

Digitale Videotechnik

Prof. Dr. F. Habel, Prof. Dr. U. Teppner

Technische Fachhochschule Berlin
FB VI - Informatik

Gehalten im WS 2001/2002 von Prof. Dr. Hansjörg Mixdorff

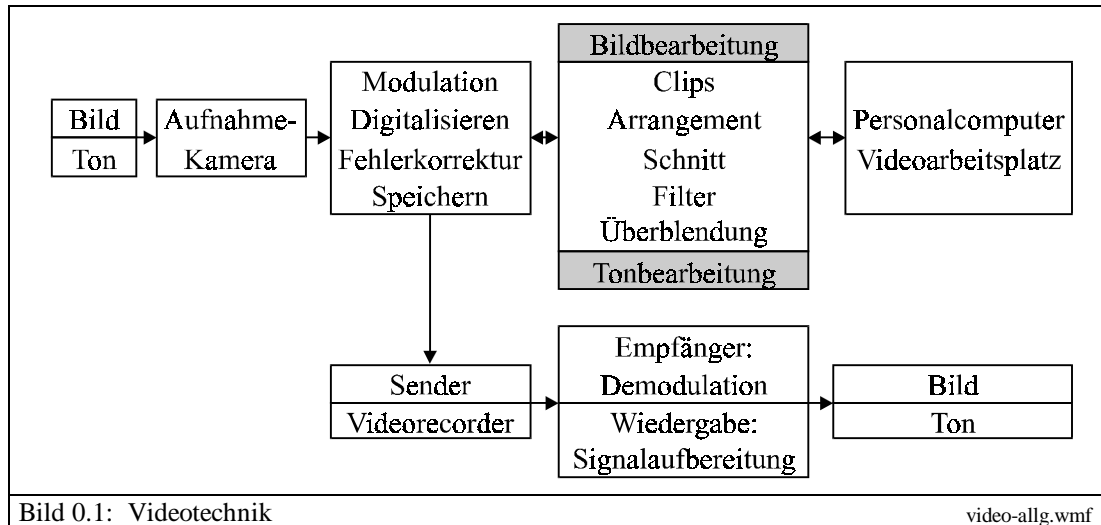
**Farbanalyse und Farbmischung
Speicher-, Aufzeichnungs- und Wiedergabeverfahren
Videokompressionsverfahren
Technik der Videoproduktion,ameratechnik
Linearer und nichtlinearer Videoschnitt**

Inhalt

1.	Grundlagen.....	5
1.1	Abbildung durch Linsen.....	6
1.2	Bildaufbau und Bildwandlungsprinzip.....	9
2.	Nachrichtentechnische Grundlagen.....	12
2.1	Analoge Signale.....	12
2.2	Modulationsarten.....	12
2.2.1	Amplitudenmodulation.....	12
2.2.2	Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM).....	13
2.2.3	Frequenzmodulation und Phasenmodulation	14
3.	Aufbau eines Fernsehbildes.....	15
3.1	Das Farbsignal	15
3.2	Aufbereitung der Farben durch Bandbreiten- und Pegelreduktion	17
3.3	Synchronsignale.....	20
3.4	Die wichtigsten Fernsehbegleitsignale.....	22
3.4.1	Fernsehbegleitton.....	22
3.4.2	Signale in der Vertikalaustastlücke.....	22
4.	Video-Aufzeichnungsgeräte	23
4.1	Magnetband- und Kopfführung.....	23
4.2	Analoge Magnetbandaufzeichnung	25
4.2.1	Zeitbasiskorrektur.....	25
4.2.2	Colour-Under-Aufzeichnung	26
5.	Das digitale Videosignal	28
5.1	Digital-Composite-Signal.....	28
5.2	Digital-Component-Signal.....	29
5.3	CCIR 601 (Comité Consultatif International des Radio Communications).....	29
5.4	CCIR 601 und das Bildseitenverhältnis 16:9.....	32
5.5	Auxillary Data.....	33
5.6	Embedded Audio	34
6.	Datenreduktion	35
6.1	Verlustfreie Datenreduktionen.....	35
6.2	DPCM	36
6.3	DCT.....	36
6.4	JPEG.....	38
6.5	MPEG.....	39
7.	Bildwandler	41
7.1	Röhrenbildwandler.....	41
7.2	CCD-Bildwandler	41
7.3	CMOS-Bildwandler	43
7.4	Farbbildwandler	44
7.5	Videokamera	44
7.6	Still-Video.....	45
7.7	Film-Abtaster	45
8.	Bildwiedergabegeräte.....	46
8.1	Geräte mit Kathodenstrahlröhren.....	46

Videoaufnahme - und Wiedergabeverfahren

In der Videotechnik vollzieht sich gegenwärtig ein Übergang von der analogen zur digitalen Technik. Die ursprünglich analogen Signale verlieren als Digitaldaten ihre videotechnischen Spezifika. Dabei können die Verteilungswege der analogen Fernsehtechnik wie Kabel, Satellit und terrestrische Sendewege für die Digitalübertragung weiter genutzt werden. Die künftige und moderne Videotechnik wird durch eine enge Verknüpfung mit den Bereichen Computertechnik und Telekommunikation gekennzeichnet sein. Das Bild 0.1 zeigt die grundlegenden Verknüpfungen von der Aufnahme bis zur Wiedergabe auf dem Bildschirm.



Bereits im 19. Jahrhundert wurden zwei für die Fernsehentwicklung wesentliche Erfindungen gemacht. 1873 entdeckte C. May die Lichtempfindlichkeit des Selsens, mit der elektrische Ströme in Abhängigkeit von der Helligkeit steuerbar wurden. 1884 erhielt Paul Nipkow (1860 – 1940, Berlin Pankow) ein Patent für die zeilenweise Zerlegung eines Bildes mit der Nipkow-Scheibe. Das nur bedingt realisierte Prinzip ist im Bild 0.2 erläutert.

Wichtige Grundprinzipien der heutigen Videosysteme sind hier schon realisiert. Die Abtastung geschieht zeilenweise. Die daraus gewonnene Information wird seriell übertragen und es muß eine Synchronisation zwischen Sender und Empfänger bestehen.

Mit der Norm von 180 Zeilen wurde 1935 in Deutschland der weltweit erste regelmäßige Fernsehdienst eröffnet, ohne daß eine elektrische Kamera zur Verfügung stand. Live-Übertragungen mit der Nipkow-Scheibe waren aufwendig, weshalb meist konventionelle Filme als Zwischenstufe dienten. Fast alle aktuellen Beiträge wurden zunächst auf Film aufgezeichnet und über Filmabtaster mit der Nipkow-Scheibe umgesetzt. Der Film war vor der Erfindung des Videorecorders auch das wichtigste Speichermedium für vertonte Bilder.

Der zweite Weltkrieg unterbrach in Deutschland die weitere Fernsehentwicklung. Wesentliche Fortschritte wurden in den USA erbracht, wo 1941 die bis heute geltende 525-Zeilennorm eingeführt wurde. In den USA wurde auch mit den Farbfernsehversuchen begonnen, die 1953 zur Entwicklung des vollelektronischen und schwarz-weiß-kompatiblen NTSC-Farbfernsehsystems (National Television Systems Committee) führte.

Versuche zur Verbesserung der Farbkonstanz führten 1957 in Frankreich zum SECAM-Verfahren (séquentiel couleur à mémoire) und 1963 in Deutschland zum PAL-Verfahren (Phase Alternation Line). Sowohl mit SECAM als auch mit und PAL wurde eine deutlich verbesserte Farbstabilität erreicht.

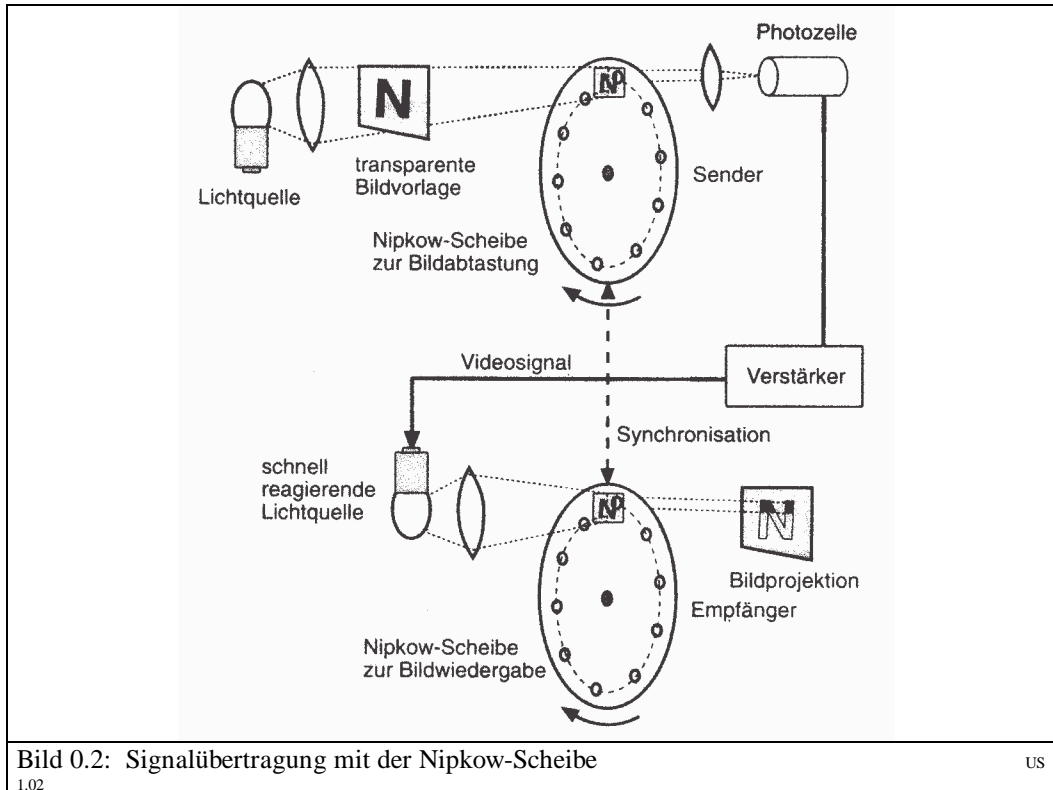


Bild 0.2: Signalübertragung mit der Nipkow-Scheibe

US

1. Grundlagen

Der Mensch erfährt mit seinem Auge elektromagnetische Wellen innerhalb des im Bild 1.1 markierten Wellenlängenbereichs von ca. 400 bis 760 nm. Die Randbereiche direkt unterhalb und oberhalb werden als ultraviolettes bzw. infrarotes Licht bezeichnet, können aber vom Auge nicht mehr wahrgenommen werden.

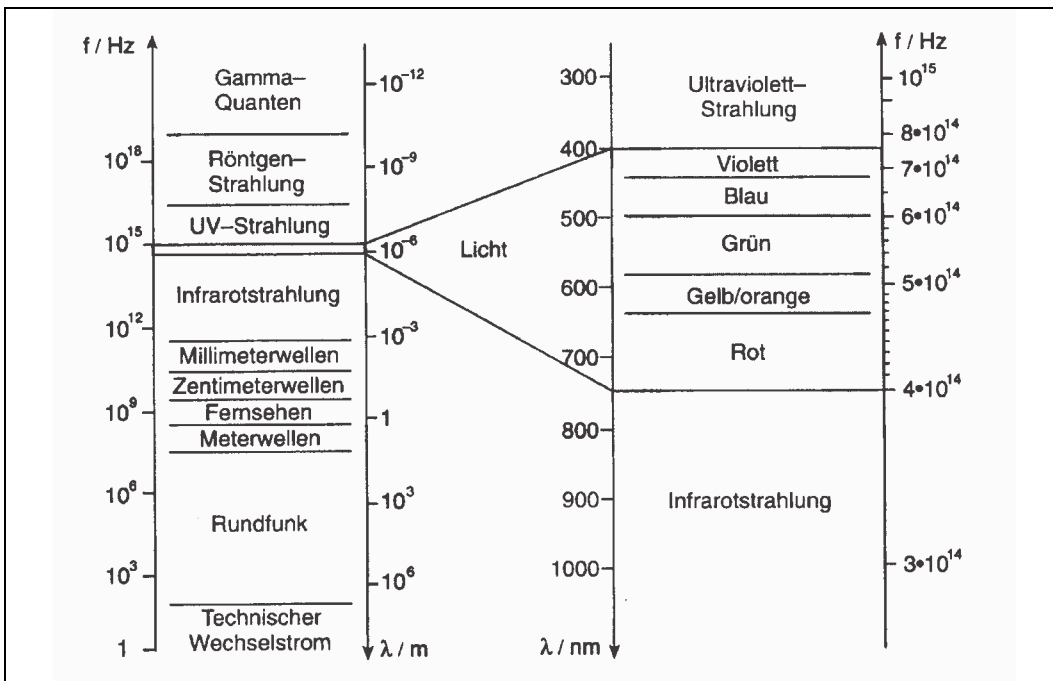


Bild 1.1: Das Spektrum elektromagnetischer Wellen

US 2.12

1.1 Abbildung durch Linsen

Lichtdurchlässige Körper, die durch zwei Kugelflächen begrenzt sind, bezeichnet man als Linsen. Ist eine Linse in der Mitte dicker als außen (konvex) bezeichnet man sie als Sammellinse, ist sie in der Mitte dünner als außen (konkav) bezeichnet man sie als Zerstreuungslinse.

Als Sammellinse ausgelegte Linsensysteme werden in Kameras eingesetzt, um ein aufzunehmendes Bild innerhalb der Kamera abzubilden. Diese Abbildung erfolgt dabei z.B. auf einem lichtempfindlichen Film oder auf lichtempfindliche elektronische Elemente.

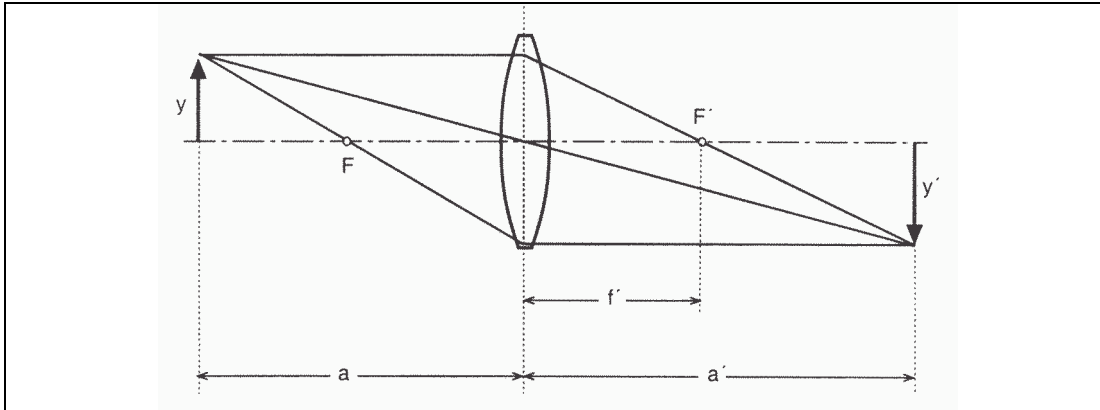


Bild 1.2: Abbildung mit einer Linse

US 2.35

Aus den geometrischen Verhältnissen der im Bild 1.2 wiedergegebenen Lichtstrahlen ergeben sich die Abbildungsgleichung $\frac{1}{f'} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$ und das Abbildungsverhältnis $\frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}$.

Wichtig bei der Abbildung ist einerseits die Schärfe der Abbildung, andererseits eine ausreichende Lichtintensität. Die Schärfe der Abbildung wird durch das Linsensystem erreicht. Bedingt durch Brennweite und Abstand des Gegenstands wird das reale Bild an einer festen Position hinter der Linse erzeugt. Hier muß sich das lichtempfindliche Medium befinden. Scharfstellen bedeutet, daß der Abstand Linse-Medium auf den Gegenstandsabstand angepaßt wird. Dies wird bei einem sog. Autofokus automatisch gemacht. Das Problem ist dabei allerdings, auf welchen Teil des Bildes scharfgestellt werden soll. Damit wird genau auf eine Gegenstandsweite justiert. Andere Gegenstandsweiten können nicht scharf abgebildet werden. Wie unscharf diese sind, hängt natürlich von der unterschiedlichen Weite ab, aber auch von der Schärfentiefe (Bild 1.3). Die Schärfentiefe ist ein Maß dafür, in welchem Bereich um die optimal abgebildete Gegenstandsweite ein Gegenstand noch ausreichend scharf abgebildet scheint.

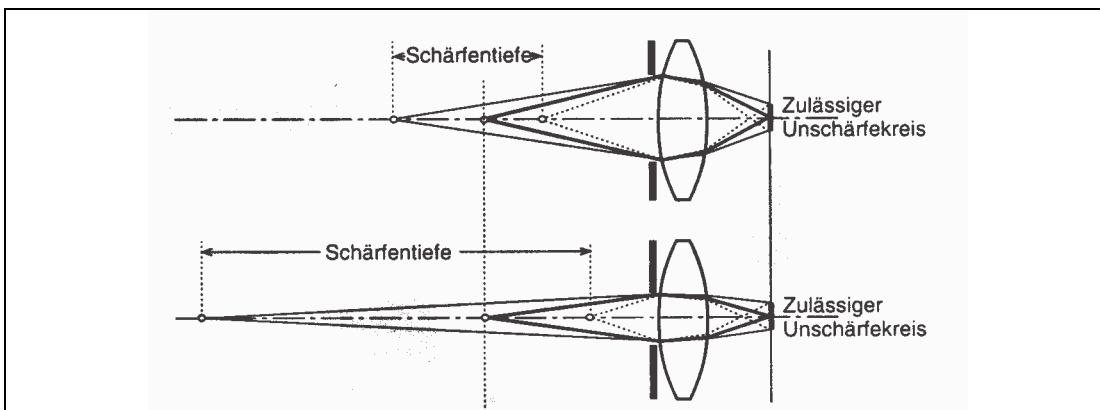


Bild 1.3 Veränderung der Schärfentiefe mit der Blende

US 2.38

Die Schärfentiefe wird in Verbindung mit der Brennweite wesentlich durch die Blendenöffnung d bestimmt. Die Blendenöffnung bestimmt, wie groß die wirksame Linsenfläche ist. Als Blendenzahl ist das Verhältnis $F = \frac{f}{d}$ definiert. Je größer diese Fläche (kleine Blendenzahl) ist, desto mehr zentrumsferne Strahlen durchlaufen die Linse und desto mehr Licht erreicht das lichtempfindliche Medium. Je kleiner diese Fläche (große Blendenzahl) ist, desto weniger Licht erreicht das Medium. Zentrumsferne Strahlen haben nun die Eigenschaft, wesentlich zur Unschärfe beizutragen. Die Schärfentiefe ist bei weit geöffneter Blende wesentlich geringer als bei fast geschlossener Blende.

Kennzahl für Objektive ist die Lichtstärke $F_{\min} = \frac{d_{\max}}{f}$. Die jeweilige Blendenzahl ist von der Einstellung der Blende abhängig. Die Blendenzahlen sind so gewählt, daß sich beim Übergang auf die nächste Stufe die Lichtstärke um den Faktor 2 ändert, was einer Durchmesseränderung um den Faktor $1:\sqrt{2}$ entspricht, was zur gerundeten Blendenzahlskala 1 - 1.4 - 2 - 2.8 - 4 - 5.6 - 8 - 11 - usw. führt.

Ein weiteres Kriterium ist die Brennweite des Linsensystems. Je kürzer diese Brennweite ist, desto kürzer kann auch die Gegenstandsweite sein und desto größer ist daher auch der Bildöffnungswinkel (Weitwinkelobjektive). Je größer die Brennweite ist, desto größer muß die Gegenstandsweite sein und desto kleiner ist auch der Bildöffnungswinkel (Teleobjektive).

Bei einer Linse ist die Brennweite festgelegt. Bei Linsensystemen (Bild 1.4) gibt es jedoch Anordnungen, welche durch mechanische Veränderungen der Positionen der einzelnen Linsen zueinander die resultierende Gesamtbrennweite verändern. Derartige Linsensysteme nennt man Zoom-Objektive.

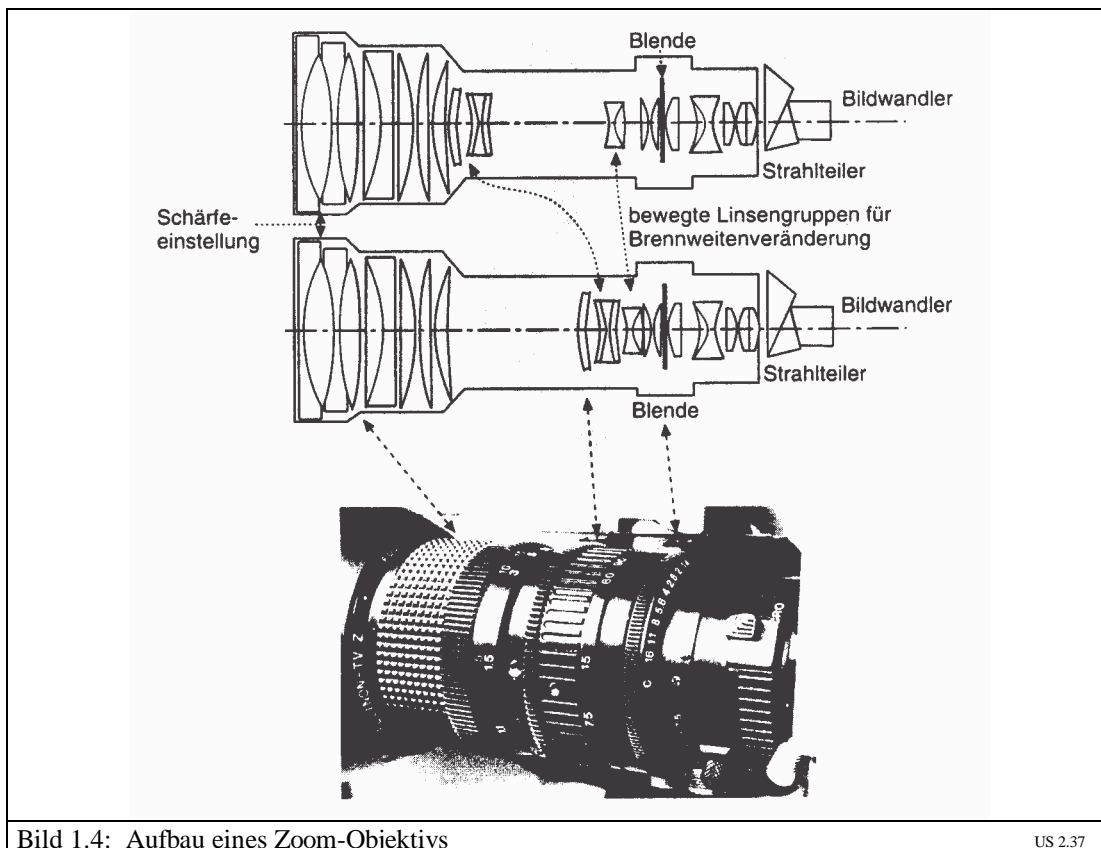


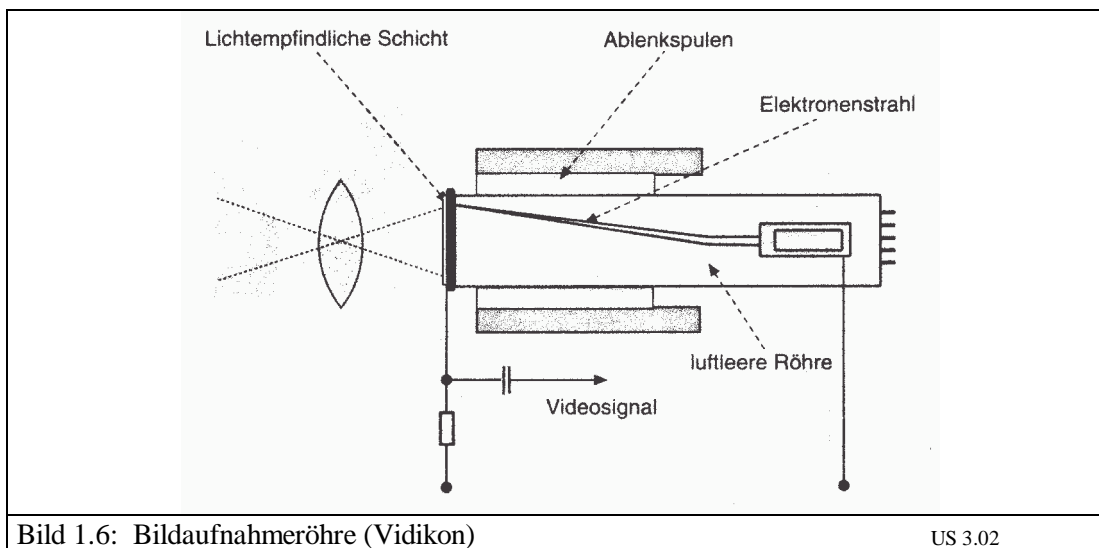
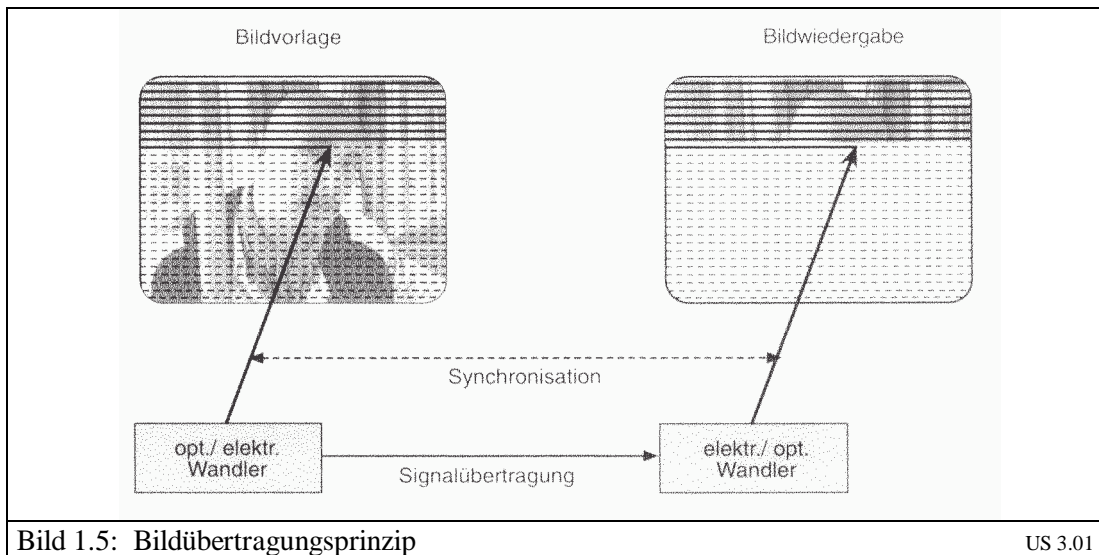
Bild 1.4: Aufbau eines Zoom-Objektivs

US 2.37

1.2 Bildaufbau und Bildwandlungsprinzip

Das zweidimensionale Bild wird in Zeilen zerlegt (Bild 1.5). Jede abgetastete Stelle erzeugt im Bildwandler ein der Bildhelligkeit entsprechendes elektrisches Signal. Damit der Betrachter ein fließendes Bild sieht, ist das Bild mindestens 20 mal pro Sekunde neu aufzubauen, um über die Trägheit des Auges einen ruhigen Bildeindruck zu erzeugen.

