede noch weiter -in den USA und in Europa sollen die jeweiligen Zeilenzahlen einfach verdoppelt werden (USA: 525-1050; CCIR-Bereich: 625-1250), so dass ein sanfter Normwandel mit kompatibelem Übergang von den jeweiligen 525- bzw. 625-Zeilen-systemen möglich wäre. Japan verfolgt einen eigenen Weg, der bei 60 Hz Halbbildfrequenz eine Zeilenzahl von 1125

Zeilen vorsieht. Bislang wurde keine einheitliche Norm erreicht.

Die Bemühungen um HDTV werden v.a. durch die nicht gelöste Problematik der Ausstrahlung und Empfangbarkeit in entsprechenden Endgeräten gebremst. Die analoge Ausstrahlung ist wegen der hohen Bandbreiten (20 MHz) nur nach einer Bandbreitenreduktion möglich. Da diese vor einigen Jahren nicht zur Verfügung stand, wurden verschiedene Szenarien entworfen, wie ein Übergang von den bestehenden Verfahren zu einer Zukunft mit HDTV aussehen sollte. Der wesentliche Gedanke war, zunächst einen Übergang zum 16:9-Bildformat zu realisieren, so dass bei einem späteren Übergang zu HDTV nur noch die Zeilenzahl erhöht werden sollte und dabei die bis zu diesem Zeitpunkt verkauften 16:9-Empfänger mit 525- bzw. 625 Zeilen zumindest ein bildschirmfüllendes Bild darstellen hätten können.

Der erfolgversprechendste Übergang schien zu Beginn der 90er Jahre der über die -im nächsten Kapitel beschriebenen - MAC-Formate zu sein. Allerdings verzögerte sich die Entwicklung der entsprechenden Decoder-Chips, so dass das Interesse an den MAC-Formaten nachließ und - mit Ausnahme von Frankreich und den Niederlanden - MAC heute wohl keine Zukunft mehr hat.

In Europa gibt es eine Reihe von Projekten, die sich mit der Ausstrahlung von HDTV-Signalen befassen. Die wichtigsten sind das HD-DIVINE- und das HDTV-TProjekt. In beiden Fällen steht dabei eine digitale Datenreduktion nach dem MPEG-2-Verfahren im Mittelpunkt der Überlegungen.

In Japan befindet sich eine Ausstrahlung von High-Vision-Programmen in der Testphase. Das japanische Verfahren zur Bandbreitenreduzierung nennt sich MUSE und steht für „Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding“.

Bei diesem Verfahren wird *Bandbreite gegen Übertragungszeit* ausgetauscht. Ein stehendes Bild wird *versetzt mehrfach abgetastet* und in vier Einzelbildern übertragen. Ein Bildspeicher im Empfänger speichert die Einzelinformationen und setzt die Einzelinformationen wieder zu einem hochauflösenden Bild zusammen. Dieses Verfahren funktioniert aber nur bei stehenden Bildern zufriedenstellend. Bewegung im Bild führt v.a. bei Schwenks zu sichtbaren Fehlern.

Mit einem Durchbruch von HDTV als Sendeformat kann allenfalls nach der Jahrtausendwende in Zusammenhang mit digitaler Fernsehstrahlung gerechnet werden. Allerdings zeigt sich auch hier der Trend, die Möglichkeiten, die in einer digitalen Übertragung stecken, für mehr Quantität anstelle von mehr Qualität - nämlich Bildqualität - zu nutzen. Von Seite der privaten Programmanbieter liegt das Interesse in einer weiteren Steigerung des Kanalangebotes, da hier rein kommerzielle Interessen die wesentliche Rolle spielen und der Zuschauer in der Regel nicht bereit ist für bessere Bildqualität zusätzlich zu bezahlen. Immerhin hat sich NHK in Japan bereits auf einen Zeitpunkt für die Einführung digitalen HDTVs festgelegt - das Jahr 2007.

Die Anwendung von HDTV als Produktionsformat in den Bereichen Industrierwerbung und Kinoproduktion muss sich HDTV zunehmend mit diversen Computer-Systemen teilen. Die, bei sinkenden Preisen, stetig wachsende Leistungsfähigkeit solcher Systeme gestattet es, immer mehr Anwendungen auf entsprechend spezialisierten Rechnern durchzuführen. Da

sich diese als singuläres Glied einer Bearbeitungskette verstehen, vor und nach dem in der Regel 16-, 35- oder 70 mm Film steht, sind hierbei Normungsfragen für den Einsatz eher sekundär und jeder Fortschritt der Technologie kann sofort Eingang in die Systementwicklung nehmen. Die jüngste Entwicklung der Firma KODAK - das CINEON-System - bietet eine Auflösung von 4096 x 4096 Bildpunkten und gestattet eine Vielzahl von Bearbeitungsschritten, die innerhalb des Mediums Film nicht denkbar wären.

