

Film and Video Uncovered

Im dritten Teil der Reihe über Filmwissen soll sich wieder alles um die Technik drehen - genauer um Aufzeichnungsformate. Dabei wird es sowohl um analogen Film, als auch um digitale Aufzeichnungsverfahren gehen. Alte analoge Videoformate werden nicht behandelt, da sie sowieso nicht mehr verwendet werden (und ehrlich gesagt jeder froh ist, dass es sie nicht mehr gibt)

Es werden Mythen und Legenden erklärt und berichtigt - vor allem Themen wie Bildwiederholraten, Halbbildverfahren und anamorphotische Bilder, bei denen sich immer wieder Halbwahrheiten und Ungenauigkeiten bemerkbar machen.

Der Artikel ist in drei Abschnitte unterteilt: Verhältnisse, in dem es um alle Arten von Seitenverhältnissen geht; Filmformate, wobei hier klassische Formate wie 35mm und 16mm erklärt werden und schließlich Videoformate, wobei es um alle aktuellen Videoformate gehen soll, mit Schwerpunkt auf DV, HDV und HDCAM.

1. Verhältnisse

Zunächst muss man bei allen Video- und Filmformaten zwischen *Bildseitenverhältnis* (Frame Aspect Ratio) und *Pixelseitenverhältnis* (Pixel Aspect Ratio) unterscheiden. Das Erste beschreibt das Verhältnis zwischen Bildbreite und Bildhöhe; das Zweite beschreibt das Verhältnis der Pixelbreite zur Pixelhöhe. Wie, sind Pixel nicht immer quadratisch? – Nein!

Betrachten wir zunächst die Bildseitenverhältnisse:

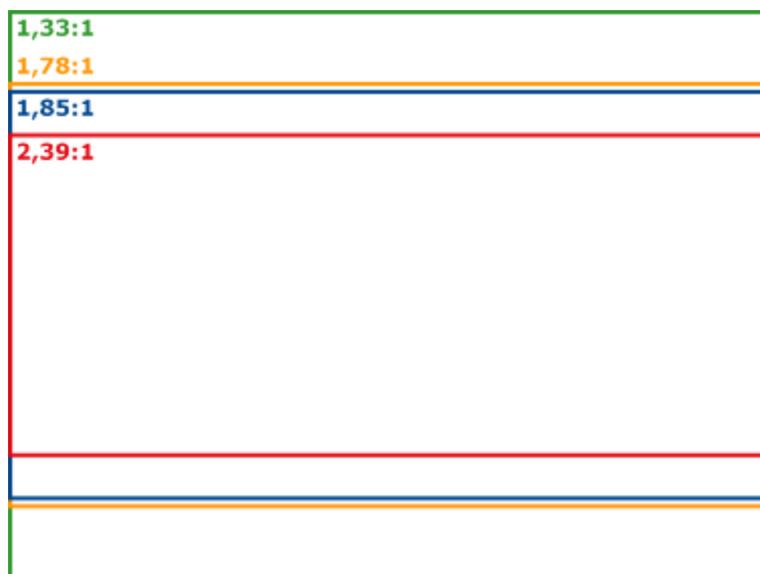
Das wohl meistbekannte Bildseitenverhältnis ist das vom Fernsehen bekannte: 4:3 oder 1,33:1. Erst wird die Breite angegeben, dann die Höhe. Ein 4:3 Bild ist also vier Einheiten breit und 3 Einheiten hoch. Dasselbe Bildseitenverhältnis finden wir auch bei vielen Computermonitoren wieder.

Weiterhin bekannt dürfte spätestens seit der Fußball WM 2006 das Verhältnis 16:9 oder 1,78:1 bekannt sein – gemeinhin auch als Breitbild bezeichnet. Ein wenig flacher, trotzdem auch als 16:9 bezeichnet ist das „Widescreen“ - Kinoformat mit einem Verhältnis von 1,85:1.