Zur Bildaufnahme und -wiedergabe dienen im Prinzip Braun'sche Röhren. Bei der Bildaufnahmeröhre (Bild 1.6) wird das aufzunehmende Bild auf die lichtempfindliche Schicht abgebildet. Diese wird mit einem Elektronenstrahl Zeile für Zeile abgefahren. Dabei ändert sich der Stromfluß in Abhängigkeit von der Bildpunkthelligkeit.



Bei der Wiedergabe wird durch das übertragene Signal die Intensität eines zur Aufnahme synchron laufenden Elektronenstrahls gesteuert. Dieser erzeugt auf dem Bildschirm (Bild 1.7) einen Lichtpunkt, dessen Intensität proportional zur Intensität des Elektronenstrahls ist, welcher wiederum durch die Aufnahme gesteuert wird.

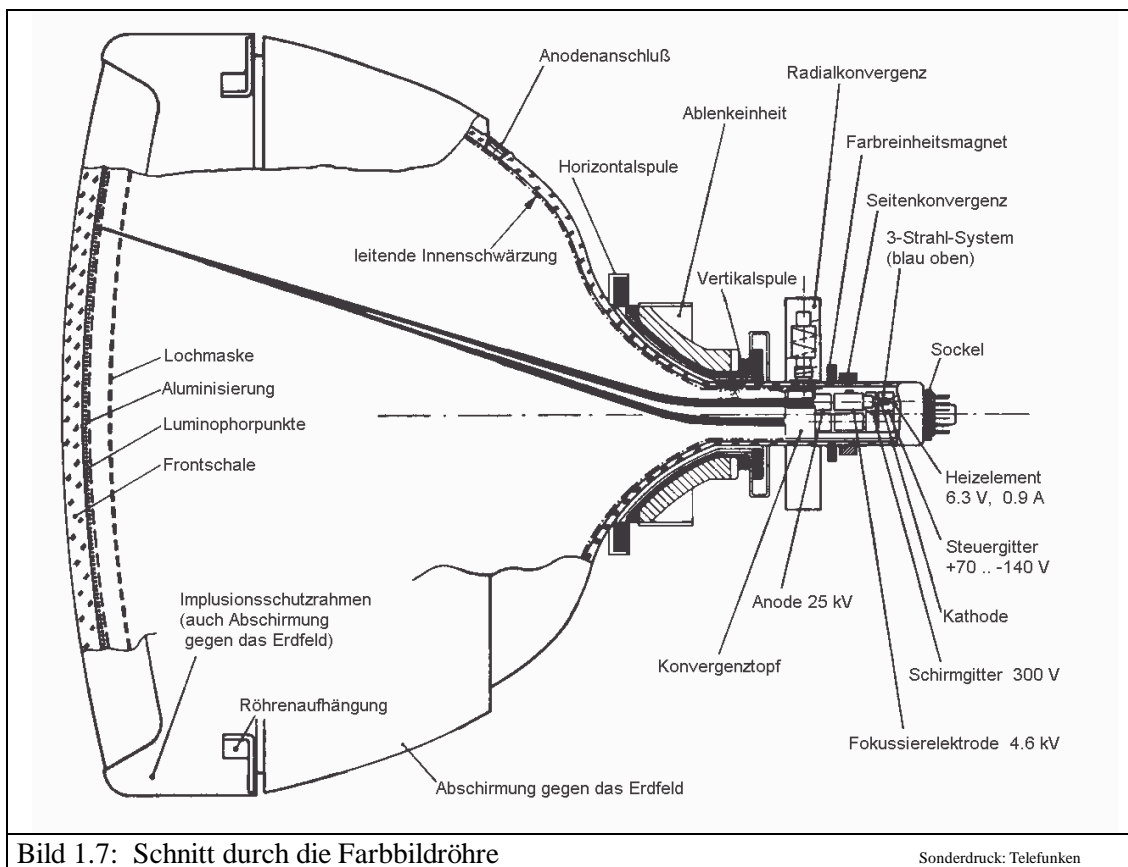


Bild 1.7: Schnitt durch die Farbbildröhre

Sonderdruck: Telefunken

Die Zahl der übertragenen Zeilen ist in Europa auf 625 festgelegt. Um ein möglichst flimmerfreies Bild zu erhalten ist eine Bildwechselfrequenz von 50 Hz festgelegt. Aus technischen Gründen war es jedoch nicht möglich, pro neuem Bild alle 625 Zeilen zu übertragen. Deshalb wird das Bild in zwei Halbbilder zerlegt, welche dann mit 50 Hz übertragen werden. Das erste Halbbild enthält nur die ungeraden, das zweite die geraden Zeilen.

Die abgetasteten Bildpunkte haben verschiedene Helligkeiten. Helle Bildpunkte führen zu einem hohen (0,7 V), dunkle zu einem niedrigen (0,01 V) Videosignal (Bild 1.8). Der Zusammenhang zwischen Helligkeit und Videosignal (Spannung) ist jedoch nicht linear. Diese Nichtlinearität existiert beim Aufnahme- und Wiedergabesystem. Im Aufnahmesystem wird die Nichtlinearität als sog. γ -Vorentzerrung so eingestellt, daß die vorhandene Nichtlinearität kompensiert wird (Bild 1.9).

Aufgrund der Bildwechselfrequenz von 25 Hz (2 Halbbilder) sind 40 ms für das Schreiben von 625 Zeilen vorhanden. Daraus ergeben sich $64 \mu\text{s}$ pro Zeile, was einer Zeilenfrequenz von 15,625 kHz entspricht. Allerdings muß für die Strahlrückführung hiervon noch etwas Zeit reserviert werden, und zwar wurden $12 \mu\text{s}$ dafür veranschlagt (horizontale Austastlücke = 0 V), so daß $52 \mu\text{s}$ effektiv pro Zeile übrig bleiben.

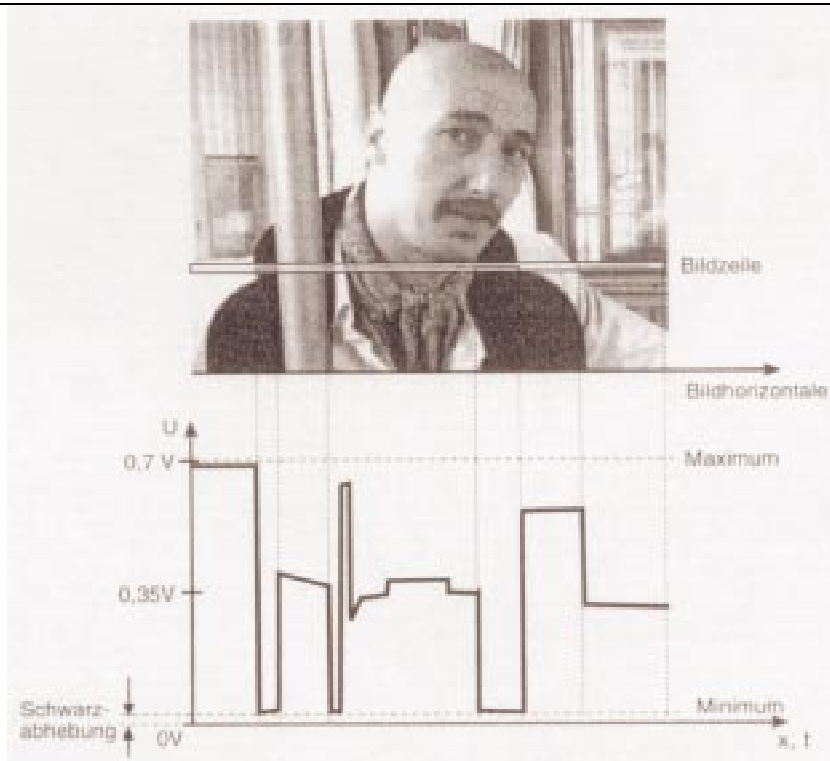


Bild 1.8: Videosignalverlauf einer Bildzeile

US 3.11

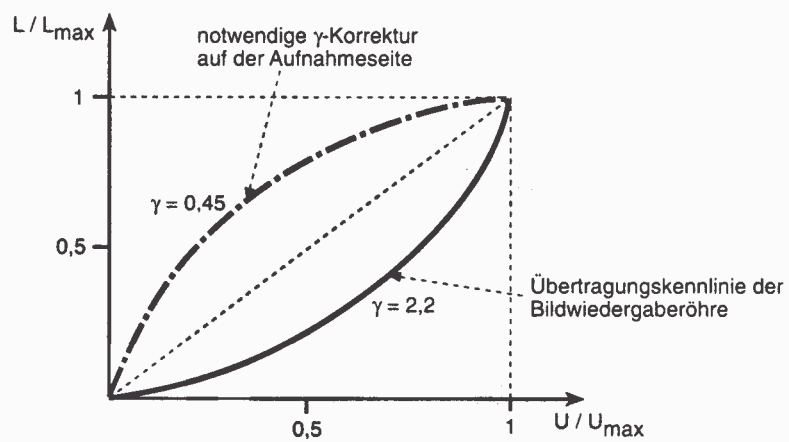


Bild 1.10: Gradationskurve zur γ -Korrektur

US 3.12

2. Nachrichtentechnische Grundlagen

Die in der Videotechnik auftretenden elektrischen Signale müssen gespeichert oder über weite Strecken übertragen werden. Diese Signale lassen sich im allgemeinen nicht direkt übertragen bzw. speichern. Die Signale müssen in definierte und durch Normen festgelegte Frequenzbänder eingebunden werden, was durch eine Modifikation der Signale möglich ist, was als Modulation bezeichnet wird.

2.1 Analoge Signale

Ein analoges Signal unterscheidet sich vom digitalen Signal dadurch, daß theoretisch jeder noch so fein gestufte Amplitudenwert darstellbar ist. Praktisch muß das Signal noch vom Rauschen, das jedem analogen Signal anhaftet, unterscheidbar sein. Die Rauschamplitude ist jedem Signal überlagert und ist besonders bei magnetisch aufgezeichneten Signalen durchaus beachtlich.

Der Pegel eines analogen Signals wird in dB gemessen und ist folgendermaßen definiert:

$$a_{dB} = 20 \log \left(\frac{V_u}{V_o} \right)$$

mit V_u Nutzsinal

und $V_o = 0.775 \text{ V}$ Referenzpegel (= 1 mW an einem Widerstand von 600Ω).

Der professionelle maximale Studiopegel beträgt +6 dB, was $V_u = 1.55 \text{ V}$ entspricht.

Das Rauschen und sonstige störende Einstrahlungen auf das Nutzsinal werden mit dem Fremdspannungsabstand entsprechend obiger Formel in dB gemessen, wobei das Verhältnis aus Nutzsinalpegel/Störsignalpegel in dB als Störabstand definiert ist.

Die Frequenzspektren von Video und Audiosignalen unterscheiden sich beträchtlich. Audiosignale haben nur einen Frequenzbereich von 20 Hz .. 20 kHz. Videosignale dagegen erfordern einen Frequenzbereich bis 5 MHz. Diese hohe Bandbreite von rund 5 MHz bereitet bei der magnetischen Videoaufzeichnung erhebliche Probleme.

2.2 Modulationsarten

Damit das Basisband effektiv über eine Antenne abgestrahlt oder auf ein Magnetband aufgezeichnet werden kann, wird es zu höheren Frequenzen hin transformiert. Dies geschieht durch Modulation eines hochfrequenten Trägers der Frequenz ω_T , der vom Basisbandsignal der Frequenz ω_M moduliert wird. Als Träger werden Sinussignale oder Pulsfolgen verwendet, das modulierende Signal kann analoger oder digitaler Art sein.

2.2.1 Amplitudenmodulation

Verändert das Basissignal die Trägeramplitude, dann spricht man von der Amplitudenmodulation (AM) (Bild 2.1). Werden sinusförmige Signale betrachtet, so läßt sich die Amplitudenmodulation in der Form

$$a_{AM}(t) = (1 + m \cdot \cos(\omega_M t)) a_T \sin(\omega_T t)$$

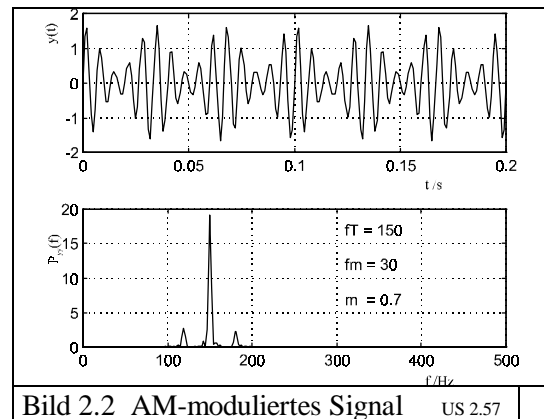
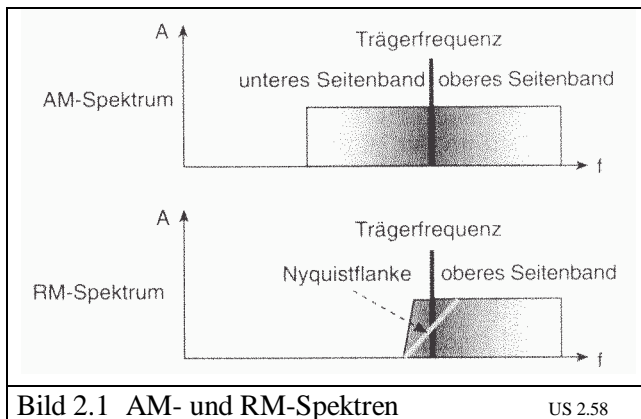
schreiben, was mittels trigonometrischer Umformung in die Form

$$a_{AM}(t) = a_T \sin(\omega t) + \frac{a_M}{2} \sin((\omega_T + \omega_M)t) + \frac{a_M}{2} \sin((\omega_T - \omega_M)t)$$

gebracht werden kann. Neben der Trägerfrequenz ω_T treten dabei noch zwei Seitenbänder (Bild 2.2) mit den Modulationsfrequenzen ω_M des Basisbandes auf, die symmetrisch zur Trägerfrequenz liegen.

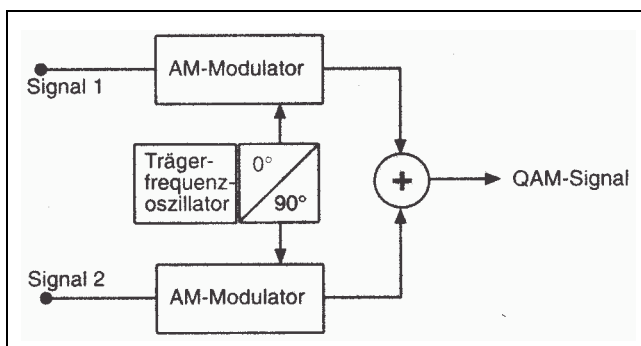
Der Vorteil der AM ist, daß die Demodulation auf der Empfängerseite sehr wenig Aufwand erfordert, weil die Information in der Hüllkurve des Trägers enthalten ist. Es reicht ein einfacher Hüllkurvendemodulator aus, der aus einer Diode zur Unterdrückung einer Halbwelle und einem Tiefpaßfilter zur Beseitigung der Trägerschwingung bestehen kann.

Zur Fernsehsignalübertragung wird als Kompromiß die Restseitenband-AM (RSB-AM) verwendet, die auch mit RM oder VSB (Vestigal Side Band) abgekürzt wird. Das untere Seitenband wird nur bis maximal 1.25 MHz übertragen. Das obere Seitenband wird dagegen vollständig übertragen. Mit dieser RM-Methode spart man zwar erheblich Frequenzbandbreite, muß dafür aber zusätzliche Übertragungsverzerrungen hinnehmen.



2.2.2 Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM)

Eine Steigerung der Effektivität der Amplitudenmodulation (AM) ist dadurch möglich, daß neben der Amplitude auch die Phase des Trägers moduliert wird. Dies gelingt mit der Quadraturamplitudenmodulation (QAM) (Bild 2.3). Es werden hier zwei gleichfrequente, jedoch um 90° gegeneinander phasenverschobene Träger eingesetzt. Die phasenverschobenen Träger werden von zwei verschiedenen Signalen amplitudenmoduliert und dann zusammengeführt.



Zur Demodulation eines QAM-Signals ist ein Hilfsträger nötig, der mit dem Originalträger in Frequenz und Phase synchronisiert ist. Bei dieser kohärenten Demodulation lassen sich die beiden Signale wieder trennen. QAM wird in der Videotechnik zur Übertragung der Farbdifferenzsignale verwendet. Die Synchronisation mit dem Originalträger wird über einen an jedem Zeilenanfang neu übertragenen kurzen Burst gewährleistet. Ein sog. Schwungradgenerator sorgt für den Rest der Zeile für eine ausreichende Frequenz- und Phasenstabilität, bis wieder in der nächsten Zeile erneut auf den Referenzburst synchronisiert werden kann.

2.2.3 Frequenzmodulation und Phasenmodulation

Bei der Frequenzmodulation wird die Trägerfrequenz f_T im Rhythmus des zu übertragenden Signals in seiner Frequenz verändert (Bild 2.4). Der Maximalwert des modulierenden Signals führt zur größten Abweichung von der Trägerfrequenz, dem sog. Frequenzhub Δf . Bei sinusförmigen Signalen wird das Verhältnis $\eta = \Delta f / f_T$ als Modulationsindex bezeichnet. Ähnlich wie bei der Amplitudenmodulation treten auch hier zwei Seitenbänder auf. Bei kleinem Hub bzw. η kann dies auch in der Form

$$a_{FM}(t) = a_T \left[\cos(\omega_T t) - \frac{\eta}{2} \cos((\omega_T - \omega_M)t) + \frac{\eta}{2} \cos((\omega_T + \omega_M)t) \right]$$

geschrieben werden. Theoretisch treten noch zusätzlich höherfrequente Seitenbänder auf, die aber in ihrer Amplitude rasch abnehmen. Je größer der Modulationsindex ist, desto feiner kann die modulierte Amplitude aufgelöst werden, desto größer ist auch der Störabstand. Die Frequenzmodulation hat gegenüber der Amplitudenmodulation den Vorteil, daß sie fast unabhängig von Amplitudenschwankungen ist. Dies macht sie gegen das Rauschen unempfindlich, das bei Magnetbändern unvermeidlich ist. Da die Amplitude keine Information trägt, können Amplitudenschwankungen durch Begrenzungen eliminiert werden und das Band läßt sich immer bis zur Sättigung aussteuern. Deshalb wird heute bei der Videoaufzeichnung ausschließlich die Frequenzmodulation angewendet. Die Nichtlinearität der Magnetisierungskennlinie spielt fast keine Rolle mehr und eine HF-Vormagnetisierung ist nicht nötig. Die Frequenzmodulation benötigt aber gegenüber der Amplitudenmodulation eine deutlich höhere Bandbreite.

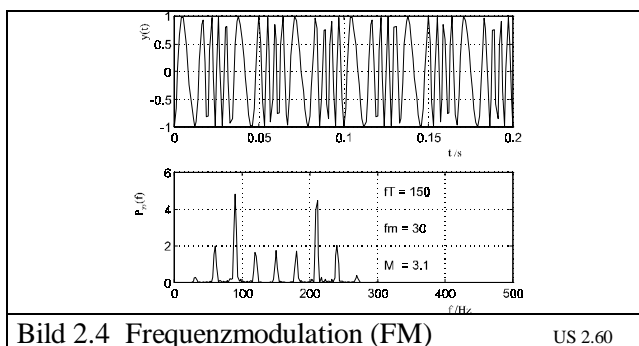


Bild 2.4 Frequenzmodulation (FM)

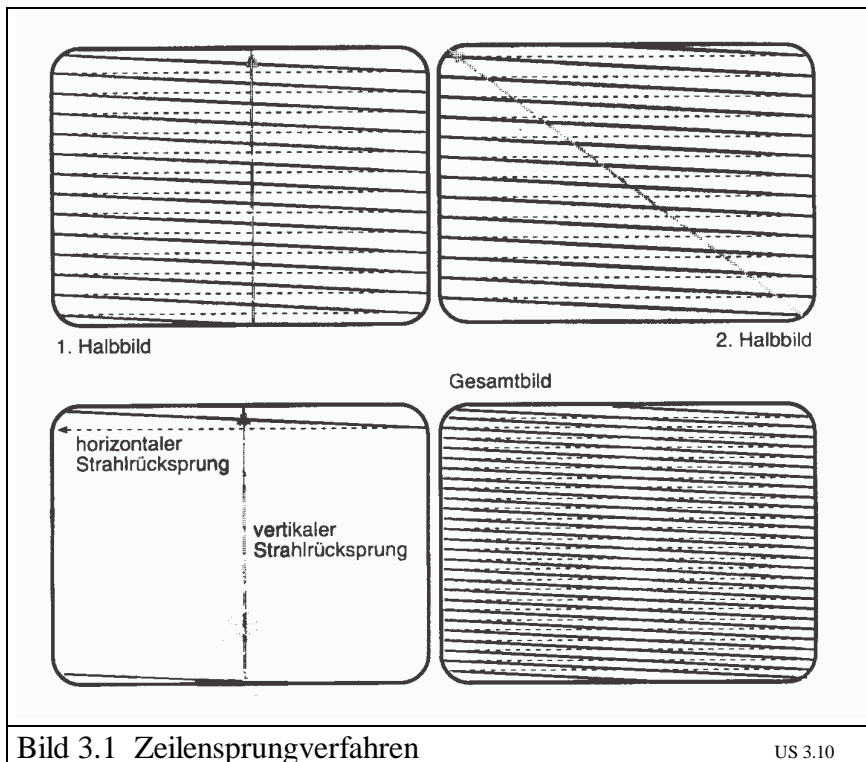
Zur Demodulation kann eine PLL-Schaltung (Phase Locked Loop) verwendet werden. Hier wird der in seiner Frequenz steuerbare Oszillator (VCO) mit einem Regelkreis phasenstarr auf die veränderliche Frequenz abgeglichen. Bei FM muß der Oszillator somit ständig nachgestimmt werden. Das Nachstimmsignal entspricht dem demodulierten Signal. Es gibt allerdings auch noch andere FM-Demodulationsverfahren.

Eine Sonderform der Frequenzmodulation ist die Phasenmodulation, bei der das zu modulierende Signal die Phase der Trägerschwingung ändert. Da man die Phase nicht ändern kann, ohne zumindest kurzfristig die Frequenz zu variieren, ist die Phasenmodulation mit der Frequenzmodulation eng verwandt. Im Videobereich wird die Phasenmodulation so gut wie nie verwendet.

3. Aufbau eines Fernsehbildes

Jedes Fernsehbild wird in Zeilen übertragen, wobei in Europa 625 Zeilen für ein Vollbild üblich sind. Das Fernsehbild wird allerdings nicht komplett übertragen, sondern nacheinander in zwei sog. Halbbildern (Bild 3.1). Im ersten Halbbild werden z.B. nur alle ungeradzahigen Zeilen übertragen, während anschließend alle geradzahigen Zeilen übertragen werden. Die Halbbilder werden mit einer Frequenz von 50 Hz übertragen und so ineinander verkämmt, daß die einzelnen Zeilen dann in aufsteigender Zählfolge 1, 2, 3 ... 625 angeordnet sind. Damit benötigt ein Halbbild 20 ms zur Übertragung. Mit diesem sog. Zeilensprungverfahren wird erheblich Bandbreite gespart, weil durch diesen ineinander verkämmt Halbbildaufbau nur die Hälfte des Bildinhaltes übertragen wird und dabei das unvermeidliche Flimmern deutlich reduziert wird, weil die Bildwiederholung doch scheinbar mit 50 Hz erfolgt. Hier wird auch das Nachleuchten der Farbpixel mit ausgenutzt. Durch das Nachleuchten, das auf die Bildwiederholfrequenz abgestimmt ist, wird zusammen mit der Trägheit der Augen ein weitgehend flimmerfreies Bild erzeugt.