Aus heutiger Sicht stehen hinter HDTV eine Vielzahl von Fragezeichen und es ist eher unwahrscheinlich, dass HDTV im Zeitraum der nächsten 10 Jahre zu einem flächendeckenden Produktions- und Ausstrahlungsstandard reifen wird.

MAC - Multiplexed Analoge Components

MAC steht für Multiplexed Analoge Components. Dabei handelt es sich um Verfahren, die nicht für die Verarbeitung im Nachbearbeitungsstudio geeignet, sondern für die Ausstrahlung sowie für die Verteilung in größeren Studiokomplexen konzipiert sind. Eine Zeitlang wurde die MAC-Familie als potentieller Nachfolger von PAL und SECAM als Sendestandard gehandelt und sollte dabei eine technische Brücke hin zu HDTV bilden. Aus heutiger Sicht ist das - zumindest in den Ländern mit PAL-Verfahren - nicht mehr der Stand der Dinge. Immerhin werden in Frankreich und den Niederlanden 16:9-formatige Ausstrahlungen auf Basis von D2-MAC realisiert. Da MAC in einer Reihe von Diskussionen als Begriff auch weiterhin auftaucht, sei hier das Prinzip erläutert.

Beim D2-MAC werden die, auf 5,6 bzw. 2,0 MHz bandbegrenzten, Komponenten mit 8 Bit digitalisiert, zwischengespeichert und über eine höhere Ausleserate zeitkomprimiert. Dann wird - noch in der digitalen Ebene - eine zeilenweise Umschaltung vorgenommen, welche die beiden Chroma-Komponenten abwechselnd auf den Ausgang schaltet. Zeitlich darauf folgend, wird dann das digitalisierte Luminanz-Signal hinzugefügt und anschließend wieder in die analoge Ebene zurück-gewandelt (s. auch Einschub 7: MOD-Systeme).

„Das so komprimierte analoge Videosignal wird mit einer Bandbreite von 8,4 MHz übertragen. Für die entsprechende Begrenzung sorgt ein Tiefpaß nach der DA-Wandlung.“ (SRT, D2-MAC-Paketsystem)

Der Vorteil dieser Sendenorm liegt auf der Hand: Die Komponenten liegen seriell vor und sind nicht, wie im FBAS-Signal, ineinander verschachtelt. Folglich können sich die Frequenzspektren nicht so durchdringen, dass es zu Fehlinterpretationen im Empfänger kommt - Cross-Effekte treten nicht auf. Des weiteren existiert kein quadraturmodulierter Farbträger - somit auch keine Phasenfehler - und auch keine 8er-Sequenz.

Die Nachteile sind ebenso klar: Durch die fehlenden Farbzeilen, und der damit verbundenen herabgesetzten vertikalen Farbauflösung ist diese Norm - ähnlich wie SECAM - für eine studioseitige Anwendung nicht geeignet. Erst am Ausgang des Sendekomplexes erfolgt eine Codierung aus der „echten“ Komponentenebene heraus in die D2-MAC-Norm.

Der Zuschauer wird die herabgesetzte vertikale Chrominanz-Auflösung so gut wie nicht

wahrnehmen können, weil im Dekoder die fehlenden Farbinformationen durch eine gewichtete Einbeziehung der drei benachbarten Zeilen in gewissen Grenzen regeneriert werden. Es wird deutlich, dass zwischen D2-MAC und SECAM gewisse Ähnlichkeiten bestehen - das wesentliche Merkmal beider Verfahren liegt in der zeilenweise abwechselnden Übertragung der Farbkomponenten. So erscheint es nicht verwunderlich, dass sich D2-MAC gerade in Frankreich erfolgreich behaupten kann.

Das S-MAC-Verfahren wurde als Lösung für die Zusammenschaltung „digitaler Inseln“, die nach dem CCIR-Standard 601 (4:2:2) arbeiten, über vorhandene analoge Schalt- und Verteilereinrichtungen vorgeschlagen.“
(SRT, D2-MAC-Paketsystem)

Dabei werden alle drei Komponenten in einer Zeile nacheinander mit einer Bandbreite von 12,46 MHz übertragen. Wegen der hierbei notwendigen, noch stärkeren zeitlichen Kompression und der hieraus resultierenden Rauschanfälligkeit ist dieses Verfahren für die durchgängige Signalverarbeitung im Studio ebenfalls nur bedingt geeignet.