Eher unbekannt, aber dennoch weit verbreitet sind *CinemaScope* oder *Panavision* mit einem Seitenverhältnis von 2,35:1 bzw. 2,39:1. Wir alle kennen es aus dem Kino, wo es bei den meisten amerikanischen Produktionen verwendet wird. Es ist noch breiter als 16:9 (umgerechnet wäre CinemaScope ca. 22:9)



Neben diesen drei gängigen Seitenverhältnissen gibt (und gab) es unzählige weitere Variationen - von annähernd quadratisch bis flach wie eine Flunder – die uns aber nicht weiter interessieren sollen, da sie zu selten verwendet werden (oder wurden).



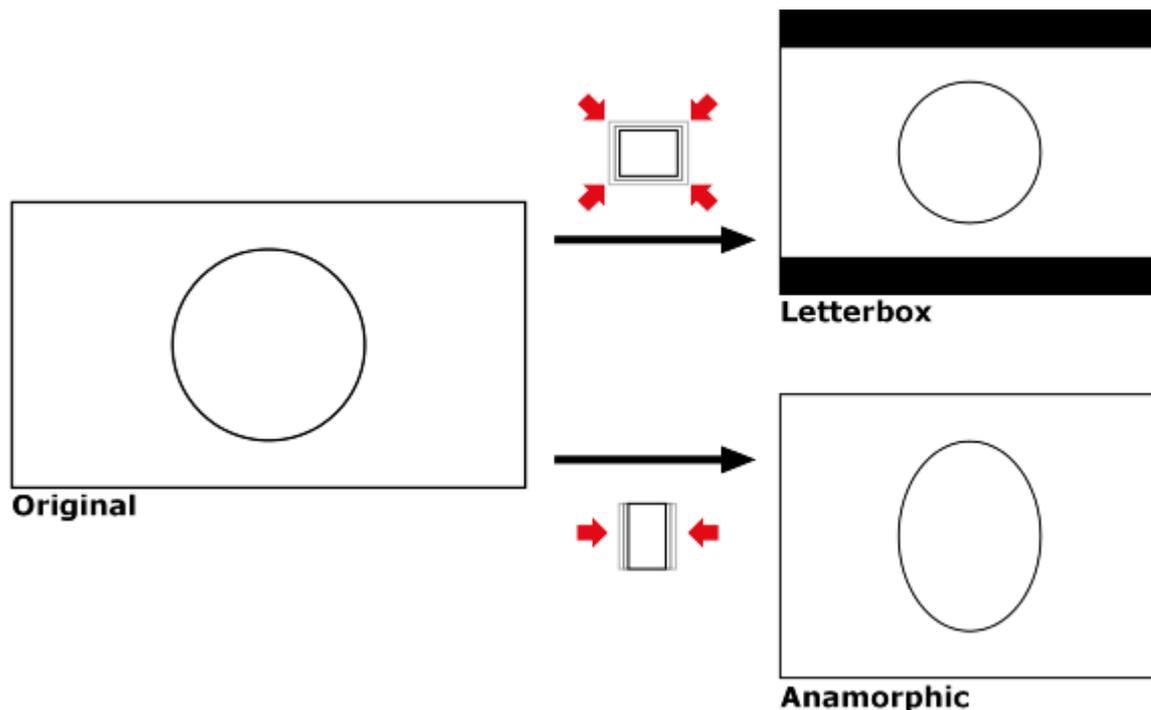
Was hat es nun aber mit diesen ominösen Pixelseitenverhältnissen auf sich? Durch die Computerwelt sind wir es gewohnt, dass ein Pixel ein Quadrat ist. Das ist allerdings nur eine mögliche Auffassung, denn genau genommen ist ein Pixel lediglich ein punktförmiger Messwert. Und wie es geometrische Punkte nun mal so an sich haben, sind sie unendlich klein und dimensionslos. Also obliegt die Interpretation, wie groß der Pixel auf einem Anzeigergerät sein soll genau diesem. Bei Computermonitoren sind Pixel eben quadratisch – bei Fernsehern aber rechteckig.

Um nun zu wissen wie ein Pixel dargestellt wird und vor allem, wie es auf einem anderen Anzeigergerät dargestellt werden muss, gibt es das Pixelseitenverhältnis.