Die Zeilen werden mit einer Frequenz von 15,625 kHz geschrieben, was einer Zeilendauer von 64 μ s entspricht.



3.1 Das Farbsignal

Das Farbfernsehen benutzt das additive Farbmischen aus den drei Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B). Werden die drei Grundfarben zu je 100% gemischt, so entsteht Weiß. Bei gleichmäßiger

Reduktion aller Farbwerte, z.B. $R = G = B = 0.5$, entsteht ein Grauton. Kein Farbsignal $R = G = B = 0$ ergibt Schwarz.

Beim Mischen von jeweils nur zwei Grundfarben mit voller Intensität von 100% ergeben sich folgende Kombinationen:

Grundfarben	Mischfarbe	Komplementärfarben
Rot + Grün	= Gelb	Rot Cyan
Grün + Blau	= Cyan	Grün Magenta
Blau + Rot	= Magenta	Blau Gelb

Zwei Farben, die bei ihrer additiven Mischung Weiß ergeben, heißen Komplementärfarben. Die drei Grundfarben und die drei Komplementärfarben bilden ein Farbsystem und werden zum Testen bei der Farbwiedergabe oft als Testsignale verwendet. Alle anderen Farben ergeben sich durch Verändern der Intensität der drei Grundfarben. Zur Übertragung des Farbsignals reichen somit drei Kanäle aus, um alle Farben realisieren zu können.

Da in den Anfängen der Fernsehtechnik auch eine Kompatibilität zu den damals noch gebräuchlichen Schwarzweiß (S/W)-Fernsehgeräten gefordert wurde, wird das Farbsignal so aufbereitet, daß es ein S/W-Fernsehgerät ohne Probleme wiedergeben kann. Außerdem sollte das zusätzliche Farbsignal im gleichen Kanal wie das S/W-Signal übertragen werden und keine zusätzliche Bandbreite erfordern.

Dies führte zur Trennung in ein Leuchtdichtesignal (Luminanzsignal) Y und zwei Farbdifferenzkomponenten für Rot (R-Y) und Blau (B-Y). Die mathematische Beziehung

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

für das Y-Signal (Luminanzsignal) entsteht aus der Transformation auf die genormten Farbwertanteile bezogen auf die Empfängerleuchtstoffe.

Die Faktoren 0.3, 0.59 und 0.11 für die einzelnen Farbanteile berücksichtigen die Helligkeitsbewertung des Auges für verschiedene Farben, so daß eine Umsetzung in entsprechende Grauwerte als natürlich empfunden wird.

Durch die Aufspaltung in das Luminanzsignal und die beiden Farbdifferenzsignale wird aus dem sonst dreidimensionalen Farbraum eine zweidimensionale Farbebene, weil in den Farbdifferenzsignalen alle Information über die Farbe enthalten ist. Die Bilder 3.2 und 3.3 zeigen etwas vereinfacht den Übergang vom Farbraum über die schon flächig interpretierbare Farbtüte zum IBK-Diagramm, das von der internationalen Beleuchtungskommission (IBK) genormt wurde.

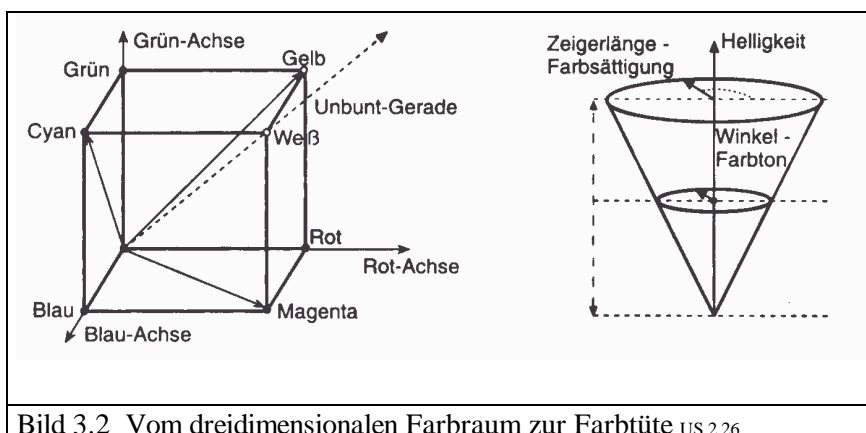


Bild 3.2 Vom dreidimensionalen Farbraum zur Farbtüte US 2.26

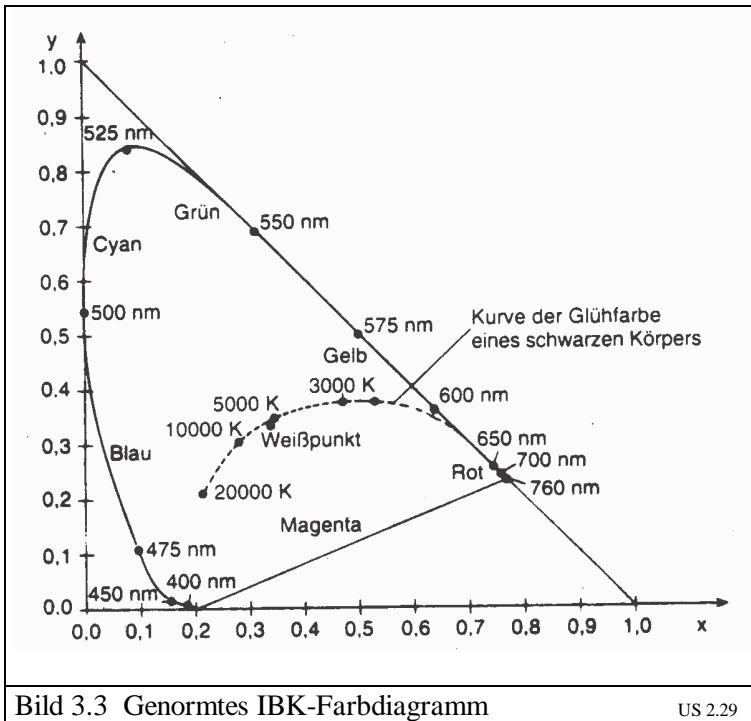


Bild 3.3 Genormtes IBK-Farbdigramm

US 2.29

3.2 Aufbereitung der Farben durch Bandbreiten- und Pegelreduktion

Die Aufteilung in ein Luminanzsignal und zwei Farbdifferenzsignale bietet den Vorteil, vor allem Bandbreite für die Übertragungswege zu sparen. Das S/W-Signal muß mit voller Bandbreite von 5 MHz übertragen werden. Würde man die Farbkomponenten R, G und B getrennt übertragen, so wäre für jede Farbkomponente die volle Bandbreite von 5 MHz erforderlich, was insgesamt 15 MHz Bandbreite ergibt und technisch zu aufwendig und auch nicht notwendig wäre. Berücksichtigt man, daß das Auge zwar auf Helligkeitsunterschiede, die alle im Y-Signal enthalten sind, sehr empfindlich, dagegen auf die Farbe nur schwach reagiert, so können die beiden Farbdifferenzsignale mit deutlich kleinerer Bandbreite übertragen werden. Die Farbe coleriert lediglich das vom Luminanzsignal erzeugte Helligkeitsbild. Heute wird die Bandbreite für die Farbdifferenzsignale bei einer Y-Bandbreite von 5 MHz auf 1.3 ... 2,5 MHz reduziert.

Die Komponentensignale RGB sind trotz möglicher Bandbreitenreduktion Signale mit hoher Qualität und werden häufig in der professionellen Studiotechnik verwendet, da hier meist auf Leitungen übertragen wird und nicht über den Funkweg, wie das beim allgemeinen Fernsehempfang der Fall ist. Eine Bandbreitenreduktion ist deshalb nicht erforderlich.

Die Farbdifferenzsignale werden reduziert, damit sie keine höheren Spannungen als das Luminanzsignal aufweisen, um Übersteuerungen zu vermeiden. Für die Rundfunkausstrahlung werden aus modulationstechnischen Gründen die Differenzsignalamplituden mit folgenden Faktoren reduziert:

$$U = 0.493 (B-Y)$$

$$V = 0.877 (R-Y)$$

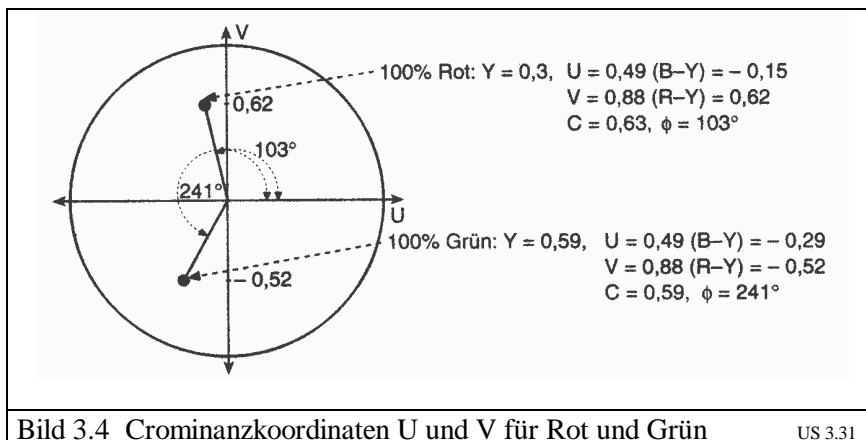
und als U- und V-Signal bezeichnet. Die Signale U und V werden häufig auch als allgemeine Bezeichnung für die Farbdifferenzkomponenten verwendet. Die beiden Signalanteile U und V müssen nun zu einem Crominanzsignal C zusammengefaßt werden. Dies erfolgt mit der

Quadraturamplitudenmodulation (QAM), bei der ein Farbhilfsträger auf den U-Modulator direkt und auf den V-Modulator mit einer Phasenverschiebung von 90° einwirkt. Das Crominanzsignal trägt die Information über den Farbton in der Phase und über die Farbsättigung in der Amplitude. Man vergleiche dazu auch die Darstellung der Farbtüte.

Für die Farbübertragung gibt es die drei Verfahren NTSC, SECAM und PAL. Die wichtigsten Daten der drei Verfahren sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	B/G	D/K	I	L	M
Einsatzgebiet	Mittel-europa	Ost-europa	Groß-brittanien	Frank-reich	USA
Zeilen/Vollbild	625	625	625	625	525
Halbbildfrequenz (Hz)	50	50	50	50	60
Zeilenaustastdauer (μ s)	12	12	12	12	10.8
Bildaustastdauer (Zeilen)	25	25	25	25	20
Videobandbreite (MHz)	5	6	5.5	6	4.2
HF-Kanalbandbreite (MHz)	7/8	8	8	8	6
Bild/Tonträgerabstand	5.5/5.74	6.5	6	6.5	4.5
Bildmodulation (AM)	neg.	neg.	neg.	pos.	neg.
Tonmodulation	FM	FM	FM	AM	FM
Internationale Fernsehstandards	US 3.23				

In Deutschland wird das PAL-Verfahren angewandt, das mit einem Farbhilfsträger von ca. 4.43 MHz arbeitet. Die beiden Bilder (3.4) und (3.5) zeigen zwei Beispiele zur QAM-Farbumsetzung.



Das gesamte Farbvideosignal besteht aus den beiden Anteilen Luminanz (Y) und Crominanz (C). Durch das Zusammenfügen von Luminanz- und Crominanzsignal entsteht das zusammengesetzte Farb-, Bild-, Austast- und Synchronsignal (FBAS- oder Compositesignal). Luminanz- und Crominanzsignal sind im Gesamtspektrum ineinander verkämmt, weil man theoretisch zeigen kann, daß infolge der Zeilenstruktur des Fernsehbildes Lücken im Frequenzspektrum des FBAS-Signals enthalten sind (Bild 3.6). In diese Lücken wird das Crominanzsignal in QAM-Modulation mit dem Farbträger 4.43 MHz verkämmt. Dies hat den Vorteil, daß die Y- und C-Signalanteile aus dem Gesamtsignal wieder weitgehend getrennt zurückgewonnen werden können. Der Farbträger ist auch relativ weit oben im Frequenzspektrum des bis 5 MHz reichenden Übertragungsbandes angesiedelt, weil im oberen Frequenzband vom Luminanzsignal nur noch geringe Amplitudenanteile enthalten sind und das Farbsignal von diesen Luminanzrestbändern nicht mehr wesentlich beeinflusst wird.

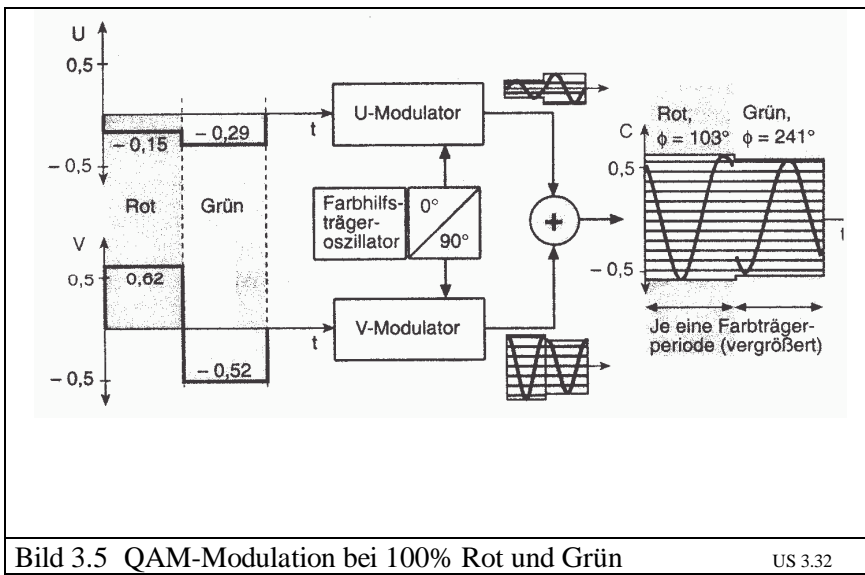


Bild 3.5 QAM-Modulation bei 100% Rot und Grün

US 3.32

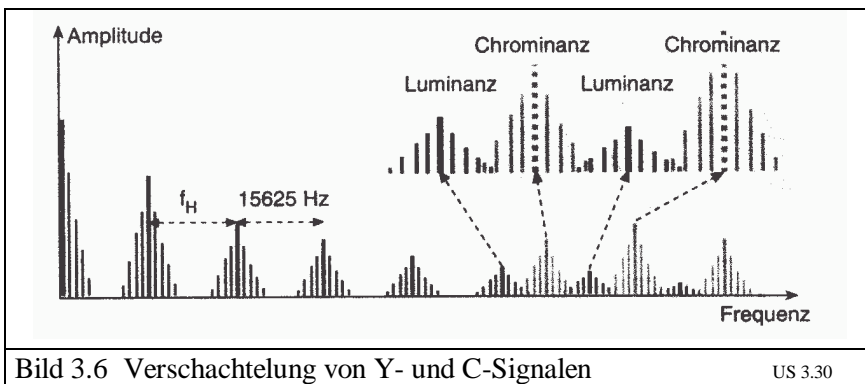


Bild 3.6 Verschachtelung von Y- und C-Signalen

US 3.30

In der Zeitdarstellung des Gesamtsignals einschließlich Chrominanzsignal einer Zeile für Farbbalken wird deutlich, daß die Y- und C-Amplitudenwerte sich addieren. Das Chrominanzsignal hat positive und negative Anteile. Bei der Addition der Amplitudenwerte ergeben sich für die Farbbalken die im folgenden Bild dargestellten Verläufe. Die Spitzenwerte liegen selbst bei Pegelreduktion der Farbdifferenzsignale U und V noch bei 133% bzw. -33% des Bildaustastwertes. Die Übermodulation kann akzeptiert werden, da in realen Bildvorlagen selten diese Spitzenwerte auftreten.

Um Übersteuerungen auch bei den Testsignalen zu vermeiden, ist neben dem voll gesättigten Farbbalken auch der mit 75% gesättigte Farbbalken üblich. Wie das Bild (3.7) auch zeigt, treten dann keine übermäßigen Pegelüberschreitungen mehr auf.

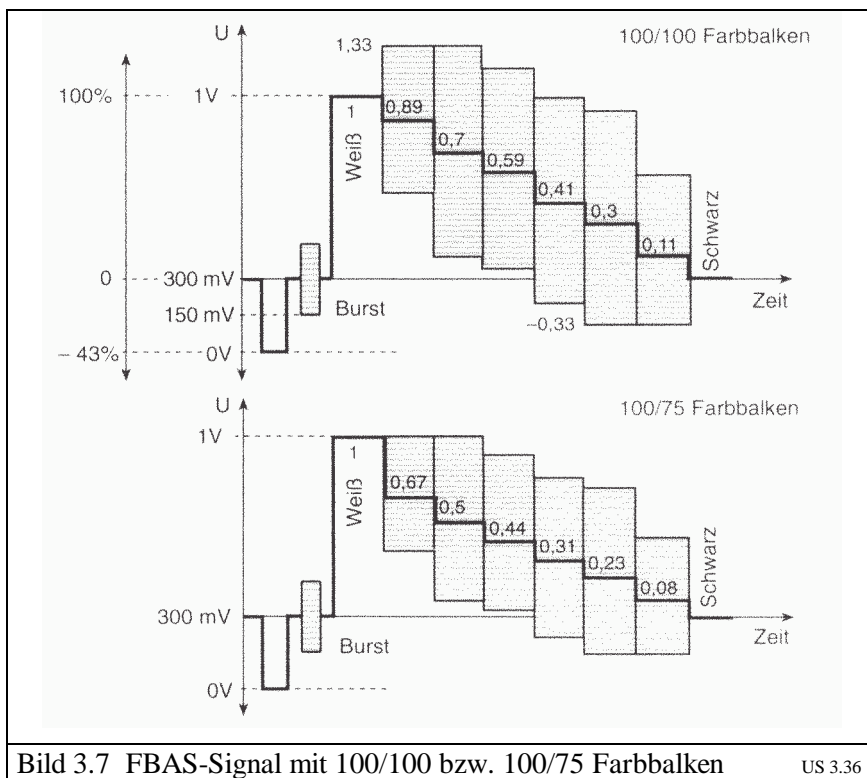


Bild 3.7 FBAS-Signal mit 100/100 bzw. 100/75 Farbbalken

US 3.36

3.3 Synchronsignale

Im Empfänger müssen die Zeilen in gleicher Weise geschrieben werden, wie sie in der Kamera erzeugt werden. Der nötige Gleichlauf wird mit Synchronsignalen gesteuert. Neben den Zeilen müssen auch die Bilder synchronisiert werden. Die Synchronsignale sind relativ zu den Bildsignalen negativ gerichtet, weshalb sie leicht vom Bildsignal zu trennen sind. Der negative Synchronimpuls ist in seiner Größe definiert und wird auch zur Amplitudenregelung der Bildsignale verwendet.

Der Zeilensynchronimpuls, auch Horizontal (H)-Synchronimpuls genannt, ist ein Impuls von 4.7 μ s Dauer (Bild 3.8). Jede Bildzeile wird somit durch einen Synchronimpuls eingeleitet, dem kurz darauf, noch in der sog. Schwarzscherle von 5.8 μ s, der sog. Burst folgt. Der Burst dient der Synchronisation des Farbhilfsträgers, damit die Demodulation (= Rückgewinnung) der Farbe ohne Farbverfälschungen erfolgen kann. Um durch den Übertragungsweg verursachte Farbverfälschungen noch auszugleichen, wird der Farbhilfsträger im Rhythmus der Zeilen um 180° in der Phase gedreht und die momentan übertragene Zeile zur vorhergehenden und in einer Laufzeitleitung zwischengespeicherten Zeile hinzugefügt. Diese Technik ist das spezielle Kennzeichen der PAL- und SECAM-Verfahren. Im NTSC-Verfahren wird diese Möglichkeit der Farbkorrektur nicht genutzt, was bei ungenügenden Empfangsverhältnissen zu erheblichen Farbverfälschungen führt. Dies waren auch die Gründe für die Entwicklung von PAL und SECAM, bei denen durch den Übertragungsweg bedingte Farbverfälschungen deutlich schwächer in Erscheinung treten.

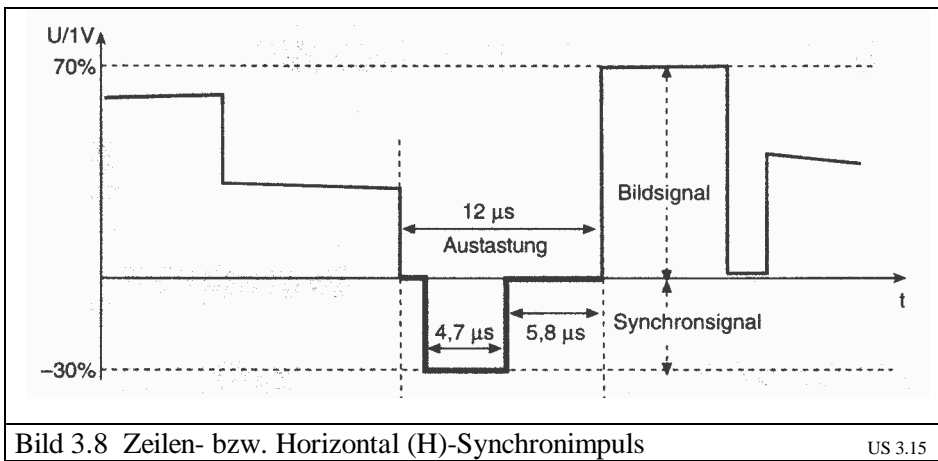


Bild 3.8 Zeilen- bzw. Horizontal (H)-Synchronimpuls

US 3.15

Neben den Zeilensynchronimpulsen muß im FBAS-Signal noch für jedes Bild ein Bildsynchronimpuls, auch Vertikal (V)-Synchronimpuls genannt, enthalten sein (Bild 3.9). Dieser Bildsynchronimpuls ist eine Kombination von 5 Vortrabanten, 5 Hauptimpulsen und 5 Nachtrabanten im Rhythmus der halben Zeilensynchronimpulse, jedoch mit unterschiedlichem Tastverhältnis. Die Unterschiede im Tastverhältnis speziell der Hauptimpulse kann einfach über eine RC-Integration ausgewertet und als Bildwechselimpuls interpretiert werden. Die Vor- und Nachtrabanten dienen zur besseren Synchronisation mit der Zeilenfrequenz, die auch während des Bildwechsels weiterlaufen muß. Dabei ist zu berücksichtigen, daß im Halbbildverfahren synchronisiert werden muß. Das bedeutet, daß die geradzahigen Zeilen nach der Synchronisation zeitlich so liegen müssen, daß sie sich zwischen den ungeradzahigen Zeilen nahtlos einfügen.

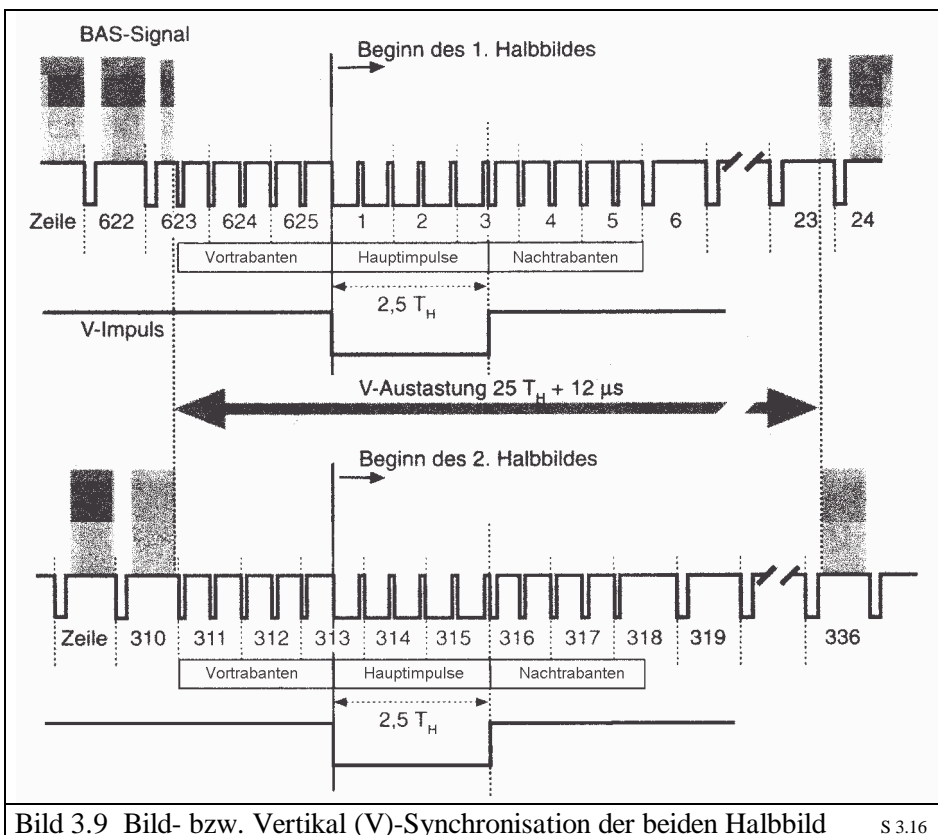


Bild 3.9 Bild- bzw. Vertikal (V)-Synchronisation der beiden Halbbild

S 3.16

3.4 Die wichtigsten Fernsehbegleitsignale

Neben dem eigentlichen FBAS-Fernsehsignal, welches nur das Bild beinhaltet, sind eine Reihe weiterer Signale zu Übertragen, die neben dem Ton auch mögliche Steuer- und Prüfsignale enthalten.