Das **HD-MAC-Verfahren** sollte die Möglichkeit bieten HDTV-Signale zu übertragen und war neben D2-MAC ebenfalls als Sendestandard in der Diskussion.

Das PALplus-Verfahren

Nachdem eine schnelle Einführung von HDTV nicht in Sicht ist, das Bildseitenverhältnis von 16:9 aber dennoch aus den genannten Gründen heraus angestrebt wird, gab es in den letzten Jahren verschiedene Überlegungen, in welcher Form dieser Übergang aus den bestehenden Standards heraus zu vollziehen wäre.

Im Juli 1993 hatte der Ministerrat der EU in Brüssel beschlossen, die Einführung des 16:9-Formats gezielt zu fördern. Im Jahr 1995 strahlten mehr als zwanzig Sender aus neun Ländern derartige Programme aus. In Frankreich und den Niederlanden erfolgt die Ausstrahlung im D2-MAC-Verfahren. In Deutschland, Spanien, Belgien, dem United Kingdom, Portugal, Griechenland, der Schweiz wird PALplus ausgestrahlt. Hinzu kommen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit Italien und Österreich. Auch in den Niederlanden wird über einen Einstieg in PALplus nachgedacht.

PALplus ist als eine Erweiterung des geltenden 4:3 PAL-Standards insofern kompatibel zu diesem, als herkömmliche PAL-Empfänger die neuen PALplus-Programme ohne zusätzlichen Aufwand empfangen können. Dabei begrenzen - wie auch bei der Ausstrahlung von Breitwand-Kinofilmen - am oberen und unteren Bildrand solcher 4:3-Empfänger die bekannten schwarzen Letterbox-Streifen die Bildfläche. Es verbleiben 432 aktive Zeilen. Eine Reihe von bislang zur Verfügung stehenden Geräten bietet die Möglichkeit das verbleibende Bild „aufzublasen“, so dass es 4:3-format-füllend erscheint; dies ist allerdings mit vertikalen Verzerrungen verbunden -Gesichter werden länger.

Wird ein Breitwandfilm für das Fernsehen in ganzer Breite abgetastet, so ist es kein Problem, den Abtaster so zu justieren, dass sich dabei ganz automatisch die aktive Bildhöhe zu 432 Zeilen ergibt. Wenn aber ein elektronisch gewonnenes 16:9 Bild vorliegt, so weist dieses Bild 575 aktive Zeilen auf und es ist ersichtlich, dass es eines besonderen

Aufwandes bedarf, dieses Bild so zu „umzusortieren“, dass für einen 4:3-Empfänger nur noch 432 aktive Zeilen sowie zwei Letterbox-Streifen mit je 77 Zeilen übertragen werden.

Im PALplus-Verfahren werden durch eine sogenannte „vertikale Filterung“ aus den 575 aktiven Bildzeilen 432 Zeilen derart gewonnen, dass - bei natürlich herabgesetzter vertikaler Auflösung - dennoch die gesamte Bildfläche des ursprünglichen Bildes dargestellt wird. Zu vergleichen ist dieses Verfahren mit der Interpolation, welche bei der Wandlung aus der CCIR-625-Norm in die US-525-Norm angewendet wird.

Damit nun ein PALplus-fähiges 16:9-Gerät nicht ebenfalls nur 432 aktive Zeilen darstellt, werden in den schwarz getasteten Letterbox-Zeilen zusätzliche - sogenannte „Helper-Signale“ übertragen. Diese sind auf 4:3-Monitoren nicht sichtbar, da sie mit einem „Schwarz“ entsprechenden Pegel übertragen werden. Mit Hilfe dieser Helper-Signale rekonstruiert ein PALplus-Empfänger die fehlenden Bildzeilen. Dabei werden die aktiven Signale und die Helper-Signale in einem Bildspeicher zusammengeführt und dann formatfüllend auf dem 16:9-Bildschirm dargestellt.

Für Sendungen mit Archivmaterial, die nach dem herkömmlichen 4:3-Standard mit 576 aktiven Zeilen produziert wurden, muss nun seinerseits ein 16:9-Empfänger das Bild am rechten und linken Rand durch schwarze Streifen begrenzen, da dieses 4:3-Bild sonst in die Breite gezogen würde. Die Information, dass es sich um 4:3-Material handelt wird dem Empfänger durch ein Kennungssignal angezeigt, welches in Zeile 23 während der vertikalen Austastlücke übertragen wird. Natürlich gibt es auch 16:9-Endgeräte, die in der Lage sind, diese Kennung zu ignorieren, und das Bild horizontal „aufzublasen“, d.h. zu verzerren!