Bei Computer- und HDTV-Bildern ist es immer 1,0:1, also quadratisch, weswegen man im Englischen auch von „square pixels“ spricht. Anders beim Fernsehen: Dort ist das Pixelseitenverhältnis 1,067:1 bei 4:3 Bildern und 1,422:1 bei 16:9 Bildern. Bei Filmaufnahmen im CinemaScope und Panavision Format ist das Pixelseitenverhältnis sogar 2:1.

Warum das so ist lässt sich sehr einfach erklären: Die ursprünglichen Bildseitenverhältnisse von Film und Fernsehen (welches sich ja am Film orientierte) waren jeweils

4:3. Nun kam man aber darauf, dass es eher den Sehgewohnheiten des Menschen entspricht, wenn man ein breiteres Bild sieht. Um nun ein breiteres Bild auf einem 4:3 Medium darzustellen hat man zwei Möglichkeiten: Die erste besteht darin, das breite Bild einfach in das 4:3 Bild einzupassen. Dabei verschenkt man aber oben und unten Platz, der sowieso genutzt wird (entweder Platz auf dem Filmstreifen oder Sendebandbreite). Also liegt die zweite Idee nahe, das Bild mit einer gewölbten Linse – einem sogenannten Anamorphot - aufzunehmen, sodass es den Platz auf dem Filmstreifen komplett ausfüllt.



Damit ist das Bild zwar vorerst verzerrt, man kann aber bei der Projektion später eine entgegengesetzt gekrümmte Linse vorsetzen, wodurch das Bild wieder entzerrt wird. Dadurch wird das Bild in der vertikalen Achse besser aufgelöst, da ja mehr Platz auf dem Filmstreifen zur Verfügung stand. Das Bild wird also teilweise schärfer. Bei Fernsehen und Video läuft es im Prinzip genauso ab.

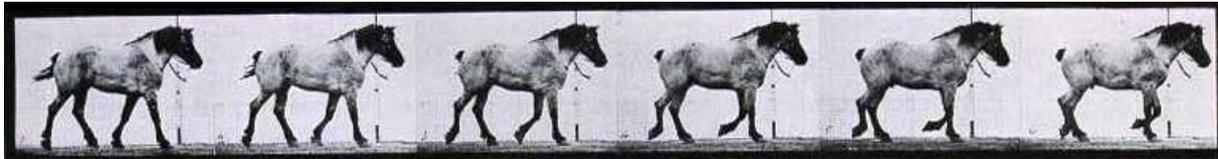
Es geht hierbei auch nur um die Speicherung und Übertragung der Bilder. Die Darstellung von Breitbildinhalten auf einem 4:3 Fernseher erfolgt natürlich mit schwarzen Balken oben und unten (es will ja keiner Eierköpfe sehen...)

Später wird beim Kapitel Video noch einmal auf das Thema anamorphotische Bilder und echte Bildgröße eingegangen werden.

2. Filmformate

Nachdem wir uns nun ein paar Betrachtungen zugewandt haben, die für beide Medien gelten, soll nun näher auf Film eingegangen werden.

Die Geschichte des Films beginnt eigentlich durch eine Wette. Der Pferdezüchter Leland Stanford beauftragt 1872 Eadweard Muybridge auf fotografischem Wege einen Beweis zu liefern, ob ein Pferd im Galopp alle vier Hufe in der Luft hält oder wenigstens immer einen Huf auf dem Boden lässt. Der Fotograf Muybridge fertigt eine Serienfotografie mit mehreren Kameras an und erfindet daraufhin das *Zoopraxiskop* um seine chronofotografischen Bilder zu präsentieren.