3.4.1 Fernsehbegleitton

Das FBAS-Signal wird auf einen Bildträger als Einseitenband amplitudenmoduliert (RM). Zwingend ist dabei die gleichzeitige Übertragung des dazugehörigen Begleittons, der mit Frequenzmodulation mit einem eigenen Tonträger realisiert wird (Bild 3.10). Der Abstand zwischen Bild- und Tonträger liegt fest. Nach der in Deutschland gültigen CCIR-B/G-Norm beträgt der Frequenzabstand zwischen Bild- und Tonträger 5.5 MHz. Der Tonträger hat einen Abstand von 0.5 MHz zur höchsten Videofrequenz. Dieser Abstand erlaubt den Einsatz der Frequenzmodulation (FM), die gegenüber der Amplitudenmodulation (AM) einen höheren Bandbreitenbedarf hat, aber auch eine höhere Qualität bietet. Um Störungen im Bild zu vermeiden, ist die Tonträgerleistung auf 1/20 reduziert. Der Frequenzhub beträgt 50 kHz, die übertragene Audiobandbreite 15 kHz, was der Tonqualität des UKW-Rundfunks entspricht.

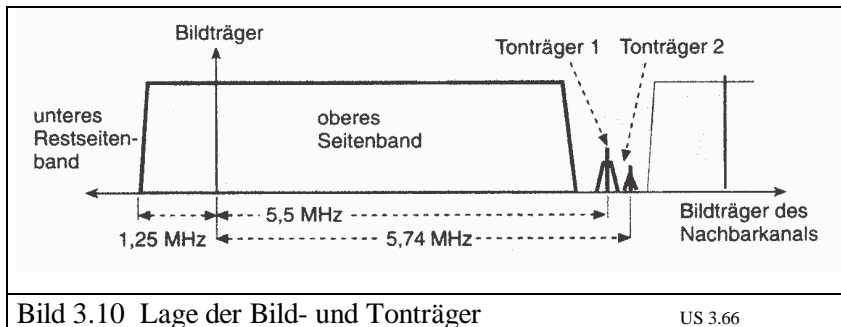


Bild 3.10 Lage der Bild- und Tonträger

US 3.66

Zur Übertragung eines zweiten Tonkanals mit ebenfalls 15 kHz Bandbreite wird ein weiterer Träger (TT_2) bei $f_{TT_2} = f_{TT_1} + 15.5f_H$ frequenzmoduliert. Um Störungen zu minimieren, ist die zweite Tonträgerfrequenz mit der Zeilenfrequenz f_H derart verkoppelt, daß sie etwa 250 kHz höher als f_{TT_1} liegt. Die Leistung von TT_2 ist gegenüber dem ersten nochmals auf 1/5 reduziert. Bei der Konzeption wurde großer Wert auf hohe Übersprechdämpfung zwischen den Tonkanälen gelegt, denn der zweite Tonkanal soll nicht nur für Stereosendungen, sondern auch separat zur Verfügung stehen, um z.B. bei synchronisierten Beiträgen den Originalton neben dem synchronisierten Tonkanal senden zu können.

Die Umschaltung zwischen Zweikanal- und Stereomodus erfolgt automatisch mit Hilfe eines Pilottonträgers der Frequenz $f_p = 3.5f_H = 54,7$ kHz, der bei Stereobetrieb mit 117.5 Hz und bei Zweikanalbetrieb mit 274.5 Hz amplitudenmoduliert wird. Bei Stereobetrieb wird wegen der Kompatibilität zu Monoempfängern über den Tonträger TT_1 das Monosignal L+R übertragen. Der Tonträger TT_2 überträgt nur das R-Signal. Im Empfänger wird im Stereomodus der Linksanteil nach der technisch einfach zu realisierenden Beziehung $L = (L+R) - R$ gebildet.

3.4.2 Signale in der Vertikalaustastlücke

Die Vertikalaustastlücke enthält 25 für das Bild ungenutzte Zeilen, von denen nur wenige für die Auslösung des Bildwechsels benötigt werden. Während der Vertikalaustastlücke wird der Bildschirm dunkel gesteuert, weil in dieser Zeit der Elektronenstrahl in der Bildröhre von der Bildunterkante zur Bildoberkante unsichtbar wechseln muß. Diese Zeilen können für Zusatzinformationen genutzt werden. Als solche Zusatzinformationen sind anzusehen:

Prüfzeilen für meßtechnische Zwecke	Zeilen 17 – 18 und	330 – 331
Videotext (in digitaler Form)	Zeilen 20 – 21 und	333 – 334 und
	Zeilen 11 – 15 und	324 – 328
VPS (Videotext Programm System)	Zeile 16	
VITC (Vertical Interval Timecode)	dient der Numerierung der Videobilder im Studio	

4. Video-Aufzeichnungsgeräte

Videosignale werden heute überwiegend noch auf Magnetbändern aufgezeichnet. Das generelle Problem der Videoaufzeichnung ist der enorme Bandbreitenbedarf. Standardmäßig benötigt ein Videokanal eine Bandbreite von 5 MHz. Lediglich mit der magnetischen Bildaufzeichnung war es möglich, diesen Bandbreitenbedarf zur Verfügung zu stellen.

Die Entwicklung der magnetischen Bildaufzeichnung hat sich historisch über mehrere Jahrzehnte mit allmählich steigender Qualität der Aufzeichnung hingezogen, wie es die folgende Tabelle zeigt.

	1950	1960	1970	1980	1990
FM-Direkt	Quadruplex		1" B, 1" C		
Colour Under		U-Matic VCR	Betamax VHS	Video8	Hi8 S-VHS
Komponenten				Betacam (SP) MI MII	
Digital Composite					D2 D3
Digitale Komponenten				D1	DCT D5 D-Beta DVC

US 7.2

Historische Entwicklung der Magnetbandaufzeichnungsformate

Zu Beginn der 50er Jahre wurden bei Ampex, einem führenden Hersteller für Magnetbandgeräte, zur Steigerung der Relativbewegung zwischen Band und Magnetkopf, die Videoköpfe in Rotation gesetzt. Dies geschah damals noch senkrecht zur Laufrichtung des Magnetbandes. Gegen Ende der 70er Jahre wurde das Schrägspurverfahren entwickelt, weil der bis dahin nicht abgedeckte Markt für Videorecorder erschlossen werden sollte. Das Schrägspurverfahren ist technisch nicht so aufwendig wie das Ampex-Verfahren, das eine spezielle Bandführung zur Erzeugung der Bandwölbung benötigte. Damit wurden preisgünstige Cassettengeräte möglich (Betamax, VHS), die Luminanz- und Chrominanzsignale getrennt verarbeiten und eine typische Bandbreite von 3 MHz aufweisen.

Im professionellen Bereich kam die Aufzeichnung von Luminanz- und Chrominanzkomponenten auf getrennten Spuren. Auf dieser Basis entwickelte Sony Anfang der 80er Jahre das 1/2"-Betacam-Verfahren, das als erstes Cassettensystem professionellen Ansprüchen genügte, welches als weiterentwickeltes Betacam-SP das heute noch meistverwandte professionelle Format ist.

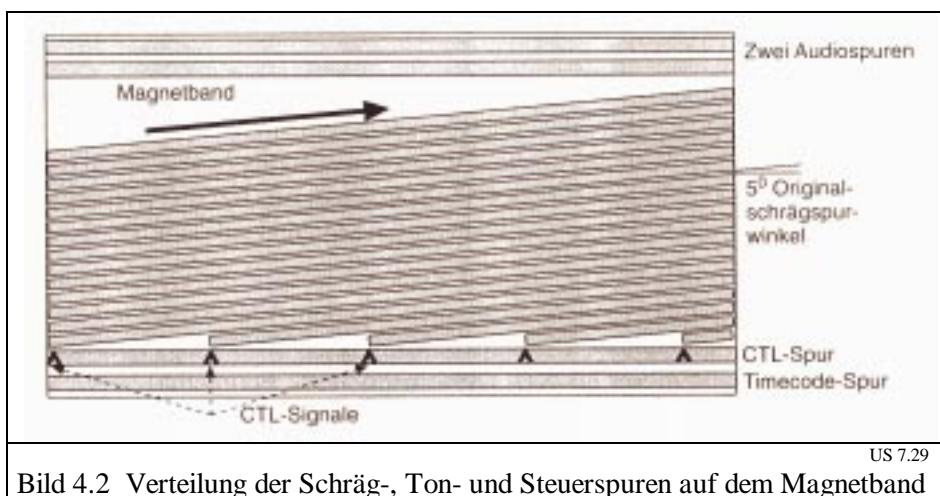
4.1 Magnetband- und Kopfführung

Das im Audibereich übliche Längsspurverfahren ist wegen der begrenzten Bandbreite bei Videoaufzeichnung nicht anwendbar, da sonst unverhältnismäßig hohe Bandgeschwindigkeiten erforderlich wären und damit einhergehend ein unwirtschaftlich hoher Bandverbrauch entstehen würde. Erst der Gedanke, daß nicht die Bandgeschwindigkeit, sondern die Relativgeschwindigkeit zwischen Kopf und Band entscheidend ist, und somit auch der Magnetkopf in Bewegung gesetzt werden kann, führte zum MAZ-Format von praktischer Bedeutung. Das anfänglich von Ampex bei Studiomaschinen eingesetzte Querspurverfahren (Quadruplex-Format) wurde jetzt von dem technisch einfacher zu handhabenden Schrägspurverfahren abgelöst (Bild 4.1).



Beim Schrägspurverfahren besteht die Kopftrummel aus einem rotierenden und einem feststehenden Teil. Häufig rotiert die gesamte obere Kopftrummelhälfte, bei einigen Formaten aber nur eine dünne Kopfscheibe im Innern der Kopftrummel (Scanner). Die Videoköpfe ragen dann aus einem sehr dünnen Spalt mit einem Kopfüberstand von 30 μm bis 60 μm heraus.

Da die Videoköpfe schräg zur Bandlaufrichtung bewegt werden, entstehen schräge Spuren auf dem Magnetband (Bild 4.2). Die Spurlänge wird dabei so gewählt, daß ein vollständiges Halbbild auf einer Spur Platz hat. Es sind Typen mit 350° und 180° Kopftrummelumschlingung entwickelt worden. Des geringeren Bandzuges wegen hat sich die 180°-Kopftrummelumschlingung weitgehend durchgesetzt.



Bei Videosystemen muß die Bandgeschwindigkeit und die Trommelumdrehung sehr genau aufeinander abgestimmt sein, damit die aufgezeichneten Spuren auch wieder auffindbar sind. Dazu dient eine Tracking-Steuerung (CTL-Spur), die längs am Rand des Magnetbandes aufgezeichnet wird. Sie ist synchron zur Bildspur und hat die Aufgabe, den Capstanservo für die Bandgeschwindigkeit auf den

Kopftrommelservo so abzustimmen, daß ein synchroner Lauf mit der 50 Hz-Bildwechselfrequenz entsteht. Um Bänder von unterschiedlichen Geräten korrekt wiedergeben zu können, muß noch eine automatische Trackingregelung eingebaut sein, die für ein optimales Bildsignal sorgen muß und mechanische Toleranzen zwischen unterschiedlichen Geräten ausgleicht.

Unabhängig von den Steuerspuren befinden sich noch drei weitere Längsspuren auf dem Bandrand. Zwei Längsspuren dienen zur Aufzeichnung der eventuell stereophonen oder getrennten Audiosignale, die zum Bild passend synchron aufgespielt sein müssen. Für zusätzliche Steuerungsaufgaben ist noch eine Timecode-Spur reserviert.

4.2 Analoge Magnetbandaufzeichnung

Die Aufzeichnung mit der erforderlichen hohen Bandbreite von 5 MHz wird über die rotierenden Videoköpfe gelöst. Gleichzeitig reicht das Videosignal an seiner unteren Grenze bis an 0 Hz heran. Auch die nichtlineare Magnetisierungskennlinie macht Probleme. Deshalb wird bei allen analogen MAZ-Geräten wenigstens das Luminanzsignal vor der Aufzeichnung frequenzmoduliert.

Für die Verarbeitung des Farbsignals gibt es vier Varianten:

- a) Es wird ein komplettes FBAS-Signal aufgezeichnet. Wegen des im hohen Frequenzbereich liegenden Farbträgers (bei PAL 4.43 MHz) erfordert diese, historisch zuerst realisierte Variante (2“- und 1“-MAZ von Ampex), eine sehr hohe Aufzeichnungsbandbreite und entsprechend aufwendige Geräte, was im allgemeinen nur in Studios realisiert ist.
- b) Kleinere und preiswertere Geräte können realisiert werden, wenn Luminanz (Y) und Chrominanzsignale (C) getrennt behandelt werden.
- c) Bei Geräten geringer Qualität wird dazu das Colour-Under-Verfahren (U-Matic, VHS, Video 8) eingesetzt.
- d) bei Geräten hoher Qualität wird das Luminanz- und das Chrominanzsignal auf getrennten Spuren aufgezeichnet (Betacam, M).

4.2.1 Zeitbasiskorrektur

Trotz bester Servo- und Trackingsysteme läßt sich eine mechanische Restungenauigkeit bei der Abtastung der Spuren nicht vermeiden. Die Instabilität führt zu Zeitfehlern (Jitter), die auch die Synchronsignale und damit die Zeitbasis des Signals betreffen (Bild 4.3). Bei Fernsehgeräten wird dafür extra eine automatische Umschaltung bei Wahl des AV-Eingangs der Reglerzeitkonstante vorgenommen, damit das Fernsehgerät diese Schwankungen schneller ausgleichen kann und sie somit weniger sichtbar werden.

Das FBAS-Signal darf einen Zeitfehler von maximal 3 ns aufweisen. Beim professionellen Einsatz von MAZ-Maschinen ist daher eine Zeitbasiskorrektur notwendig.

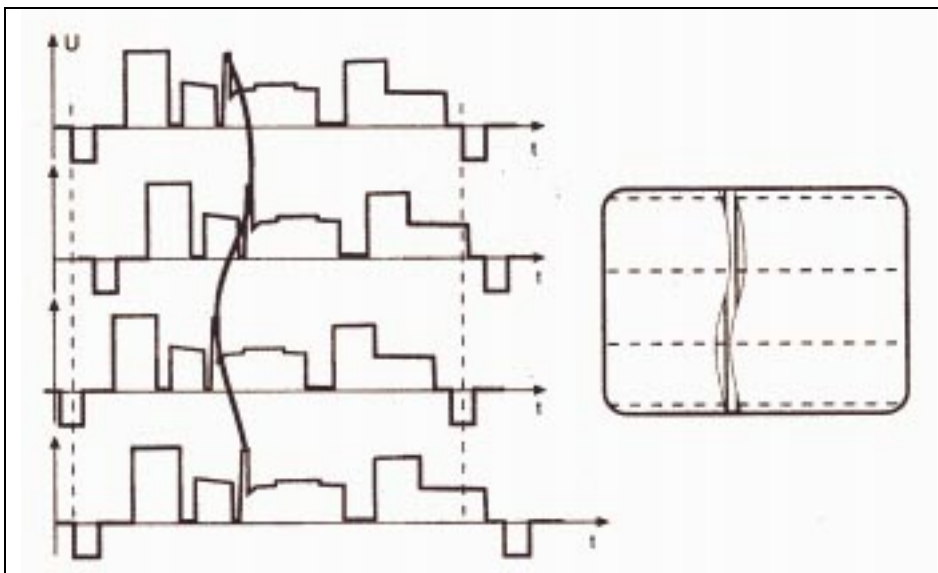


Bild 4.3 Zeitfehler (Jitter) und Auswirkungen im Bild

US 7.41

Die Zeitbasiskorrektur wird heute fast ausschließlich digital durchgeführt. Das analoge Signal wird digitalisiert und gespeichert. Anschließend an den hoch stabilen Referenztakt angepaßt, aus dem Speicher ausgelesen und wieder analog zurückgewandelt. Der Aufwand lohnt nur bei professionellen Geräten.

4.2.2 Colour-Under-Aufzeichnung

Neben den professionellen MAZ-Geräten mit Schrägspuraufzeichnung wurden auch preiswerte Schrägspurgeräte für den Massenmarkt entwickelt. Wichtig war hier neben den geringen Gerätekosten vor allem ein niedriger Bandverbrauch. Dazu wurde die Bandgeschwindigkeit von 9.5 cm/s (U-Matic, ca. 1968), und später mit hochwertigen Magnetbändern über VHS (1976), mit ca. 2.3 cm/s, bis hinab zu 2 cm/s (Video 8, 1984) reduziert. Aufgrund der Parameter der Geräte kann bei Standardsystemen nur eine Frequenzbandbreite von etwa 3 MHz genutzt werden. Dies verringert die Auflösung im Luminanzsignal auf 250 Linien/Zeile, was im Heimbereich hingenommen wird. Sie macht aber die Direktaufzeichnung des Chrominanzsignals, das mit seinem Farbträger bei 4.43 MHz am oberen Ende des Frequenzspektrums liegt, unmöglich. Die Verarbeitung der Farbsignale erfolgt daher mit dem Colour-Under-Verfahren (Bild 4.4), bei dem das Farbsignal vom oberen Ende des Frequenzspektrums an das untere verlegt wird. Das Frequenzspektrum reicht nur bis zu ca. 2 MHz hinab, so daß der Bereich zwischen 0 und 2 MHz für ein in den unteren Frequenzbereich verlegtes Chrominanzsignal genutzt werden kann, ohne sich mit dem Luminanzsignal zu überlagern.

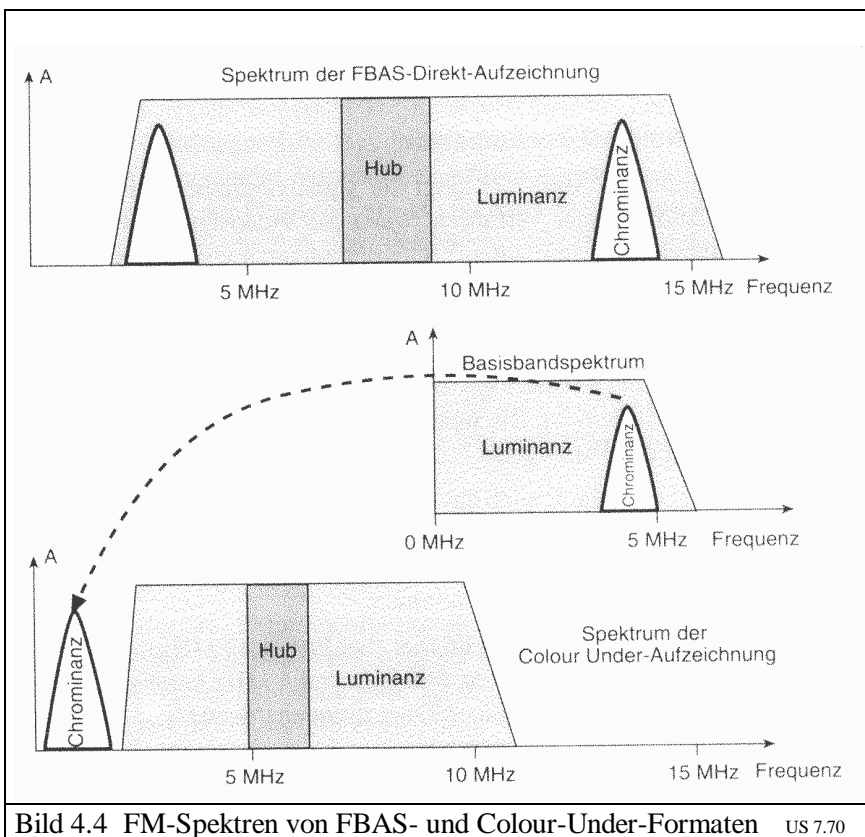


Bild 4.4 FM-Spektren von FBAS- und Colour-Under-Formaten US 7.70

Die Colour-Under-Formate (U-Matic, Betamax, VHS, Video 2000, Video 8) haben generell eine geringere Qualität als die Vollformatversionen, was den professionellen Einsatz verhindert. Das herabgesetzte und tieffrequente Chromasignal wird mit dem frequenzmodulierten Luminanzsignal gemischt und aufgezeichnet. Die Signale beeinflussen sich dabei gegenseitig, was erwünscht ist. Da das Chromasignal amplitudenmoduliert (QAM) ist und ohne diese Beeinflussung an der nichtlinearen Remanenzkurve verzerrt würde. Das hochfrequente FM-Luminanzsignal wirkt wie bei der Audioaufzeichnung als HF-Vormagnetisierung, die das aufzuzeichnende Chromasignal linearisiert. Hier ist es wichtig, die Frequenz des herabgesetzten Chromaträgers in einer AFC-Schaltung (Automatic Frequency Control) fest mit der Zeilenfrequenz f_H zu koppeln, damit die Vormagnetisierung durch das FM-Signal möglichst wenig Störungen hervorruft. Mit der Zeilenzahl n gilt für das PAL-System: $f_{CU} = (n+1/8)f_H$. Für die einzelnen Aufzeichnungsformate ergeben sich somit folgende Chromaträgerfrequenzen:

Format	n	f_{CU} / kHz
VHS	40	629.953
U-Matic	59	923.828
Video 8	46.7	732.421

Da die Colour-Under-Systeme mit sehr eng nebeneinander liegenden Spuren oder ganz ohne Spurzweischenraum arbeiten, ergibt sich bei der Abtastung das Übersprechen benachbarter Spuren. Beim hochfrequenten FM-Signal läßt sich das Übersprechen durch einen wechselnden Kopfazimut ausreichend reduzieren. Die Wirksamkeit des Slanted Azimut sinkt aber mit der Frequenz und ist für das tieffrequente Chromasignal unzureichend. Für das Chromasignal wird daher mit der sog. Phasenfortschaltung (Colour Under Phase Shift) dafür gesorgt, daß die Phasenlage in jeder Zeile um 90° gedreht wird, damit das Nutz- und das Nachbarspursignal immer eine entgegengesetzte Phasenlage aufweisen. Mit Hilfe einer zweizeiligen Verzögerung (Kammfilter) wird so erreicht, daß sich die

Nutzkomponenten bei der Zusammenführung von verzögertem und unverzögertem Signal addieren, während sich die Störkomponenten gegenseitig aufheben.

Bei der Wiedergabe des auf Magnetband im Colour-Under-Modus aufgezeichneten Signals müssen das Luminanz- und Chrominanzsignal wieder getrennt werden, was mit Hilfe von Tief- und Hochpaßfiltern erfolgt. Dann wird, wie beim Aufnahmevorgang, die Signalverarbeitung für das Y- und C-Signal getrennt vorgenommen, bis diese Komponenten soweit aufbereitet sind, daß sie wieder zu einem FBAS-Signal für die Wiedergabe über das Fernsehgerät zusammengefügt werden können.

5. Das digitale Videosignal

Die Vorteile der digitalen Videosignalverarbeitung ergeben sich aus der Darstellung des Signals als binär codierte Zahlenwerte. Digitaldaten sind auch flexibler als Analogdaten verarbeitbar. Die digitalen Daten können einfach umgeordnet und optimal an Übertragungskanäle angepaßt werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit der Fehlerkorrektur, was die Datensicherheit besonders steigert. Die Daten sind mit heutiger Technik auch kaum noch zu verfälschen.

Heute steht das Videobild oft schon nach dem Bildwandler in der Kamera weitgehend quantisiert zur Verfügung. Beim Einsatz des als Halbleiter realisierbaren CCD-Bildwandlers (Charge Coupled Device) wird es in diskrete Bildpunkte aufgeteilt. Aufgrund des Auslesetaktes entsteht auch eine zeitliche Quantisierung und die Zerlegung in eine Bitfolge.

Beim digitalen Videosignal werden zusätzlich auch die Graustufen quantisiert und als codierte Zahlenfolge übertragen. Da das menschliche Auge auf einem Videomonitor höchstens 200 Graustufen unterscheiden kann, sind im einfachsten Fall 256 Quantisierungsstufen ausreichend, die mit 8 Bit binär dargestellt werden können. Nach dem Abtasttheorem ist bei einem Analogsignal mit 5 MHz Bandbreite und 8 Bit Auflösung eine minimale Datenrate von 80 MBit/s erforderlich. Im einfachsten Fall ist zur Übertragung dieser Datenrate eine Bandbreite von 40 MHz, also das achtfache einer analogen Übertragung, erforderlich.

Geht man bei der A/D-Wandlung von einem analogen FBAS-Signal aus, so spricht man von geschlossener Codierung und es entsteht das Digital-Composite-Signal. Die digitale Codierung von analogen Y-, U- und V-Komponentensignalen führt zum Digital-Component-Signal.