Neben der Umstellung des Bildformates bietet PALplus noch eine weitere interessante Eigenschaft. In Kapitel 4.3 wurde der Einsatz von dreidimensional arbeitenden digitalen Kammfiltern beschrieben, die zur sauberen Trennung von Luminanz und Chrominanz zeitliche Abläufe berücksichtigen.

Die Arbeitsweise solcher Filter ähnelt in gewisser Weise jenen Vorgängen, die bei der Normwandlung - also der Interpolation - und auch bei der Kodierung und Dekodierung von PALplus-Material angewendet werden. Die Farbkodierung bei PALplus wird als „Colorplus-Farbkodierung“ bezeichnet. Die PALplus-Dekodierung mit Hilfe der Helper-Signale gestattet es, die Bildqualität erheblich zu steigern. Insbesondere werden die typischen Cross-Effekte des herkömmlichen PAL-Signals weitgehend unterdrückt.

Zusammenfassung

Es existieren weltweit zwei Fernseh-Hauptnormen, die den Bildaufbau und die Bildwiedergabe regeln: die US-Norm (Geltungsbereich Amerika und Ostasien) mit 525 Zeilen je Vollbild und 60 Halbbildern je Sekunde, sowie die CCIR 625-Norm (Geltungsbereich Europa und Afrika) mit 625 Zeilen und 50 Halbbildern je Sekunde. Beide Normen definieren ein Bildformat (Breite : Höhe) von 4:3. Material das der einen Norm entspricht muss für eine Ausstrahlung im Geltungsbereich der anderen Norm mit aufwendigen Verfahren umgewandelt werden. Das geeignetste Verfahren hierfür ist die Interpolation, eine Rechenoperation, die mit der fortschreitenden Entwicklung im

Computerbereich heutzutage zunehmend angewendet wird.

Innerhalb dieser Fernsehnormen gibt es verschiedene Verfahren, um die Farbinformation zu übertragen. Im Rahmen der US-Norm ist dies das NTSC-Verfahren, innerhalb der CCIR-Norm das PAL- und das SECAM-Verfahren. Allen Verfahren gemeinsam ist die Frequenzumsetzung der Farbartsignale in den oberen Video-Frequenzbereich (3-5 MHz) und die anschließende Addition dieser - dann mit Chrominanz bezeichneten - Farbinformation zum Schwarz/Weiß-Signal - der Luminanz. In der Frequenzumsetzung liegen die entscheidenden Unterschiede zwischen den Verfahren. Während das SECAM-Verfahren mit FM-Modulation (FM: s. Einschub 2) arbeitet, verwenden NTSC und PAL eine Variante der Amplitudenmodulation (AM: s. Einschub 1)- die Quadratur-AM.

Das Bildschirmformat 4:3 wurde in den Anfangsjahren des Fernsehens von dem damaligen Kinoformat übernommen. Während in den fünfziger Jahren das Kino den Übergang zum Breitwandformat vollzog, und dabei in den verschiedenen Ländern nur einige tausend Projektoren ausgetauscht werden mussten, war ein solcher Formatwandel durch die millionenfach verkauften Heimempfänger für das Fernsehen nicht durchführbar.

Seit den siebziger Jahren wird an einem neuen - hochauflösenden - System gearbeitet, dem High Definition Tele Vision (HDTV). Dieses Verfahren beinhaltet nicht nur eine verdoppelte horizontale wie vertikale - mithin eine vervierfachte - Auflösung, sondern sieht im Rahmen der Einführung dieses Systems auch eine Formatveränderung zum 16:9-Format vor. Eine solche Normumstellung muß sukzessive in Teilschritten erfolgen, welche die Kompatibilität zu bestehenden Strukturen gewährleistet. Es gab verschiedene Ansätze für ein Umstellungsszenario, das diese Forderung gewährleistet. Ein Verfahren, das zu Beginn der neunziger Jahre als sehr erfolgversprechend angesehen wurde - das MAC-Verfahren - ist de facto gescheitert. Der neue Königsweg scheint das PALplus-Verfahren zu sein. Dieses Verfahren bietet - bei Kompatibilität zu herkömmlichem PAL 4:3 die Möglichkeit, im Verlauf der nächsten 5-10 Jahre zunächst die Formatumstellung auf das 16:9-Format vorzunehmen, um dann in einem späteren Schritt das hochauflösende Fernsehen einzuführen. Die japanische Rundfunkgesellschaft NHK hat sich in dieser Richtung bereits festgelegt: im Jahr 2007 soll HDTV, dann in digitaler Form eingeführt werden.