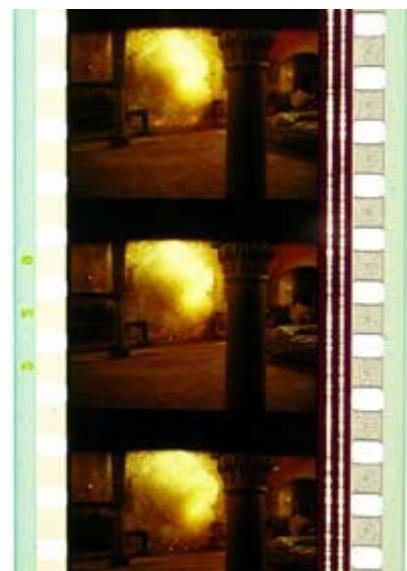
Das Ganze ähnelte eher einem Animated GIF, setzte aber etwas in Gange, das schließlich 1895 mit den Brüdern Lumière und ihrem Cinématographen zu dem wurde, was wir als Film kennen: Zelluloidstreifen mit Bildern darauf, die über einen Projektor einem Publikum gezeigt werden. Zunächst gab es nur schwarzweiß Filme, ab 1917 gab es dann mit Technicolor das erste Zweifarbsystem, das auch Verbreitung fand. Erst 1935/36 wurden von Kodak und Agfa Dreischichtfarbfilme entwickelt, die drei Farben auf einem einzigen Film aufzeichnen konnte.

Eine Sekunde Film besteht im Normalfall aus 24 Einzelbildern. Die Bildrate weicht nur ab wenn Zeitlupe- (höher) oder Zeitrafferaufnahmen (niedriger) gedreht werden. Bei der Projektion werden allerdings nicht 24 Bilder/Sekunde gezeigt. In einem dunklen Raum würde das zu stark flimmern. Deshalb wird über eine sogenannte *Flügelblende* jedes Bild zwei- bis dreimal projiziert, wodurch sich also die Bildwiederholrate von 24 Bildern/Sekunde scheinbar auf 48 oder 72 Bilder/Sekunde verdoppelt bzw. verdreifacht.

Bis heute haben sich zwei Filmformate als Standard etabliert: 35mm Film und 16mm Film.

35mm

Der 35mm Film mit beidseitiger Perforation, wie er heute immer noch eingesetzt wird, stammt aus dem Jahr 1893 und wurde von William Dickson eingeführt. Dabei ist der Filmträger 35mm breit. Anders als beim Kleinbildfilm aus der Fotografie ist die Perforation nicht über und unter den Bildern, sondern links und rechts davon. Der Film liegt sozusagen nicht quer sondern steht senkrecht. Zieht man den Platz für die beiden Perforationen sowie den Platz, den man zur Speicherung des Tons braucht ab, so ergibt sich die Größe eines einzelnen Bildes von ca. 22x16mm. Es gab auch eine zeitlang ein 35mm Format, welches die Bilder horizontal aufzeichnete, also so, wie man es von der Fotografie her kennt. Dieses Format hieß VistaVision



und wurde unter anderem für die Special Effect Shots bei Star Wars verwendet.

Das Rohmaterial für den Dreh wird in flachen Blechdosen gekauft, wobei es Rollen mit 400ft und 1000ft gibt. 400ft entspricht dabei 122 Metern Länge bzw. einer Laufzeit von 4 Minuten und 27 Sekunden. 1000ft entsprechen 304,8 Metern Länge bzw. 11 Minuten und 8 Sekunden Laufzeit. Zum aktuellen Zeitpunkt kostet eine einzelne 400ft Rolle Kodak Farbnegativfilm ca. \$300-600, wobei es sicher Mengenrabatte gibt. Zu den reinen Materialkosten kommen auch noch Kosten für die Entwicklung und das Kopieren auf Positivkopien (der Film ist ein Negativfilm). Heutzutage muss der Film dann auch noch gescannt werden, damit Schnitt und Effekte digital durchgeführt werden können. Dieses gescannte Filmmaterial wird auch als *Digital Intermediate* oder *DI* bezeichnet.