5.1 Digital-Composite-Signal

Bei der Digitalisierung des FBAS-Signals muß die Abtastrate das 3- oder 4-fache der Farbhilfsträgerfrequenz betragen, um Digitalisierungsfehler möglichst gering zu halten. Wegen der PAL-Sequenzen werden die Störungen dann minimal, wenn die Abtastfrequenz $f_T = 4f_{SC} = 17.7$ MHz beträgt. Die Abtastpunkte werden in die Nulldurchgänge und Scheitelpunkte der Farbhilfsträgerschwingung gelegt.

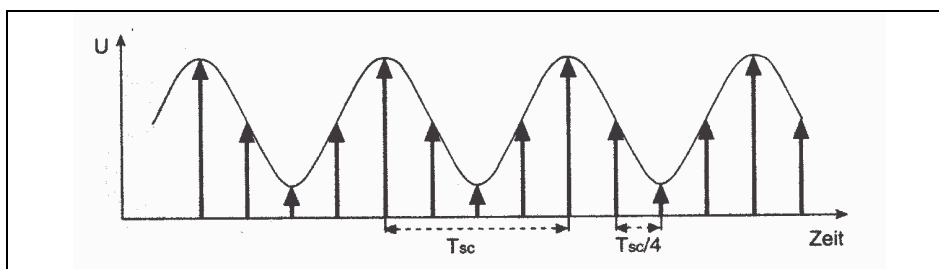


Bild 5.1 Abtastung der Farbträgerfrequenz mit $f_T = 4f_{SC} = 17.7$ MHz US 4.1

Das Digital-Composite-Signal ist für die Übertragung mit 8 oder 10 Bit definiert, woraus sich eine maximale Datenrate von 177 MBit/s ergibt. Auch der Synchronimpuls und der Burst werden digitalisiert. Teile der H- und V-Austastbereiche können für Zusatzdaten (AUX) genutzt werden.

Das Digital-Composite-Signal (Bild 5.2) ist im wesentlichen für digitale MAZ-Geräte D2 und D3 von Bedeutung, die mit 8 Bit Auflösung arbeiten.

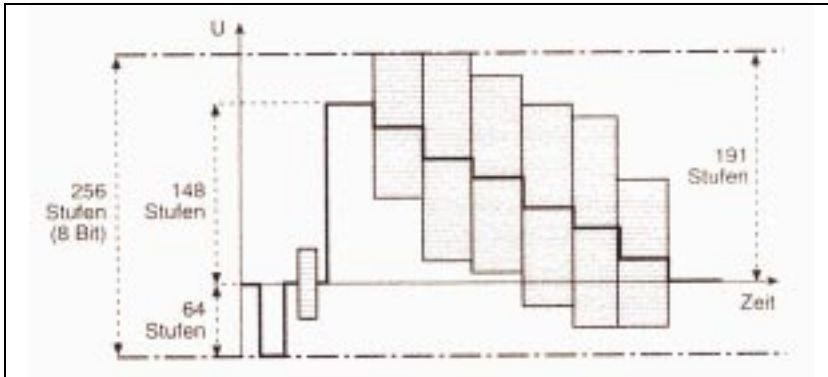


Bild 5.2 Digital Compositesignal

US 4.2

Das mit 148 Schritten auflösbare Luminanzsignal Y besitzt nur noch einen Signal/Rauschabstand von 54 dB. Das Digital Compositesignal ergibt, bedingt durch den Einbezug des Synchronimpulses, ein in seiner Dynamik reduziertes Y-Signal und ist deshalb als genereller Studiostandard wenig geeignet.

5.2 Digital-Component-Signal

Die Aufteilung des Farbvideosignals in die drei Komponenten Luminanz Y und Farbdifferenzen C_B und C_R ermöglicht gegenüber den FBAS-Signalen eine wesentlich bessere Signalverarbeitungs- und Übertragungsqualität. Die Farbdifferenzsignale C_B und C_R sind so reduziert, daß jede Farbkomponente mit maximal $0.7 V_{SS}$ angesteuert wird, was in der Norm EBU-N10 festgelegt wurde und folgender Definition entspricht:

$$C_B = 0.564(B - Y)$$

$$C_R = 0.713(R - Y)$$

Die Komponentencodierung ist unabhängig von Fernsehnormen und ermöglicht eine einfache Datenreduktion. Weiterhin kann die Abtastrate unabhängig von der Farbhilfsträgerfrequenz gewählt werden.

5.3 CCIR 601 (Comité Consultatif International des Radio Communications)

Das kleinste, gemeinsame und ganzzahlige Vielfache der 525- und 625 Zeilensysteme, basierend auf den Halbbildfrequenzen 59.94 Hz und 50 Hz, ist der Wert 2,25 MHz. Um den Filteraufwand zur Trennung der Spektren nicht zu groß zu machen und um auch Bandbreiten bis 5.5 MHz zu ermöglichen, wurde mit der Norm CCIR 601 international das 6-fache von 2.25 MHz, also eine Abtastrate von 13.5 MHz, für das Luminanzsignal festgelegt.

CCIR 601		
Parameter	Spezifikationen	
System	525/59,94	625/50
Abtastwert/Zeile		
Y	858	864
C _R , C _B	429	432
Bild-Abtastwert/Zeile		
Y	720	
C _R , C _B	360	
Abtastfrequenz		
Y	13,5 MHz	
C _R , C _B	6,75 MHz	
Quantisierung	8 / 10 Bit	
Nutzbare Stufenanzahl		
Y	220	
C _R , C _B	225	

US 4.4

CCIR 601-Festlegungen

Im 625-Zeilensystem (50 Hz) ergeben sich daraus 864 Abtastwerte und 525-Zeilensystem (59.94 Hz) 858 Abtastwerte pro Zeile für das Luminanzsignal. Für die Farbdifferenzsignale sind die Werte halbiert, die Abtastfrequenz ist hier 6,75 MHz. Die erlaubte Bandbreite für das analoge Luminanzsignal beträgt 5.75 MHz (± 0.1 dB) und 2.75 MHz (± 0.1 dB) für die Chromasignale C_B und C_R. Die Chromabandbreite ist damit deutlich größer als beim Compositesignal.

In allen Fernsehsystemen ist der für das eigentliche Videosignal nutzbare Zeilenbereich durch die horizontale Austastlücke begrenzt. Für die europäische und die US-Norm wurde gleichermaßen festgelegt, daß für die aktive Zeile 720 Luminanzabtastwerte und für die Chromasignale C_B und C_R jeweils 360 Abtastwerte zur Verfügung stehen (Bild 5.3). Die in die Austastlücke fallenden Abtastwerte sind also in beiden Systemen geringfügig verschieden. Insgesamt ergeben sich für die aktive Videozeile 1440 Datenworte.

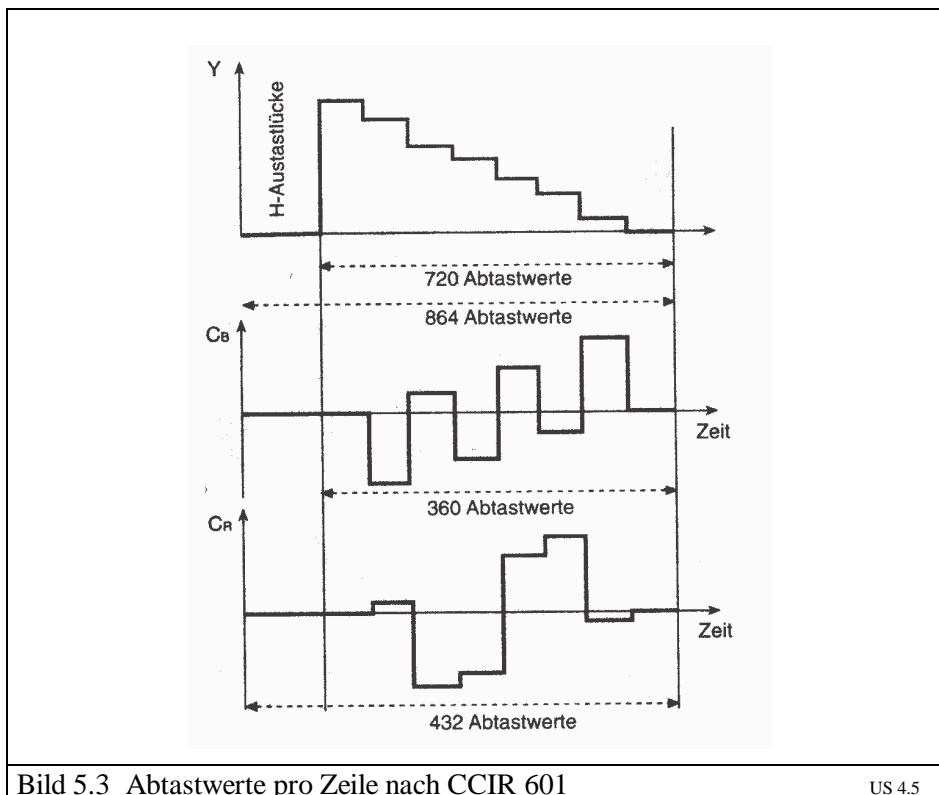


Bild 5.3 Abtastwerte pro Zeile nach CCIR 601

US 4.5

Die vertikale Austastlücke ist für das 625-Zeilensystem gemäß CCIR 601 folgendermaßen berücksichtigt: pro Halbbild stehen 288 aktive Zeilen zur Verfügung. Jeweils 24 bzw. 25 Zeilen des Digitalsignals werden ausgetastet.

Um die digitalen Daten der Komponenten in einen Gesamtdatenstrom zu integrieren, werden die Daten im Zeitmultiplex in der Folge $C_B Y_1 C_R Y_2 C_B Y_3 C_R Y_4 \dots$ übertragen (Bild 5.4). Die Chromasignale alternieren und schließen jeweils die Luminanzsignale ein. Der Datenstrom umfaßt beim 625-Zeilensystem insgesamt 1728 Abtastwerte pro Zeile.

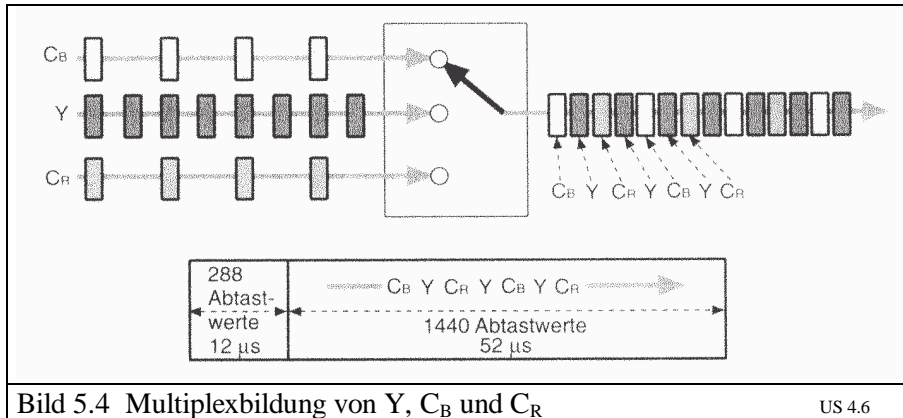


Bild 5.4 Multiplexbildung von Y , C_B und C_R

US 4.6

Die Quantisierung der Signalabtastwerte wurde 1986 in der ursprünglichen Fassung von CCIR 601 für alle drei Komponenten mit 8 Bit festgelegt und später auf 10 Bit erweitert. Die 8 oder 10 Bit sind nicht vollständig als Stufen nutzbar, weil Über- und Untersteuerungsreserven (Head- und Feetroom) vorgesehen wurden. Beim Luminanzsignal mit 8 Bit-Quantisierung steht der Digitalwert 16 für Schwarz und 235 für Weiß, dazwischen stehen 220 Graustufen zur Verfügung (Bild 5.5). Die zugehörigen Farbdifferenzwerte können Analogwerte zwischen +350 mV und -350 mV annehmen, es sind hier jeweils 255 Quantisierungsstufen (16 – 240) reserviert. Der Analogwert 0 V entspricht dem Digitalwert 128.

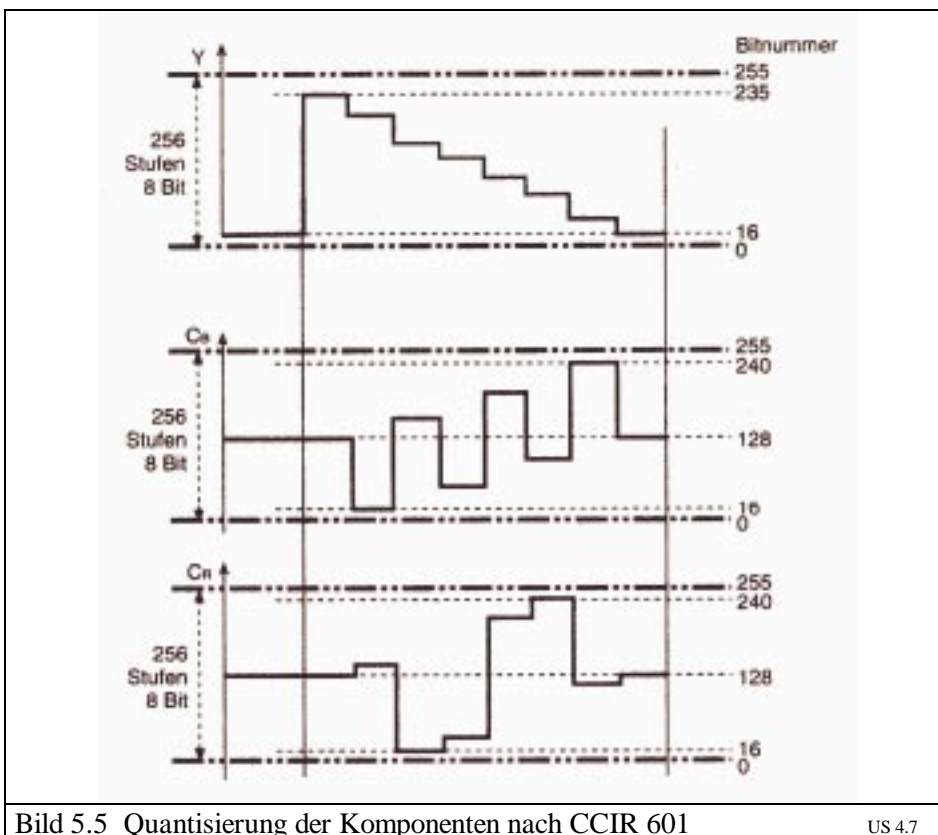


Bild 5.5 Quantisierung der Komponenten nach CCIR 601

US 4.7

Ein Vollbild mit 576 auf dem Bildschirm sichtbaren aktiven Zeilen benötigt einen Speicherbedarf von 0.83 MByte bei 8 Bit bzw. 1.04 MByte bei 10 Bit Quantisierung. Bei 8 Bit ergibt sich ein Datenstrom von $8 \text{ Bit} \cdot (13.5 + 2 \cdot 6.75) \text{ MHz} = 216 \text{ MBit/s}$, bei 10 Bit sind es 270 MBit/s .

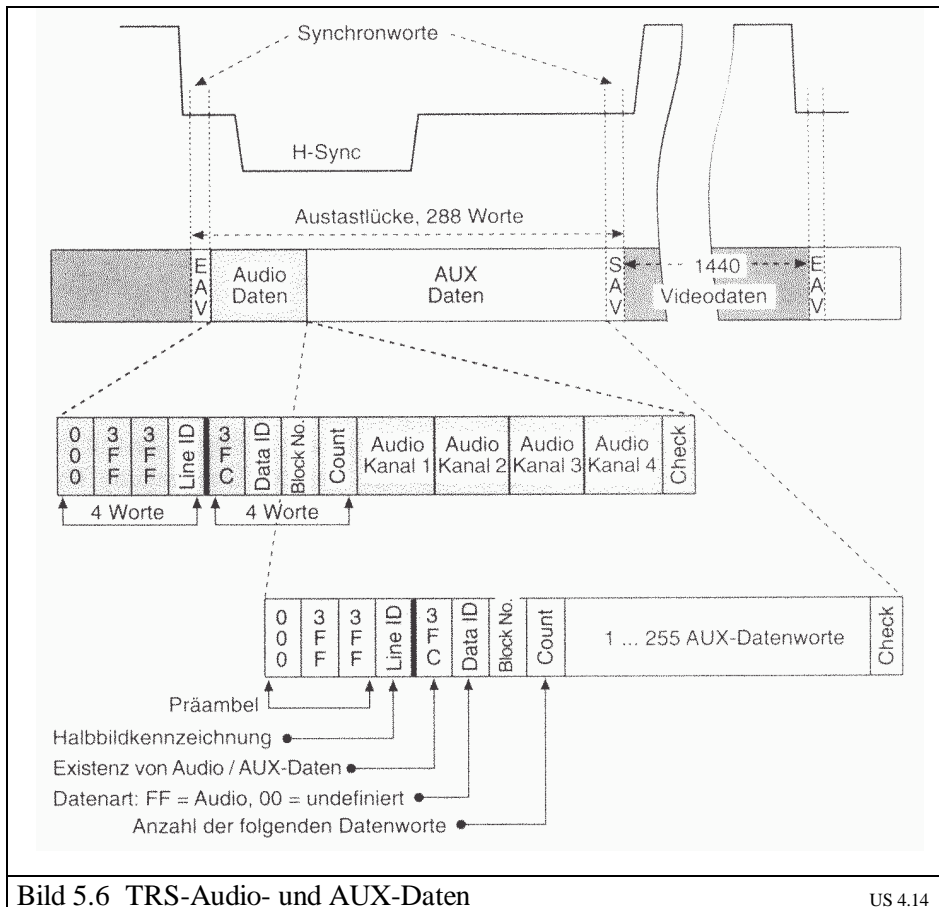
Wegen des Verhältnisses der Abtastraten zwischen den Komponenten Y, C_B und C_R wird für CCIR 601 häufig die Bezeichnung 4:2:2 verwendet, was Vielfachen der Frequenz 3.375 MHz entspricht. Es gibt Geräte, die andere nicht CCIR 601 entsprechende Komponentenformate benutzen. Beispielsweise beschreibt 4:4:4 die Abtastung der Luminanz- und der Chromakomponenten C_B und C_R mit jeweils 13.5 MHz, was eine erhöhte Farbauflösung bedeutet. Bei 4:1:1 werden dagegen die Chromakomponenten nur mit 3.375 MHz abgetastet. Die mögliche Chromasignalbandbreite ist gegenüber CCIR 601 eingeschränkt.

5.4 CCIR 601 und das Bildseitenverhältnis 16:9

Beim Übergang auf das künftig vorgesehene Bildseitenverhältnis B:H = 16:9 ergibt sich prinzipiell die Notwendigkeit, die Anzahl der Abtastwerte in horizontaler Richtung um den Faktor 1.33 zu erhöhen. Dazu werden von einigen Herstellern Geräte angeboten, die mit einer Abtastrate von 18 MHz arbeiten. Üblicherweise wird aber auch beim Bildseitenverhältnis 16:9 die Abtastrate von 13.5 MHz beibehalten. Eine Erweiterung der Norm CCIR 601 ist wegen der damit verbundenen enormen Speichervolumen bisher nicht vorgenommen worden.

5.5 Auxillary Data

Bei der Einführung der analogen Videonorm waren ein großer Horizontalsynchronimpuls und eine große Austastlücke erforderlich, um eine sichere Synchronisation zu gewährleisten. In der 625-Zeilenorm umfaßt die Horizontalaustastlücke nach CCIR 601 für das Luminanzsignal 144 Datenworte. Da alle drei Komponenten aufeinanderfolgend übertragen werden, ergeben sich hier zusammen 288 Datenworte, von denen nur wenige Synchronworte erforderlich sind, um den Zeilenbeginn zu kennzeichnen. Anstatt die Daten in den Austastlücken einfach wegzulassen und damit die Datenrate zu reduzieren, werden aus Kompatibilitätsgründen auch die Austastlücken mit abgetastet. Die darin befindlichen Datenworte können zur Übertragung von Zusatzinformationen, wie z.B. digitale Audiosignale, benutzt werden (Bild 5.6 und 5.7).



Für diese Zusatzdaten (Ancillary Data, Auxillary Data) stehen beim Komponentensignal in der horizontalen Austastlücke 255 Datenworte pro Zeile zur Verfügung. Mit 625 Zeilen pro Bild folgt daraus insgesamt eine Zusatzdatenrate von ca. 44 MBit/s. Durch die Nutzung der Vertikalaustastlücke ergibt sich eine Erweiterung der Datenrate um ca. 17 MBit/s. Beim Compositesignal ist der ANC-Bereich durch den Burst eingeschränkt, der dort mit übertragen werden muß.

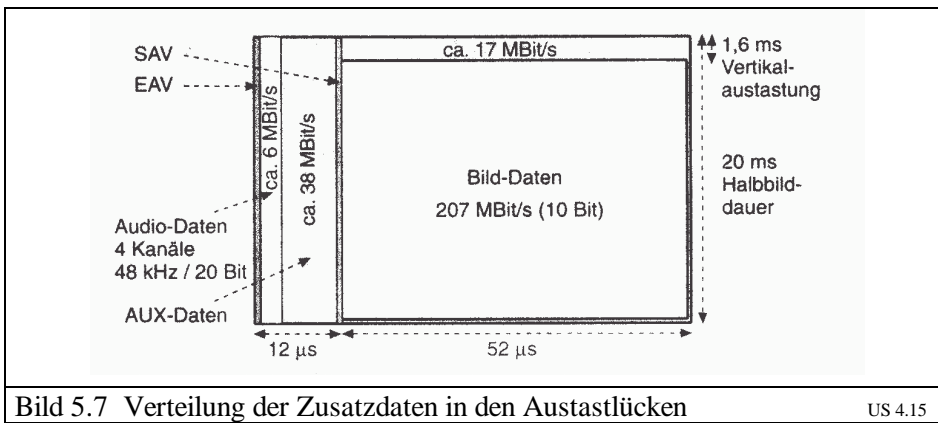


Bild 5.7 Verteilung der Zusatzdaten in den Austastlücken

US 4.15

5.6 Embedded Audio

Embedded Audio bezeichnet die Übertragung digitaler Audiodaten im Auxillarybereich des digitalen Component- oder Compositesignals. Die Übertragung von hochwertigen Bild- und Tonsignalen ist damit auf einer einzigen Leitung möglich. Die Audiodaten müssen nur zur richtigen Zeit in den Videodatenstrom eingefügt werden. Bei der Übertragung über große Strecken lohnt sich der gerätetechnische Aufwand, innerhalb des Studios bleibt es bei der getrennten Audiodatenführung.

Das AES/EBU-Format (Bild 5.8) beschreibt das Standardsignal in der professionellen digitalen Audiotechnik. Nach AESB/EBU wird pro Abtastzeit $T = 1/48 \text{ kHz}$ ein 64 Bit umfassender Datenstrom (Frame) übertragen, der in zwei gleiche Subframes unterteilt ist. Jeder Subframe enthält die Daten für einen Audiokanal.

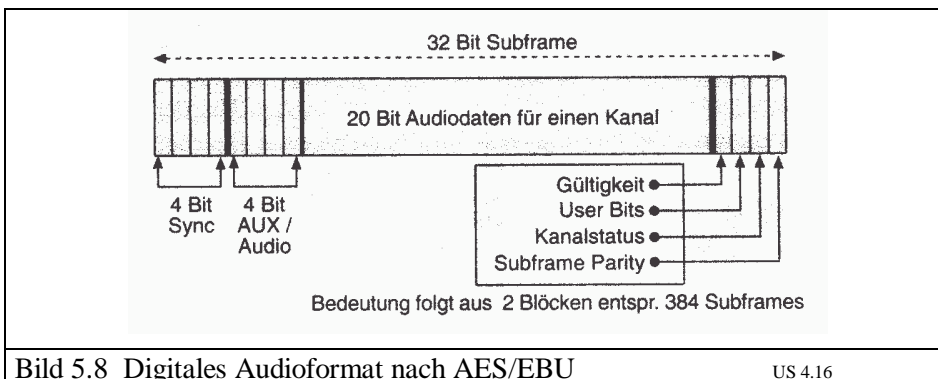


Bild 5.8 Digitales Audioformat nach AES/EBU

US 4.16

Die Daten bestehen zunächst aus 4 Synchronisationsbits, dann 4 Bit für Zusatzdaten, die auch als Audiodaten genutzt werden können, 20 Bit für Audiodaten und 4 abschließende Bits für den Subframe. Nach AES/EBU ergibt sich eine Datenrate von 1.536 MBit/s bzw. 192 kByte/s für jeden Audiokanal.

6. Datenreduktion

Wie an den vorigen Beispielrechnungen erkannt wird, ist die Datenrate und damit die notwendige Bandbreite zur Übertragung bei allen Codierungen wesentlich größer als bei der klassischen Analogübertragung. Digitales Video ist daher nur konkurrenzfähig bei einer effektiven Datenreduktion.

Eine Datenreduktion geht (mindestens ab Faktor 2) immer mit Informations- d.h. Qualitätsverlust einher. Bei der Produktion werden deswegen, um Akkumulierungseffekte zu vermeiden, i.a. keine Datenreduktionen vorgenommen. Sind Programme in endgültiger Form vorhanden und bedürfen keiner Nachbearbeitung mehr, werden sie häufig um den Faktor 5 komprimiert. Bei der Verteilung auf die Zuschauer werden sie dann aus ökonomischen Gründen um den Faktor 20 - 100 komprimiert.

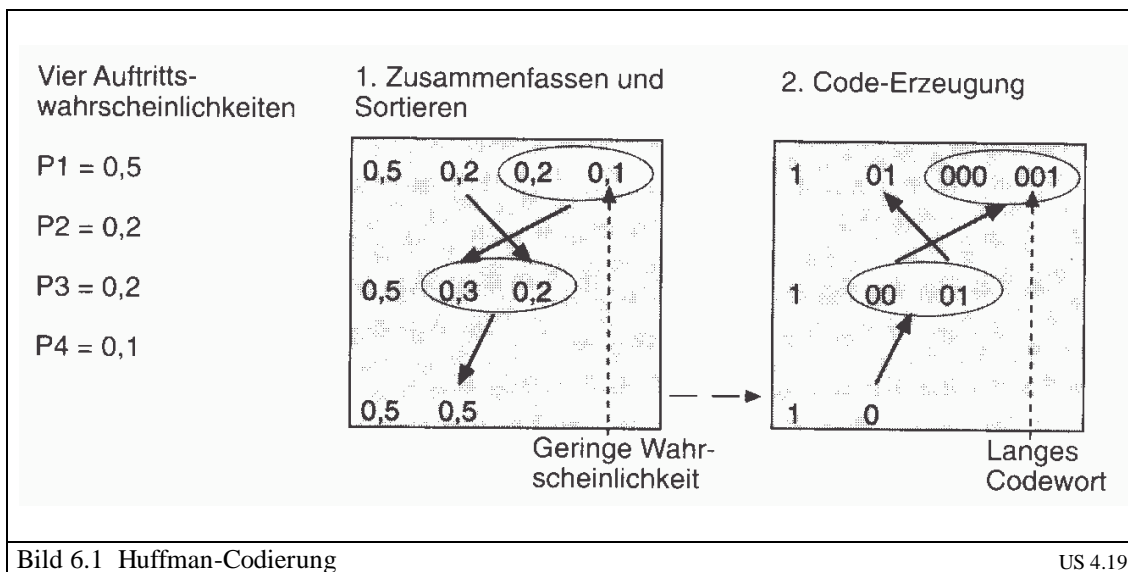
Es gibt Verfahren der verlustfreien und der verlustbehafteten Codierung. Wie bereits dargestellt, erreicht man mit verlustfreier Codierung i.a. Datenreduktionen von max. 2.

6.1 Verlustfreie Datenreduktionen

Bei der verlustfreien Datenreduktionen werden lediglich die im Bild bzw. in einer Bildfolge enthaltenen Redundanzen eliminiert. Die beiden in diesem Zusammenhang zu erwähnenden Verfahren sind die variable Längencodierung und die Lauflängencodierung.

Bei der variablen Längencodierung liegt das Prinzip darin, häufig zu übertragenden Codeworten einen kurzen und weniger häufig zu übertragenden Codeworten einen langen Code zuzuordnen. Beispiel hierfür ist das Morsealphabet ('e' = •, 'f' = •• - •).

Bei der Bildübertragung wird meistens die Huffman-Codierung eingesetzt (Bild 6.1).



Durch schrittweises Zusammenfassen und Sortieren von Auftretswahrscheinlichkeiten wird hierbei weniger häufigen Codeworten ein langer, häufigen ein kurzer Code zugeordnet. Die Lauflängencodierung oder Run-Length-Coding RLC geht davon aus, daß im erzeugten Code häufig viele gleiche Werte hintereinander auftauchen. Statt alle Werte einzeln zu übertragen, wird dann lediglich der Wert mit dem Wiederholungsfaktor zusammen übertragen.

Um diese beiden Verfahren effektiv einsetzen zu können, ist es wichtig, daß die zu übertragende Bildinformation einerseits eine hohe Ungleichverteilung hat und andererseits gleiche Codeworte möglichst häufig aufeinander folgen. Beide Voraussetzungen sind durchaus im Einklang miteinander. Die nachfolgend beschriebenen (z.T. verlustbehafteten) Reduktionsverfahren erzeugen derartige Voraussetzungen.

6.2 DPCM

Weit verbreitet ist die Differential Pulse Code Modulation (DPCM). Diese berechnet die Unterschiede zwischen benachbarten Bildpunkten derart, daß aus dem vorangegangenen Wert eine Vorhersage (Prädiktion) für den folgenden berechnet wird. Von diesem Wert wird der echte Folgewert abgezogen, diese Differenz ist der Prädikationsfehler, welcher übertragen wird. Je weniger dieser Fehler streut, desto geringer wird auch die zu übertragende Information. Soweit handelt es sich um die verlustfreie DPCM (Bild 6.2).

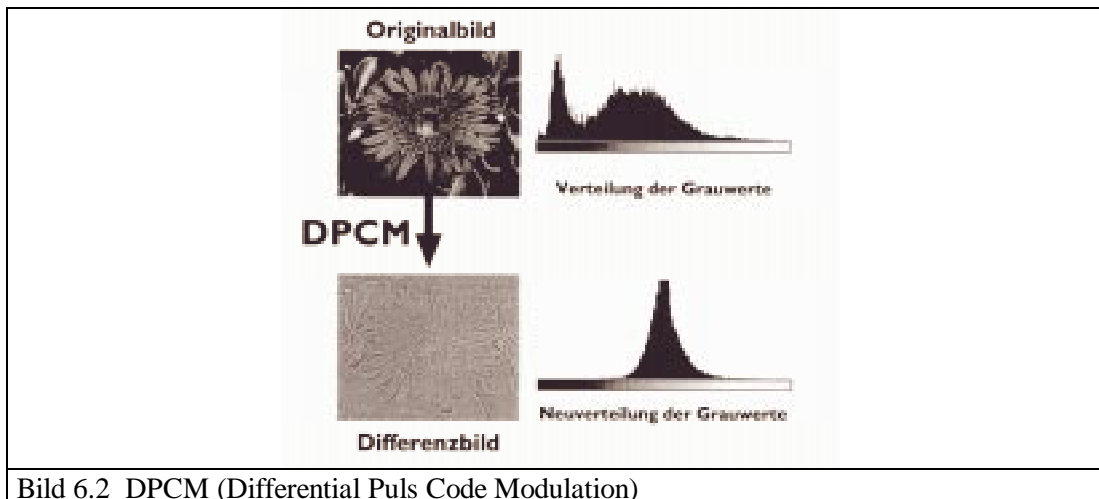


Bild 6.2 DPCM (Differential Puls Code Modulation)

Bei der verlustbehafteten DPCM wird die Anzahl der möglicherweise auftretenden Differenzen auf die wahrscheinlichsten eingeschränkt. Dies führt natürlich zu einer weiteren Reduktion der Datenrate, allerdings auch zu einer Qualitätseinbuße.

Neben der beschriebenen Intra-Frame Prädiktion gibt es auch die Inter-Frame Prädiktion. Hierbei wird eine Vorhersage von einem Bild zum nächsten getroffen. Grundlage ist, daß sich i.a. Bildinhalte nur langsam ändern.

Eine weitere Verbesserung ist ebenfalls, von der beschriebenen zeilenweise Prädiktion (1D) auf eine flächenmäßige (2D) überzugehen. Hierdurch wird die Flächenstruktur eines Bildes ebenfalls in die Vorhersage mit einbezogen.

Adaptive Prädiktionen (ADPCM) schalten, entsprechend der Bildinformation, zwischen verschiedenen Prädiktionsarten (vertikal, horizontal, diagonal, etc.) um

6.3 DCT

Das wichtigste Verfahren zur Komprimierung von Pixelbildern ist die Diskrete Cosinus Transformation (DCT). Hierbei werden die Ortsfrequenzen des Videobildes bezüglich der Bildflächenkoordinaten (Höhe,

Breite) gebildet. Tiefe Ortsfrequenzen repräsentieren grobe Bildstrukturen bzw. weiche Helligkeitsübergänge, hohe dagegen feine Strukturen und harte Übergänge.

Das Bild wird in Blöcke von meistens jeweils 8×8 Pixeln aufgeteilt (Bild 6.3). Diese 8×8 Pixel werden dann in 8×8 Koeffizienten transformiert. Einer der Koeffizienten (linke obere Ecke der Matrix) ist der DC-Anteil oder Gleichwert. Nach rechts bzw. unten nimmt die Frequenz zu.

Die Transformation selbst ist noch nicht verlustbehaftet. Erst der sich anschließende Prozeß der Gewichtung und Quantisierung dieser Ortsfrequenzen führt zu einem Informationsverlust. Schwache (i.a. hohe) Ortsfrequenzen werden dabei unterdrückt.

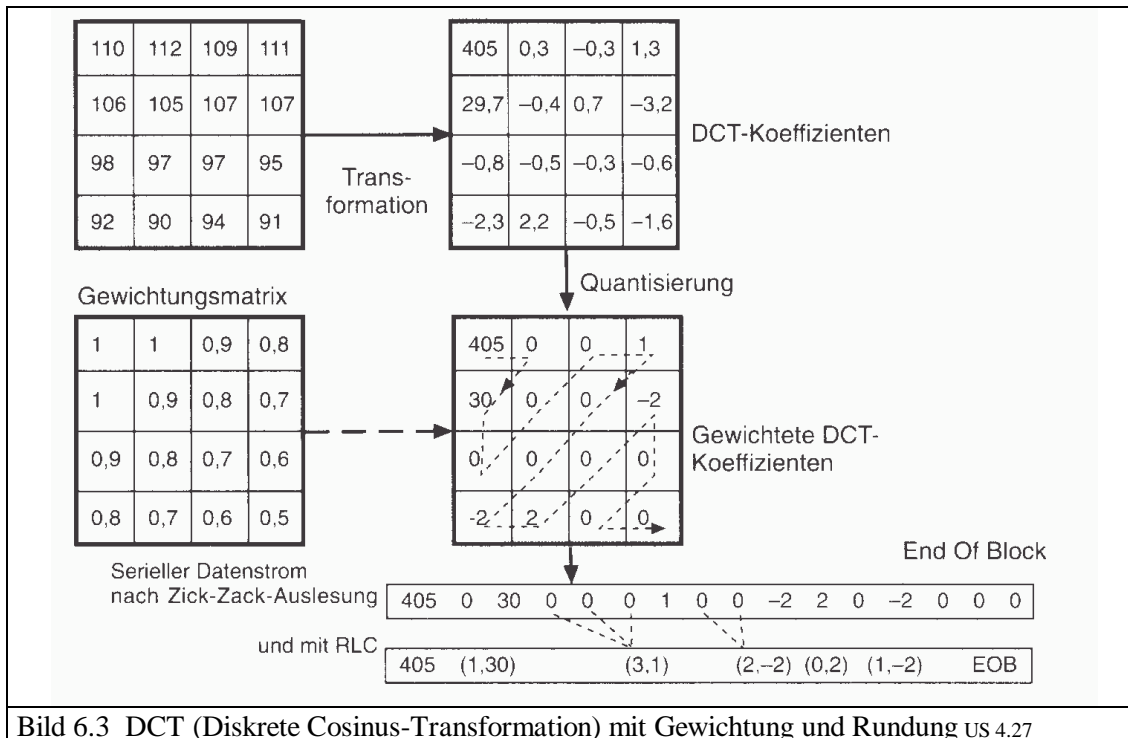


Bild 6.3 DCT (Diskrete Cosinus-Transformation) mit Gewichtung und Rundung US 4.27

Das Beispiel für eine DCT-Transformation mit Gewichtung umfaßt eine 4×4 Bildmatrix. Die Grauwerte der Anfangsmatrix werden in die DCT-Koeffizienten transformiert. Diese werden mit der Gewichtungsmatrix multipliziert, welche hohe Frequenzanteile abschwächt. Zusammen mit der Quantisierung erhält man so die gewichteten DCT-Koeffizienten. Wie zu sehen, sind viele dieser Koeffizienten = 0 geworden. Durch Zick-Zack-Auslesung (zig-zag-scan) wird hieraus eine Datenkette gebildet, welche mit dem Run-Length Coding (RLC) komprimiert wird.

Im zweiten Beispiel (Bild 6.4) werden aus den gewichteten DCT-Koeffizienten durch inverse Gewichtung und Rücktransformation die Grauwerte erzeugt. Man sieht die relativ geringen Abweichungen vom Original.

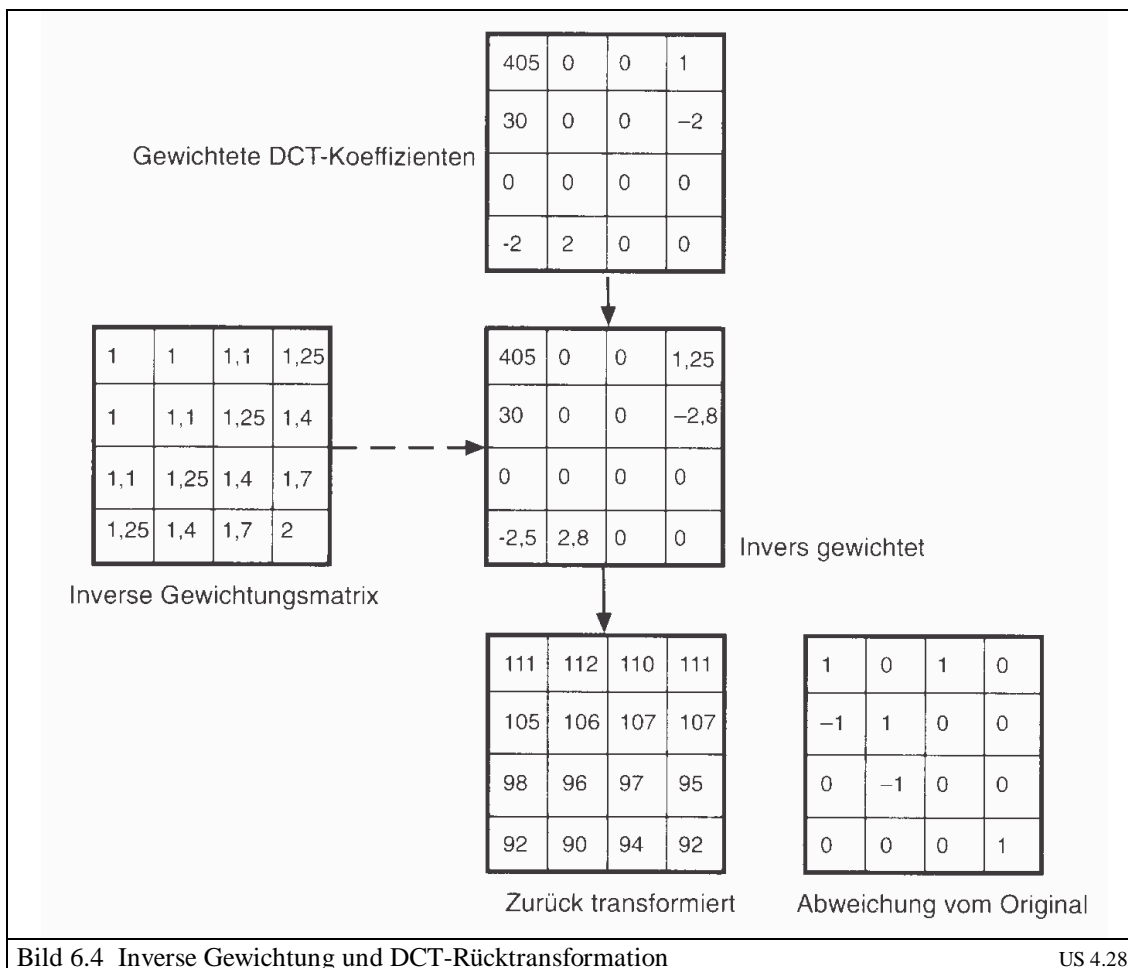


Bild 6.4 Inverse Gewichtung und DCT-Rücktransformation

US 4.28

6.4 JPEG

Das sog. JPEG-Verfahren wurde als Standbildkompressionsverfahren 1992 eingeführt. Der Name leitet sich aus der Entwicklungsgruppe (Joint Photographic Expert Group) ab. Das Verfahren setzt sich aus den besprochenen Einzelverfahren RLC, Huffman-Codierung sowie DCT und DCPM zusammen (Bild 6.5).

Zunächst wird dabei das RGB-Bild in Luminanz (Y) und Chrominanz (U,V) gewandelt. Anschließend wird es in 8×8 Pixel-Blöcke zerlegt, worauf die DCT angewendet wird. Die Zahl der hohen Frequenzen wird reduziert, da sie vom Auge weniger gut aufgelöst werden. Mit der DPCM werden Differenzen zu Nachbarblöcken gebildet und diese im Zick-Zack-Scan ausgelesen. Die Lauflängencodierung und das Huffman-Verfahren schließen sich an, um die endgültig gespeicherten Werte zu bestimmen.

JPEG ist ein Codierungsverfahren für Einzelbilder. Es braucht von daher auch nicht in Echtzeit abzulaufen. Wird dieses Verfahren für Videobilder eingesetzt, muß es in Echtzeit arbeiten. Dies wird daher dann häufig direkt in Hardware ausgeführt. Man spricht bei diesem Verfahren von M-JPEG oder Motion JPEG. Dies Verfahren ist optimal für den nichtlinearen Schnitt von Videos geeignet, da man auf jedes Einzelbild zugreifen kann. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um ein standardisiertes Format. M-JPEG Dateien sind überwiegend nicht kompatibel untereinander.

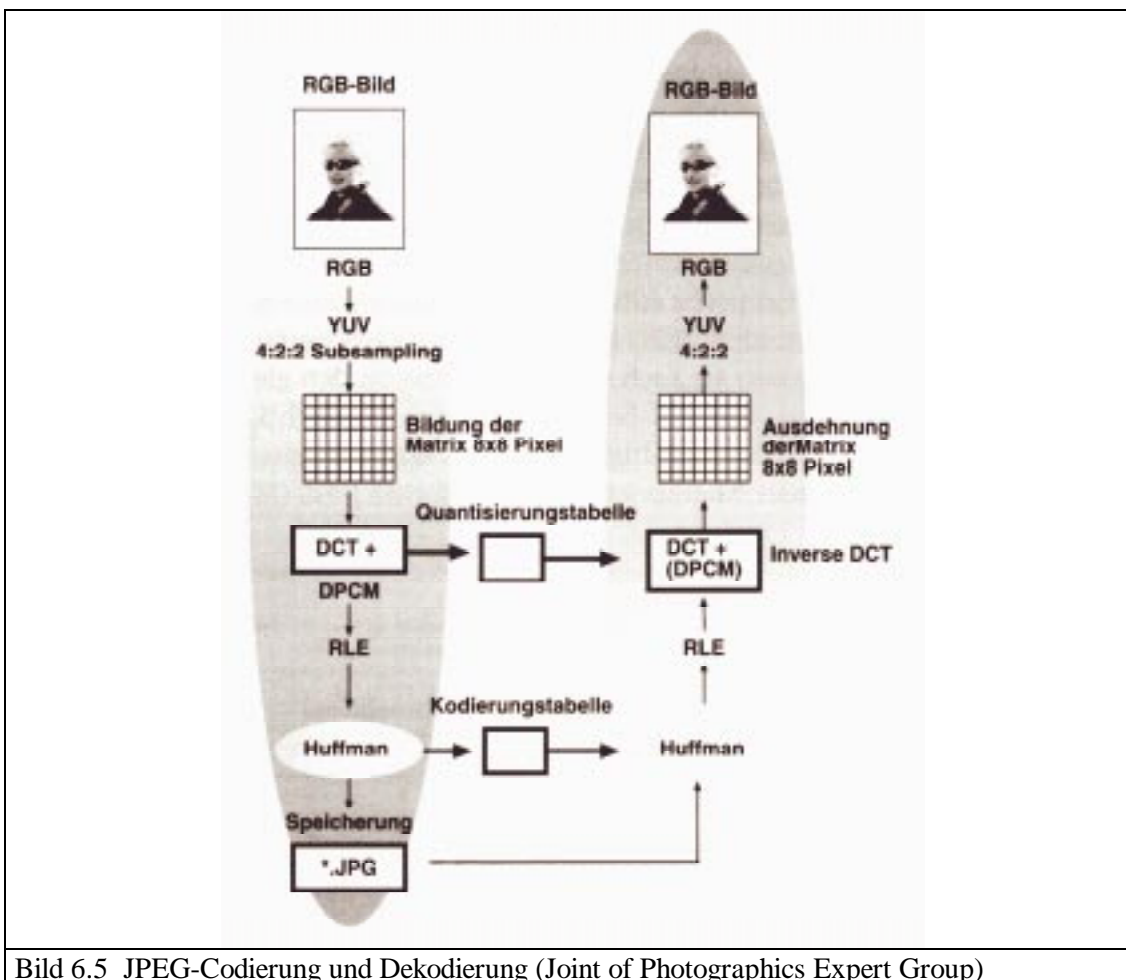


Bild 6.5 JPEG-Codierung und Dekodierung (Joint of Photographics Expert Group)

6.5 MPEG

Eine andere Expertengruppe (Moving Picture Experts Group) legte die verschiedenen MPEG-Standards fest.

MPEG-1 war der erste Standard für niedrige Datenraten von CD-ROM Laufwerken (bis ca. 1,5 MBit/s). Die Größe der Bilder beträgt 352×288 Bildpunkte bei 50 Hz Wiederholrate. Die Kompressionsrate beträgt ca. 100:1, d.h. weit über M-JPEG (max. 50:1).

MPEG-2 ist kompatibel zu MPEG-1, wurde jedoch erweitert, um auch Videobilder bis zum HDTV-Standard bearbeiten zu können.

MPEG-4 überdeckt von seiner Definition her zwar niedrige bis hohe Datenraten (5kBit/s bis 4 MBit/s) und damit Bereiche von MPEG-1 und MPEG-2, wird aber vermutlich eher im Bereich niedriger Übertragungsraten (z.B. in öffentlichen Kommunikationsnetzen) angewendet werden.

Interessant ist für uns von daher im wesentlichen MPEG-2, zumal viele grundsätzliche Details identisch zu MPEG-1 sind. Der wesentliche Unterschied zu z.B. JPEG als Einzelbildcodierverfahren ist, daß neben der örtlichen Dekorrelation durch die DCT die Ähnlichkeit zeitlich aufeinander folgender Bilder ausgenutzt und damit eine wesentlich höhere Kompression erreicht wird. Das zeitlich vorausgegangene Bild wird als Prädiktion für das derzeitige benutzt, weswegen nur noch die Differenz zur Prädiktion gebildet und übertragen werden muß. Unterstützt wird dies zusätzlich noch durch eine

Bewegungsabschätzung, die zu den einzelnen Blöcken des Bildes eine möglichst gute Übereinstimmung im vorherigen Bild sucht und damit einen Bewegungsvektor bestimmt.

Der Algorithmus, nach dem die Bewegung erkannt wird, ist im Standard nicht vorgeschrieben. Häufig eingesetzt wird ein einfaches Verfahren des Block-Matching: Ein Block wird testweise verschoben, bis die Abweichung am kleinsten ist.

Diese zeitliche Prädiktion wird dabei in beiden Zeitrichtungen angewendet. D.h. der Blockinhalt kann sowohl aus einem zeitlich vorherliegenden als auch nachfolgenden Bild abgeschätzt werden. Dies führt zu einer wesentlichen Steigerung der Codiereffizienz.

Bei sehr schnellen Bewegungen können aber beide Prädiktionsrichtungen versagen. Dann kann der Encoder hierauf völlig verzichten, wodurch er die Codierung der Bewegungsvektoren einspart.

Diese bidirektionale Bewegungsprädiktion erhöht natürlich den Encoderaufwand und bedingt auch eine Bildumsortierung für die Übertragung, da zum Decodieren eines Bildes beim Empfänger ja bereits Informationen des Nachfolgebildes bekannt sein müssen.

Grundsätzlich sieht das Verfahren vor, daß sowieso jedes 12. Bild ein sog. Intraframecodiertes ist (I-Bild). Dies kann also ohne zusätzliche Bilder decodiert werden. Zwischen diesen I-Bildern befinden sich in bestimmtem Abstand rein unidirektional prädizierte P-Bilder. Diese werden aus dem vorhergehenden I- bzw. P-Bild vorausgesagt. Zwischen diesen I- und P-Bildern liegen nun die bidirektional prädizierten B-Bilder. Die folgende Tabelle erläutert dies. Zunächst die Betrachtungsreihenfolge:

Bild-Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bildtyp	I	B	B	P	B	B	P	B	B	P	B	B	I

Die Übertragungsreihenfolge ist derart, daß im Empfangs-Decoder zu jedem B-Bild immer nur die zwei einrahmenden I/P-Bilder vorhanden sind:

Bild-Nr	1	4	2	3	7	5	6	10	8	9	13	11	12
Bildtyp	I	P	B	B	P	B	B	P	B	B	I	B	B

Eine weitere Eigenschaft von MPEG-2 ist, dafür zu sorgen, daß die Übertragungsrate einen vorgegebenen Wert nicht überschreitet. Dies kann passieren, wenn ein Bild mit hohen Frequenzanteilen zeitlich und örtlich zu übertragen ist. Der Encoder reagiert hierauf mit einer Herabsetzung der Quantisierung. D. h., die Quantisierungsstufen bei der Quantisierung der einzelnen Frequenzamplituden werden größer, die Bildqualität damit verschlechtert.

7. Bildwandler

Bildwandler bzw. Bildaufnahmegeräte dienen dazu, ein 2-dimensionales Bild in eine Folge elektrischer Signale umzuwandeln, aus denen das Bild rekonstruiert werden kann. Die erste und einfachste Form eines Bildwandlers war die Nipkow'sche Lochscheibe. Real eingesetzt wurden allerdings elektronische Bildwandler, die in Röhren- oder Halbleitertechnik realisiert sind.

7.1 Röhrenbildwandler

Grundlage der gebräuchlichen Bildwandlerröhren ist das Vidikon (Bild 7.1). Das Vidikon ist eine Röhre, in deren einer Seite ein Elektronenstrahl erzeugt wird, der fokussiert, durch ein magnetisches Feld abgelenkt und auf ein lichtempfindliches Target am anderen Ende der Röhre geführt wird. Das durch die Signalplatte (sehr dünne Metallschicht) auf die aufgedampfte lichtempfindliche Halbleiterschicht auftreffende Licht verändert je nach der Helligkeit den Widerstand der Halbleiterschicht. Ihre dem Röhreninnern zugekehrte Oberfläche bildet mit der Signalplatte eine Vielzahl von Elementarkondensatoren. Während des Abtastvorgangs durch den langsamen Elektronenstrahl werden alle Elementarkondensatoren auf der dem Röhreninnern zugewandten Seite negativ aufgeladen. Die als Dielektrikum wirkende lichtempfindliche Schicht läßt im Verlauf zwischen zwei Abtastungen, je nach Intensität der jeweiligen Belichtung, eine Entladung der Elementarkondensatoren zu. Es entsteht ein 'Ladungsbild'. Sein Ausgleich erfolgt durch den nächsten Abtastvorgang, bei dem die Höhe der Entladung registriert wird.

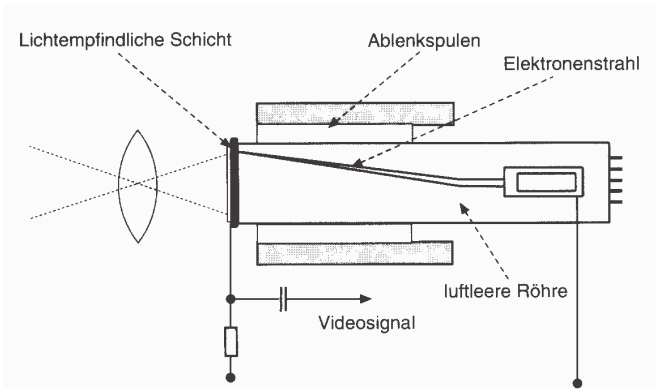


Bild 7.1 Vidikon

US 3.02

Da auch bei völliger Dunkelheit eine Entladung stattfindet, befindet sich eine Schwarzmaske am Rand des Targets. Das Auslesen dieser Schwarzmaske bestimmt als Referenzwert den Dunkelstrom. Da dieser temperaturabhängig ist, muß ständig auf ihn kalibriert werden.

Ein Problem dieser Bildwandler ist das Verschmieren und Nachziehen heller Bildpunkte. Dies beruht auf der Trägheit des Systems. Ist ein Elementarkondensator durch Helligkeit extrem entladen, so reicht der nachfolgende Aufladevorgang beim Abtasten nicht aus. Der Kondensator bleibt teilweise entladen und der Bildpunkt bleibt hell.

Verbesserte Nachfolgergeräte des Vidikons sind das Plumbikon, das Saticon und das Newvikon.

Allen gemein ist aber der Nachteil des hohen Aufwands für Elektronenstrahlbeschleunigung und Ablenkeinheit und der Empfindlichkeit gegen elektrische, magnetische und mechanische Beeinflussung. Sie werden deswegen kaum noch eingesetzt.

7.2 CCD-Bildwandler

Die lichtempfindliche Schicht bei Halbleitersensoren ist in die Oberfläche des Substrats integriert. Einzelne Fotozellen liegen dicht an dicht. Trifft ein Photon auf eine Zelle, schlägt es Elektronen aus dem

Halbleiter, welche als elektrische Ladung gesammelt werden. Diese Ladungen können dann in einem Analog-Schieberegister weitergereicht werden.

Je nach Aufbau gibt es CCD- oder CMOS-Sensoren. Derzeit sind weit über 90 % aller eingesetzten Sensoren CCD (Charge Coupled Device) Chips, welche nach dem Eimerketten-Prinzip die übergebenen Ladungen weiterreichen, um sie zu einem Meßverstärker zu transportieren. Taktgesteuert werden dabei die Ladungen von einer Zelle zur nächsten weitergereicht, bis sie am Meßverstärker anlangen.

Die Chips werden in einem mit einem Fenster versehenen Gehäuse untergebracht. Die Wandlerfläche ist standardmäßig 2/3", 1/2", 1/3" oder 1/4". Professionelle System haben 2/3" Wandler.

Für das Auslesen der Ladungen gibt es verschiedene Verfahren. Wichtig ist, daß Beleuchtungs- und Auslesevorgang sauber getrennt werden.

Beim FT (Frame Transfer) (Bild 7.2) wird zunächst die gesamte lichtempfindliche Fläche beleuchtet. Danach wird sie mechanisch abgedeckt und der gesamte Bildinhalt in einen lichtdichten Speicherbereich geschoben. Hier wird jetzt Fernsehnormgerecht Zeile für Zeile ausgelesen. Das Verfahren hat eine gute Auflösung (hohe Pixeldichte), jedoch als wesentlichen Nachteil eine mechanische Blende.

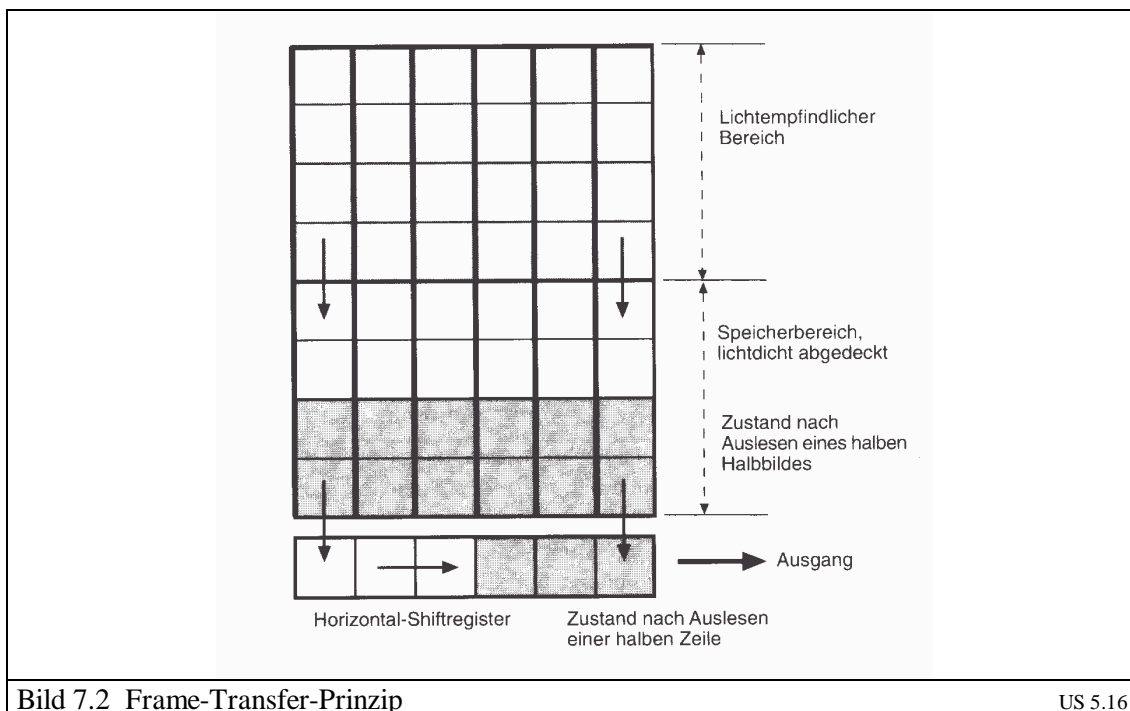


Bild 7.2 Frame-Transfer-Prinzip

US 5.16

Beim IT (Interline Transfer) (Bild 7.3) befindet sich neben jeder lichtempfindlichen Spalte eine abgedeckte, nicht lichtempfindliche, die nur zum Transport dient. Dadurch können gleichzeitig alle lichtempfindlichen Speicherelemente ausgelesen werden. Eine mechanische Ablenkung ist überflüssig. Das Bild kann dann Zeile für Zeile in ein horizontales Schieberegister übertragen und ausgelesen werden. Nachteil ist eine geringere Pixeldichte und die Möglichkeit des Smear-Effektes, wobei Licht in die Transportregister gelangt.

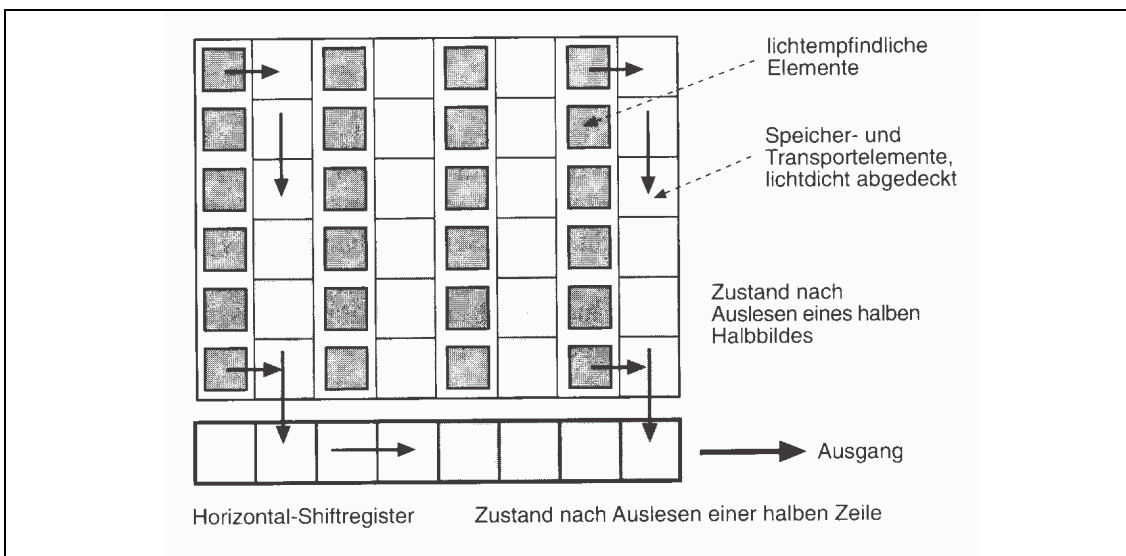


Bild 7.3 Interline-Transfer-Prinzip

US 5.18

Beim FIT (Frame Interline Transfer) (Bild 7.4) werden beide Prinzipien kombiniert. Wie beim Interline Transfer befindet sich neben jeder lichtempfindlichen Spalte eine abgedeckte. Das Bild wird ebenfalls gleichzeitig hier hinein geschoben. Danach wird es schnell in einen ebenso großen (lichtdichten) Speicher geschoben, so daß der Smear-Effekt vermieden wird. Aus diesem lichtdichten Speicher kann es dann der Fernsehnorm entsprechend zeilenweise ausgelesen werden.

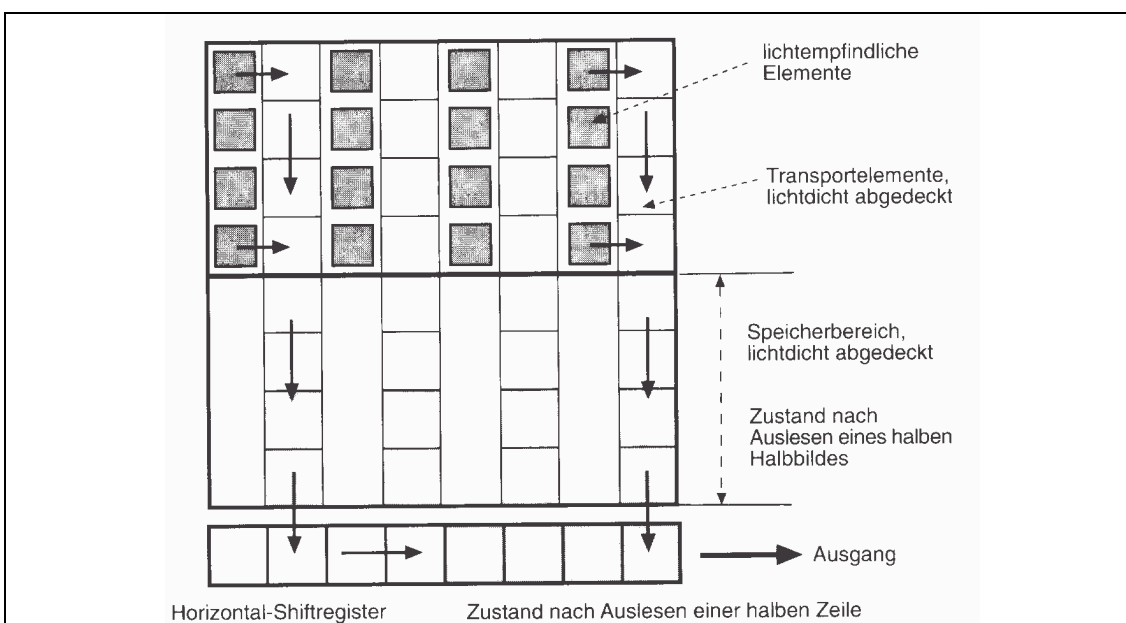


Bild 7.4 Frame-Interline-Transfer-Prinzip

US 5.19

Beim IT und FIT Verfahren wird Licht, das auf die lichtdichten Speicherspalten fällt, nicht genutzt. Um diesen Nachteil zu vermindern, wird von vielen Herstellern eine On-Chip-Lens Technik (OCL) verwendet. Hierbei wird auf jedes Sensorelement eine kleine Linse gesetzt, welche das Licht bündelt.

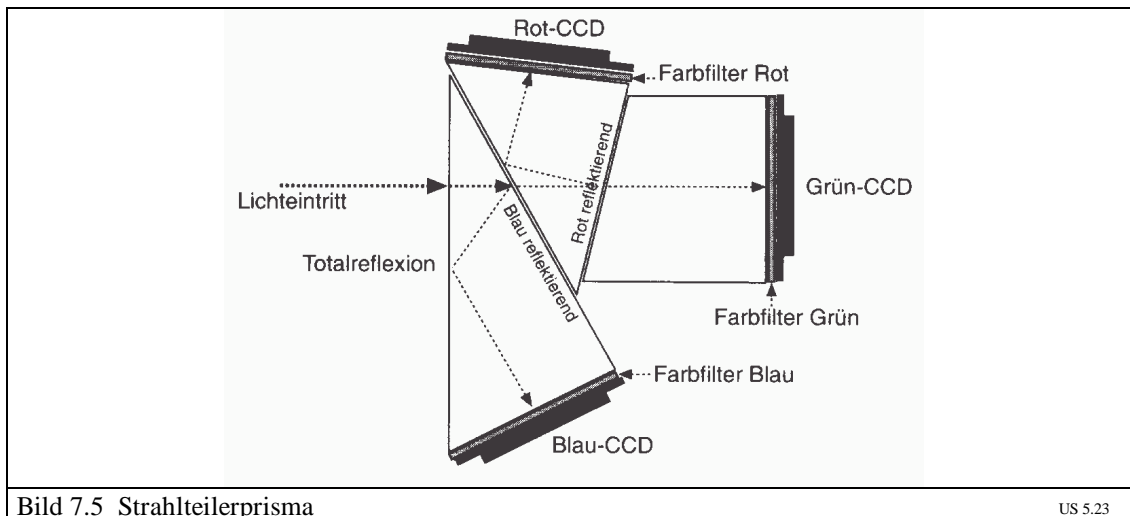
7.3 CMOS-Bildwandler

Bei CMOS-Bildsensoren ist jede einzelne Fotozelle direkt adressierbar und damit auslesbar. Fertigungstechnisch wären CMOS-Sensoren wegen der Vielzahl vorhandener CMOS-

Herstellungstrecken (Speicherbausteine, etc.) wesentlich preisgünstiger herzustellen als CCD-Sensoren. Ebenfalls wäre die Verarbeitungselektronik in CMOS direkt auf den Chip integrierbar. Problematisch ist jedoch noch die bisherige schlechte Qualität (hohes Bildrauschen) dieser Chips.

7.4 Farbbildwandler

Alle besprochenen Bildwandler sind nur in der Lage, Helligkeit zu registrieren. Um Farbbilder zu erhalten, müssen drei Farbauszüge in Rot, Grün und Blau erzeugt werden. Dies kann z.B. mit einem Prismensatz geschehen (Bild 7.5). CCD-Wandler können direkt mit diesem Prismensatz verbunden werden, wobei die Anordnung während der Herstellung vorgenommen werden kann. Bei Röhren führt dieses Verfahren zu einer häufigen Neujustierung der Anlage.



Bei Einchip CCD-Kameras kommen Mosaikfilter zum Einsatz. Diese bewirken, daß eine einzelne CCD-Zelle jeweils nur einen Farbanteil sieht. Die Farben sind dabei so verteilt, daß benachbarte Zellen zusammen den Helligkeitsanteil bestimmen. Dies bedeutet natürlich, daß die effektive Bildauflösung unter der vom Hersteller angegebenen CCD-Zellenanzahl liegt.

7.5 Videokamera

Eine Videokamera besteht aus mehreren Funktionsblöcken: Optisches System, Bildwandler, Elektronik.

Das optische System besteht im wesentlichen aus dem Objektiv, welches den Gegenstand auf den Bildwandler abbildet. Ein Prismenblock kommt hinzu, wenn zur Farberkennung auf getrennte Bildwandler (3-CCD) abgebildet wird.

Die Brennweite des Objektivs ist durch die Größe des Bildwandlers bestimmt. Für eine Normalabbildung geht man von einem vertikalen Bildwinkel von ca. 27° aus. Über die Bildweite kann man hieraus eine Brennweite von ca. 16 mm bestimmen. Die Bildweite ist dabei für weit entfernte Gegenstände (Meterbereich und größer) ungefähr gleich der Brennweite.

Bei kleinerem Bildwandler nimmt auch die Brennweite für die Normalabbildung ab. Dadurch wird wiederum das Verhältnis Gegenstandsweite/Bildweite größer, was zu einer geringen Veränderung der Bildweite bei Änderung der Gegenstandsweite führt. Bei gleichzeitig geringerer Auflösung des Bildwandlers kann deswegen u.U. ganz auf eine Scharfstellung verzichtet werden.

7.6 Still-Video

Mit dem Begriff 'Still-Video' bezeichnet man auch die digitale Fotografie. Diese entwickelt sich in zunehmendem Maße, wobei die Grenze zu klassischen (photochemischen) Techniken, bedingt durch die relativ geringe Auflösung bzw. den hohen Preis, jedoch immer noch deutlich zu ziehen ist. Allerdings gibt es bereits einige Anwendungsgebiete, in denen diese Nachteile unerheblich sind (Bilder für Nachrichten, Webbilder, ...). Entsprechend der Erfahrungen der letzten Jahre ist bald auch mit höher auflösenden Digitalkameras zu akzeptablen Preisen zu rechnen.

Im Prinzip funktioniert eine Digitalkamera wie eine Videokamera, allerdings wird jeweils immer nur ein Einzelbild gespeichert. Dieses Einzelbild wird auf einem Speichermedium (komprimiert oder unkomprimiert) abgelegt. Es gibt prinzipiell wechselbare und nichtwechselbare Speichermedien. Der Trend geht zu wechselbaren Speichern, da dies wesentlich flexibler sind. Ist der Speicher voll, kann er direkt ausgewechselt werden, ein Löschen aufgenommener Bilder ist nicht nötig. Es werden derzeit verschiedene Arten von Speichermedium angeboten: von normalen PC-Disketten über sog. PC-Cards (PCMCIA-Karten) und Miniature-Cards hin zu extrem flachen und ultraleichten Smart Media-Cards. Die wesentlichen Unterschiede betreffen Größe/Gewicht, Speicherkapazität und Preis.

Ein Problem gibt es allerdings bei Einsatz der Video-CCDs für die Digitalkamera. In der Videotechnik werden jeweils 2 Halbbilder nacheinander aufgenommen, die CCD ist darauf ausgelegt. Setzt man diese CCD in einer Digitalkamera ein, so nimmt auch sie 2 Halbbilder in zeitlicher Abfolge auf. Bei schnellen Vorgängen erhält man dadurch einen Versatz zwischen beiden Halbbildern (Bewegungsunschärfe). Dies wird vermieden durch den Einsatz speziell für die digitale Fotografie entwickelter CCDs. Diese nehmen jeweils Vollbilder auf und werden "Progressiv-CCD" genannt.

7.7 Filmabtaster

Filmabtaster sind Geräte, mit denen Filme in elektronische Videosignale umgewandelt werden können. Es gibt hier wiederum Röhrenbildwandler und CCD-Zeilen zur Wandlung.

Grundsätzlich existiert das Problem, die Bildrate (24 Vollbilder pro Sekunde) an das Videoformat (25 Vollbilder pro Sekunde in Europa, bzw. 30 in den USA) anzupassen. In den USA werden pro Sekunde 12 Zusatz(halb)bilder erzeugt. Nach jedem zweiten Vollbild wird ein berechnetes Halbbild eingefügt. In Europa gibt es zwei Methoden. Entweder wird der Film 4% schneller abgespielt, so daß man auf die 25 Bilder kommt. Die dadurch bedingte Anhebung der Tonhöhe des Audiosignals fällt nicht auf. Oder man generiert ebenfalls nach jedem 12. Vollbild ein zusätzliches Halbbild.

Weitere Probleme sind, daß der Kontrastumfang beim Film größer ist, die Gradationskurven unterschiedlich sind und die Farbwerte zur originalgetreuen Übernahme kontrolliert werden müssen. All dies erfordert eine szenengenaue Anpassung während des Digitalisierungsvorgangs.

Beim Flying-Spot-Abtaster wird zunächst in einer Elektronenstrahlröhre der Bildschirm punktweise beleuchtet. Diese Leuchtpunkte werden durch den Film hindurch auf eine Photozelle abgebildet. Diese registriert daher die Lichtdurchlässigkeit des jeweiligen Filmpunktes als Spannungsamplitude.

Bei CCD-Abtastern wird jeweils eine komplette Zeile des Films beleuchtet und von einer CCD-Zeile gewandelt. Die Geschwindigkeit des Films ist so eingestellt, daß nach Durchlauf eines Bildes genau die gewünschte Zeilenzahl gewandelt ist.

8. Bildwiedergabegeräte

Bildwiedergabegeräte dienen der Sichtbarmachung des bei der Aufnahme abgetasteten Bildes. Das serielle Signal bewirkt, daß die Bildpunkte nacheinander auf dem Bildschirm aufleuchten. Aufgrund der Trägheit des Wiedergabewandlers und des menschlichen Auges entsteht der Eindruck eines einheitlichen Bildes.

8.1 Geräte mit Kathodenstrahlröhren

Die Bildwiedergabe mittels Kathodenstrahlröhren beruht darauf, daß beim Auftreffen hochbeschleunigter Elektronen Leuchtstoffe (auch Phosphore genannt) farbiges Licht abstrahlen. Die Farbe dieses Lichts ist dabei vom jeweiligen Leuchtstoff abhängig.

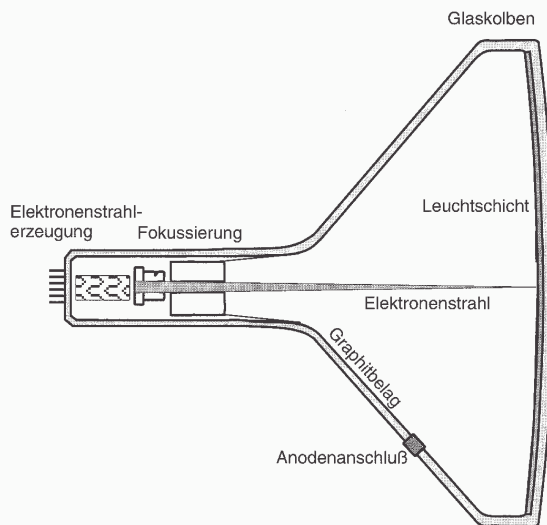


Bild 8.1 Kathodenstrahlröhre

US 6.2

Eine Kathodenstrahlröhre (Bild 8.1) ist ein evakuierter Glaskolben. Die Elektronen treten aufgrund ihrer thermischen Bewegung aus einem erhitzten Wolframdraht ins Vakuum aus. Dieser Wolframdraht bildet die Kathode und ist vom sog. Wehneltzylinder umgeben, welcher aus einem metallenen Netz besteht. Dieser Wehneltzylinder ist gegenüber der Kathode negativ geladen, so daß nur die Elektronen durch ihn treten, welche ausreichende kinetische Energie besitzen. Die Spannung des Wehneltzylinders gegenüber der Kathode bestimmt damit die Intensität des Elektronenstrahls.

Nach dem Austritt aus dem Wehneltzylinder "sehen" die Elektronen nun das elektrische Feld der Anode (ca. 25 kV), wodurch sie beschleunigt werden. Durch mehrere Gitter,

welche jeweils unterschiedliche Potentiale gegenüber dem Elektronenstrahl besitzen, wird dieser fokussiert. Die Steuerung des fokussierten Elektronenstrahls erfolgt durch außen auf der Röhre angebrachte Spulen, welche den Strahl magnetisch in horizontaler und vertikaler Richtung ablenken.

Auf der Leuchtschicht befinden sich rot-, grün- und blauleuchtende Stoffe (Phosphore), die in kleinen Strukturen sehr eng nebeneinander angeordnet sind. Zur Ableitung der Elektronen befindet sich hier ebenfalls eine dünne Graphitschicht, welche den Stromkreis schließt.

Die drei Farbstoffe (Farbtripel) sind sehr eng nebeneinander angeordnet, so daß sie beim Betrachter als ein Farbpunkt erscheinen, welcher die additiv gemischte Farbe hat. Die drei Farbpunkte werden dabei nicht nacheinander von einem Elektronenstrahl beleuchtet, sondern gleichzeitig von dreien, da dies technisch weniger aufwendig und daher preiswerter ist (Dreistrahlröhre). Alle drei Strahlen werden dabei vom gleichen Ablensystem beeinflusst, wobei das Problem gelöst werden muß, daß jeder Strahl den richtigen Farbstoff treffen muß. Dies wird durch die sog. Schattenmaske erreicht, welche 15 mm vor der Leuchtschicht (vom Elektronenstrahl aus gesehen) angebracht ist. Da jeder Strahl aus einer leicht anderen Richtung kommt (3 separate Elektronenstrahlquellen!), wird er durch die Schattenmaske (Bild 8.2) auch auf einen jeweils anderen Punkt auf der Leuchtschicht durchgelassen. Die Schattenmaske wird i.a. schwarz beschichtet (Black-Matrix), um störende Reflexionen des Außenlichts zu vermeiden.

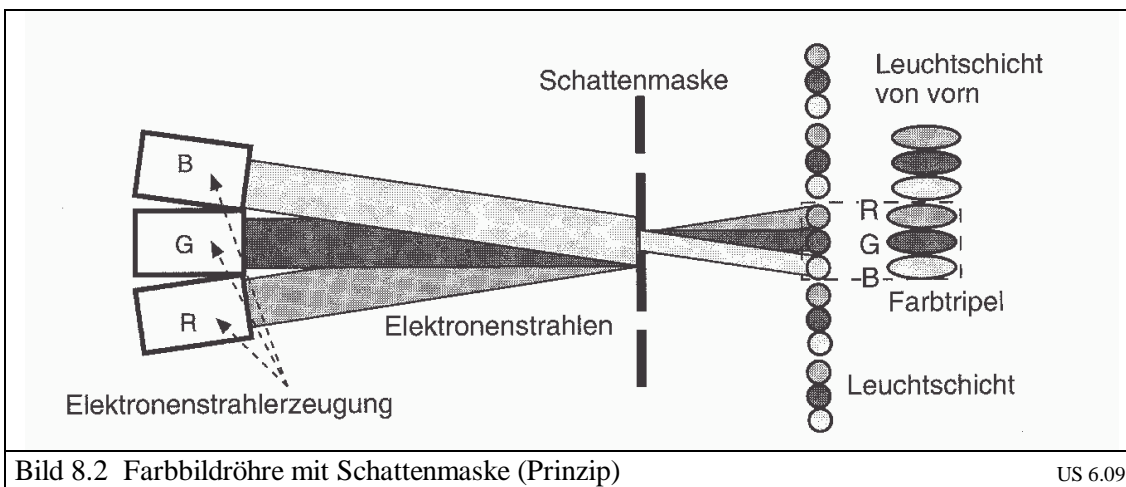


Bild 8.2 Farbbildröhre mit Schattenmaske (Prinzip)

US 6.09

Man unterscheidet an dieser Stelle Farbbildröhren in Delta-, In-Line- und Trinitron-Typen. Bei der Delta-Röhre (Bild 8.3) bildet die Strahlanordnung ein gleichseitiges Dreieck (Delta). Die Farbtripel sind entsprechend angeordnet. Um auf der gesamten Bildschirmfläche die Kreuzung aller drei Strahlen im korrekten Loch der Maske zu erhalten (Konvergenz), muß ein relativ hoher technischer Aufwand getrieben werden.

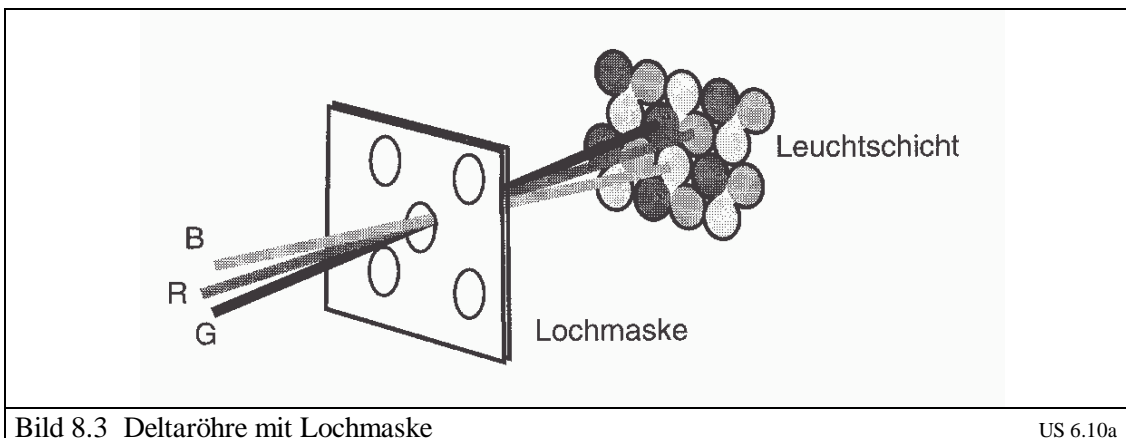


Bild 8.3 Deltaröhre mit Lochmaske

US 6.10a

Die In-Line Röhre (auch Schlitzmaskenröhre genannt) (Bild 8.4) benutzt statt der Lochmaske senkrechte längliche Schlitze zur Strahlführung. Die Elektronenquellen sind dementsprechend nebeneinander in einer Linie angeordnet. Die Konvergenz muß daher nur noch in zwei Ebenen eingehalten werden.

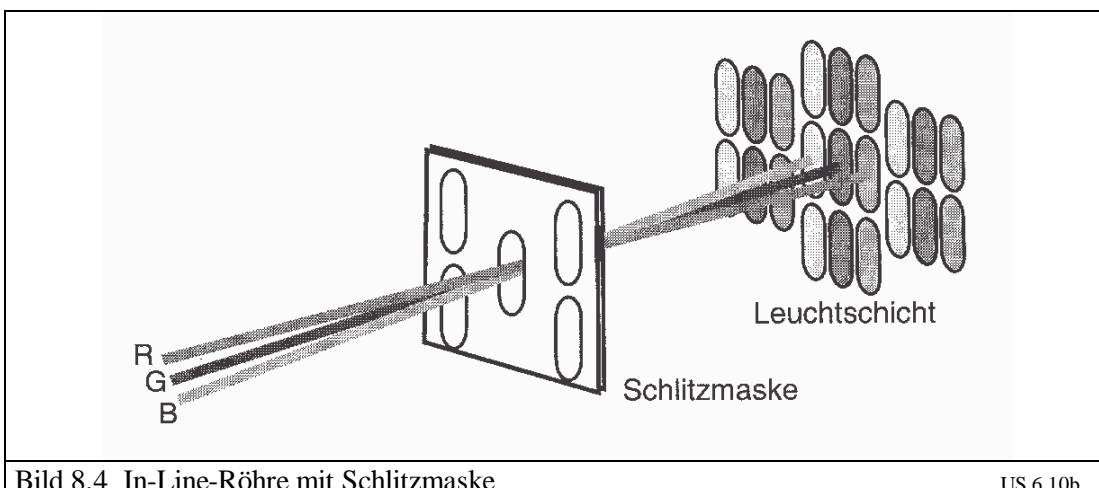
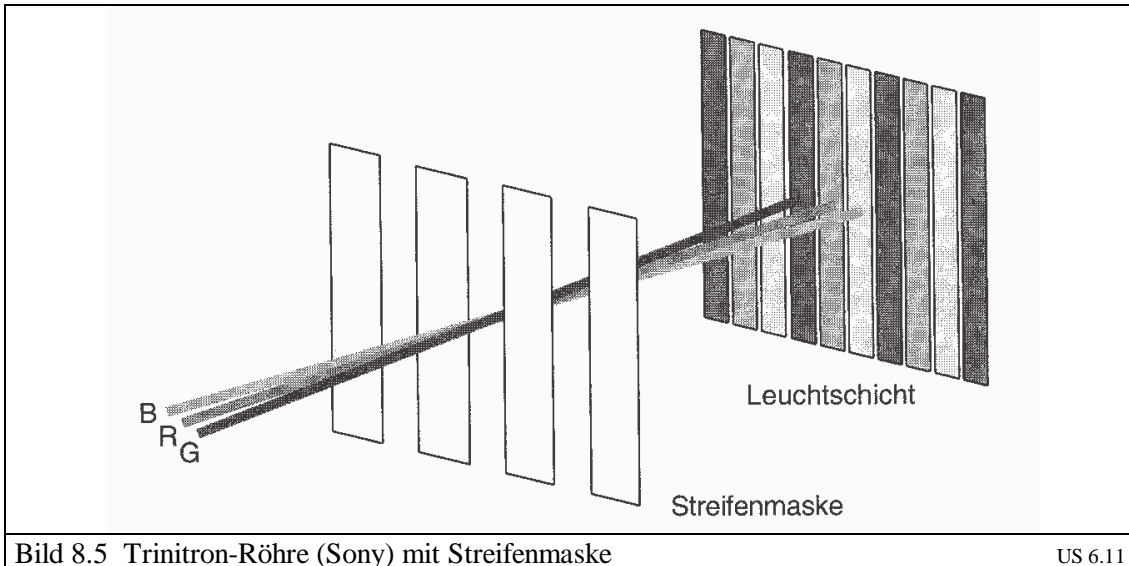


Bild 8.4 In-Line-Röhre mit Schlitzmaske

US 6.10b

Bei der Trinitron-Röhre (Bild 8.5) sind die Schlitze schließlich komplett durch senkrechte Streifen ersetzt. Die Leuchtstoffe liegen wie bei der Schlitzmaskenröhre ebenfalls nebeneinander, und zwar als durchgängig senkrechte Streifen.



Die Trinitron-Röhre hat die höchste Lichtausbeute, da die Maskentransparenz von allen Röhrentypen am größten ist (ca. 22%). Kontrast und Vertikalauflösung sind ebenfalls sehr gut und es sind selbstkonvergierende Wiedergabesysteme realisierbar (wie auch bei der Schlitzmaskenröhre).

8.2 Geräte mit Flüssigkristallanzeigen

Flüssigkristallanzeigen (Liquid Crystal Display, LCD) sind passive Elemente, d.h. sie absorbieren eine Hintergrundbeleuchtung oder verändern die Reflexion im Auflichtverfahren. Das wesentliche Prinzip der Flüssigkristalle ist dabei das folgende. Es handelt sich zunächst, wie der Name schon sagt, um Moleküle einer Flüssigkeit. Diese Moleküle befinden sich in einem Zustand, der zwischen fest und flüssig einzuordnen ist (sog. Mesophase). Dieser Zustand zeichnet sich dadurch aus, daß die Moleküle ausgerichtet sind. Im flüssigen Fall sind sie völlig unausgerichtet, d.h. isotrop (Bild 8.6). Die möglichen Ausrichtungsformen nennt man smektisch, nematisch oder cholesterisch twisted nematisch.

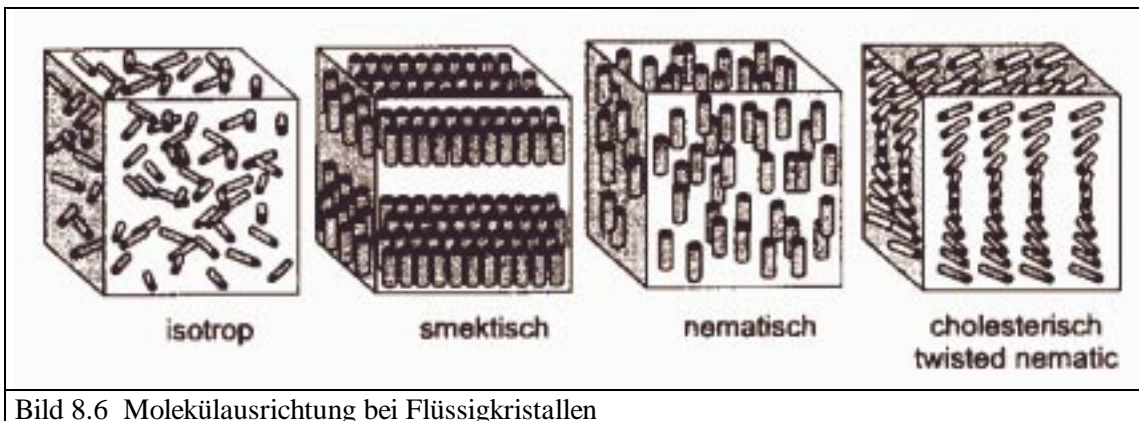


Bild 8.6 Molekülausrichtung bei Flüssigkristallen

Durch Anlegen eines elektrischen Feldes wechselt die Flüssigkeit zwischen dem nematischen und dem cholesterischen Zustand. Beim LC-Display ist diese Flüssigkeit zwischen zwei Glasplatten in geringem Abstand (ca. 1mm) eingeschlossen (Bild 8.7). Auf diese Glasplatte sind Elektroden für das elektrische

Feld und zusätzlich Polarisationsfilter angebracht (oben und unten im Winkel von 90° gegeneinander versetzt).

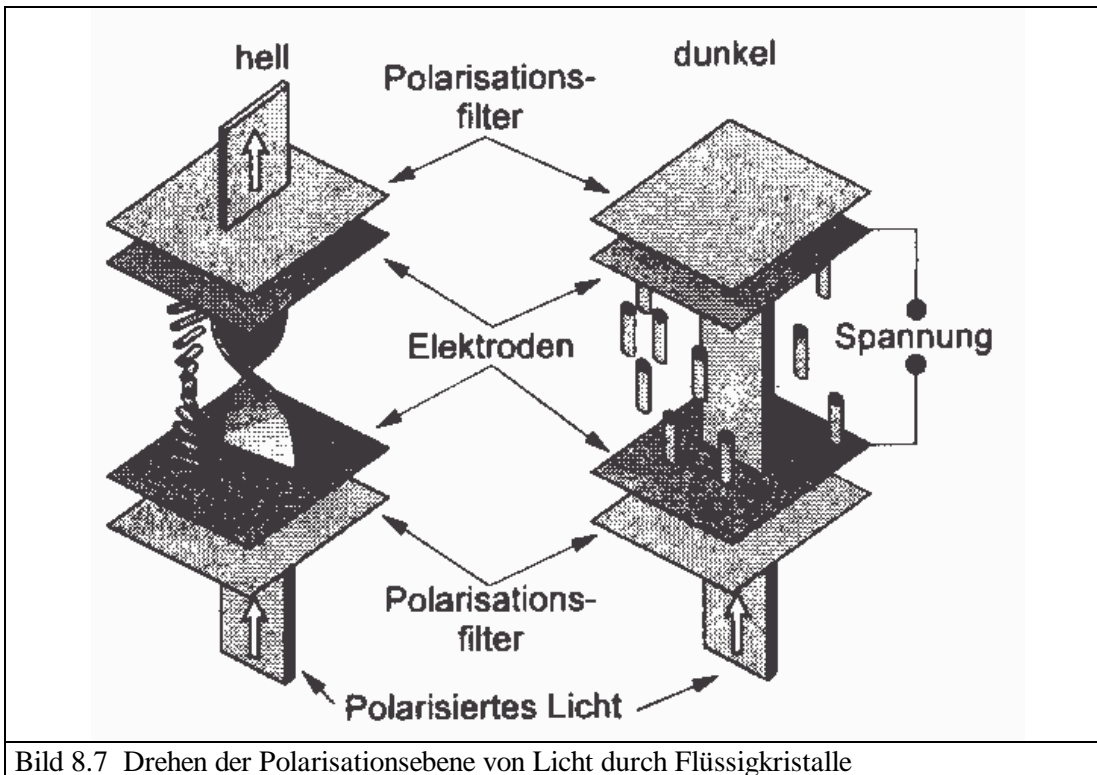


Bild 8.7 Drehen der Polarisationssebene von Licht durch Flüssigkristalle

Da der cholesterische Zustand die Polarisationsrichtung durchtretenden Lichts ändert und der nematische Zustand nicht, kann durch An- und Abschalten des elektrischen Feldes die Lichtdurchlässigkeit des jeweiligen Punktes geschaltet werden. Der Drehwinkel ist proportional zur Stärke des elektrischen Feldes und damit auch die Gesamtdurchlässigkeit.

Zum Ansprechen eines einzelnen Pixels wird eine Matrixanordnung gewählt (Bild 8.8). Während eine Zeile angewählt wird, können durch Spaltenimpulse die zugehörigen Zellen angesprochen werden. Real hat dieses Verfahren jedoch einen geringen Kontrast. Eine Verbesserung erhält man durch stärkere Verdrehung der Moleküle (180° oder 270°). Displays mit 180° heißen STN (Super Twisted Nematic) bzw. DSTN (Double Super Twisted Nematic). Technisch werden noch DSTN-LCDs eingesetzt.

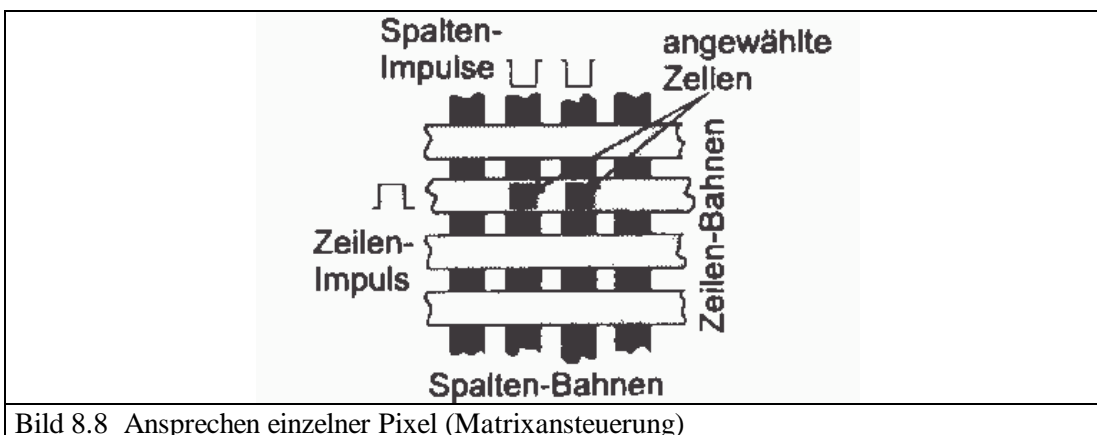


Bild 8.8 Ansprechen einzelner Pixel (Matrixansteuerung)

Eine weitere Verbesserung erzielt man gegenüber diesen passiven Displays durch aktive Displays. Hier wird jeder Puls an einer Zelle durch einen Feldeffekttransistor gehalten. Dadurch hält das Pixel seinen

Wert bis zum nächsten Ansprechen. Da diese Transistoren im Dünnschichtverfahren aufgebracht werden, heißen die Displays auch TFT (Thin Film Transistor). Dies sind die derzeit gängigen LCDs.

Zur Farbdarstellung müssen, wie beim CRT (Cathode Ray Tube = Kathodenstrahlröhre), jeweils drei Zellen mit R-, G-, B-Filtern versehen und zusammengefaßt werden.

Das Aufwendige bei der Herstellung dieser Displays ist die Tatsache, daß für jedes Pixel ein eigener Schalttransistor vorhanden sein muß. Bei einer Standardauflösung von 1024×768 Bildpunkten sind dies 2 359 296 Stück (jedes Pixel besitzt 3 Subpixel für Rot, Grün und Blau). Diese sind bei einem 15"-Monitor auf einer Fläche von ca. 700 cm^2 aufgebracht. Hierbei treten leider Fehler auf, die nicht korrigierbar sind. Deswegen besitzen einzelne LCDs immer eine gewisse Fehlerrate. Eine Fehlerrate von 10 ppm bedeutet immer noch, daß 20 Pixel defekt sind.

Da bei LCDs im Gegensatz zur CRT einzelne Pixel direkt angesteuert werden, können eigentlich die Pixeldaten, wie im Bildspeicher abgelegt, direkt an die Pixel im LCD gelegt werden. Über die Standardanalogschnittstelle für CRTs ist dies jedoch nicht möglich. Deswegen wird z.Z. an einem Standard für eine digitale Schnittstelle gearbeitet.

Umgekehrt gibt es sogar Probleme, wenn eine Bildschirmausgabe für eine unterschiedliche Auflösung auf einem LCD fester Auflösung ausgegeben wird.

9. Videosignalbearbeitung

Unter dem Begriff Videosignalbearbeitung kann man im allgemeinsten Fall sowohl das Schalten und Verteilen von Videosignalen, als auch die Verknüpfung mehrerer Signale durch Mischung, Stanzeffekte, digitale Tricks , sowie die Umstellung aufgezeichneter Videosequenzen durch Schnitt verstehen.

Auf diese Bereiche wird hier nicht eingegangen. Es werden nur kurz einige Begriffe zum Videoschnitt erläutert und ansonsten auf die Übungen mit Adobe Premiere verwiesen.

Grundsätzlich unterscheidet man hier zwischen dem (klassischen) linearen und dem nichtlinearen Schnitt.

Der Begriff linearer Schnitt steht für eine Aneinanderreihung verschiedener Bildsequenzen auf einem (analogen) Magnetband durch einen Kopiervorgang. Diese Sequenzen können bereits direkt bei der Produktion von verschiedenen Kameras herrühren. Sie können aber auch von einem oder mehreren Zuspiegeln von Bildquellen (Bandgeräten) in der Postproduktion erhalten werden.

Auf jeden Fall muß eine unterbrechungsfreie Folge von Bildern entstehen, welche als Ergebnis aufgezeichnet wird. Dies erfordert einen teilweise hohen technischen Aufwand, da z.B. Magnetbandlaufwerke aus dem Stand heraus gestartet werden müssen, um eine bildgenaue Wiedergabe zu erhalten. Da dies nicht machbar ist, müssen Anlaufzeiten berücksichtigt und zwischen Zuspiegler und Aufnahmegerät synchronisiert werden.

Ein Schnitt, welcher ohne Berücksichtigung der auf dem Band befindlichen Signale vorgenommen wird (Crash Record), führt immer zu einer kurzen Bildstörung.

Der sog. Assemble-Schnitt dient zum störungsfreien Ansetzen einer neuen Sequenz an eine bereits aufgezeichnete. Nur beim Schnitteintritt orientiert sich das Aufzeichnungsgerät an bereits auf dem Band existierenden Signalen, so daß dieser störungsfrei und bildgenau wird.

Beim Insert-Schnitt kann eine bestehende Sequenz von Bildern exakt durch eine neue ersetzt werden. Sowohl Ein- als auch Ausstieg geschehen bildgenau. Dies ist die Standardbetriebsart bei der Nachbearbeitung.

Der lineare Schnitt ist die Standardbearbeitung von analogem Videomaterial. Durch die Digitalisierung der Videosignale ergeben sich völlig andere, flexiblere Möglichkeiten der Bearbeitung, welche auch nicht mehr chronologisch aufeinander folgend ablaufen müssen. Diese Bearbeitung nennt man daher nichtlinearer Schnitt.

In ihm werden nicht einzelne Szenen hintereinander abgespielt, sondern man arbeitet auf einem Computer mit Zeigern, auf die als Festplattendatei abgelegten digitalisierten Videoszenen. Dadurch kann man diese als Clips bezeichneten virtuellen Szenen beliebig aneinanderreihen, schneiden, verschieben, mit Effekten versehen usw. Erst beim sog. Rendern wird der endgültige Film erzeugt.

Derartige Schnittprogramme sind inzwischen auch für den semiprofessionellen und den Heimnutzerebereich verfügbar. Ein derartiges Produkt, Adobe Premiere 5.1, ist für die Übungsaufgaben benutzt worden und enthält alle wesentlichen Merkmale eines nichtlinearen Schnittsystems neben einer Vielzahl von Videobearbeitungsmöglichkeiten.

Literatur

Ulrich Schmidt	Professionelle Videotechnik Springer-Verlag ISBN 3-540-66854-3 DM 179.--
Elmar Götz-Meyn Walter Neumann	Grundlagen der Video- und Videoaufzeichnungstechnik Hüthig-Verlag ISBN 3-7785-2640-5 DM 88.--
Gernot Meyer-Schwarzenberger	MPEG, JPEG & Co Wege der Datenreduktion Hüthig-Verlag CD-ROM ISBN 3-7785-2632-4 DM 148.--
Paul Klimsa	Desktop Video Videos digital bearbeiten rororo – Rowohlt Verlag CD-ROM ISBN 3-499-19885-1 DM 29.--
Tilo Strutz	Bilddatenkompression Grundlagen, Codierung, MPEG, JPEG Vieweg-Verlag ISBN 3-528-03922-1 DM 72.--
Peter A. Henning	Taschnbuch Multimedia CD-Rom Fachbuchverlag Leipzig Im Carl Hanser Verlag ISBN 3-446-21274-4 DM 39.80