Womit wir auch gleich das nächste Mysterium anreißen: Die Auflösung von Filmmaterial. Ein einzelnes Bild von einem ordentlich und sauber entwickelten 35mm Kleinbild-Negativfilm mit einer Empfindlichkeit von ISO100 löst etwa 60-100 Punkte/mm auf. Bei einer Größe von 36x24mm sind dies also maximal 3600x2400 Punkte, was ungefähr 8Megapixel entspricht. Da ein Einzelbild eines Filmstreifens aber nur 22x16mm ist (weil es ja quer steht), ist hier die Auflösung ca. 2200x1600 Punkte, was ca. 3,5 Megapixel entspricht. Je lichtempfindlicher der Film wird, desto niedriger wird allerdings auch seine Auflösung, da die Silberhalogenid-Kristalle größer werden.

In der Tat werden Filme meist mit 2K Auflösung abgetastet, d.h. das resultierende digitale Bild ist 2048x1556 Pixel groß. Zum Vergleich: Ein HDTV Bild ist in der höchsten Auflösung 1920x1080 Pixel groß. HD kommt also 35mm Film in Punkto Auflösung sehr nahe. Gelegentlich werden Filme auch mit 4K gescannt, meist aber nur bestimmte Shots für Visual Effects. Der Informationsgewinn hierbei ist aber recht beschränkt.

Trotz des hohen Preises und der vergleichsweise geringen Auflösung bietet Film gegenüber Video (auch HD!) etliche Vorteile:

1. Film hat einen höheren Kontrastumfang als Video. Wo es bei Video nur noch schneeweiße Flecken bei den Lichtern und tiefschwarze Löcher in den Schatten gibt, zeichnet Film noch Details auf. Und selbst wenn Film überbelichtet ist, sieht das sauberer aus als ausgefressene Videobilder.
2. 35mm Film hat aufgrund der größeren Bildfläche eine geringere Schärfentiefe als Video. Etliche Videokameras haben einen 1/3“ Chip oder sogar noch kleiner, wodurch sie einen sehr großen Bereich scharf darstellen. Ein beliebtes gestalterisches Mittel ist es aber, den Hintergrund von einer Figur unscharf verschwimmen zu lassen um so die Figur besser zur Geltung kommen zu lassen. Das geht bei Video nicht oder nur sehr schwer!
3. Durch die Körnung sieht Film lebendiger, organischer aus als das teilweise sehr sterile Videobild.

- Bei Video entstehen oft scharfe oder übermäßig geschärfte Kanten im Bild. Da Film auf einem Gelatineträger ist und dieser Licht auch immer streut, ist das Bild bei Film weicher als das bei Video.

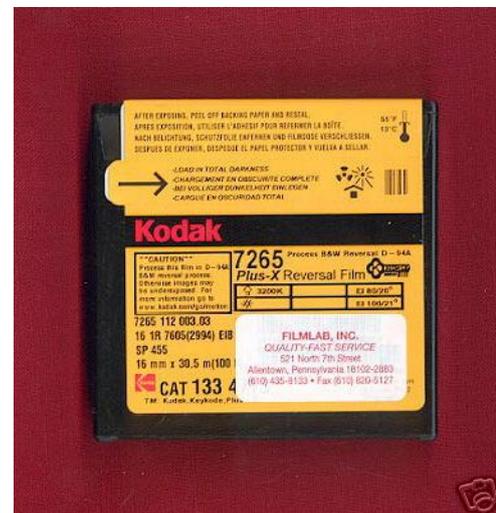
16mm

Als Alternative zum teuren 35mm Film kam ab 1923 das 16mm Format heraus. Anders als 35mm Film ist er einseitig perforiert. Ursprünglich gedacht für Amateure wurde 16mm Film jedoch vor allem für früher Fernsehproduktionen, Unterrichtsfilm sowie bei Low-Budget Filmproduktionen eingesetzt. Ein Einzelbild ist 10,3 x 7,5 mm groß und hat damit eine Auflösung von ca. 1030x750 Pixel – also in etwa mit HD720 vergleichbar (1280x720 Pixel). Genau wie 35mm Film wird bei 16mm Film mit 24 Bildern/Sekunde gedreht. Von der Schärfentiefe ist 16mm Film mit einem Camcorder mit 2/3“ Chip vergleichbar.



16mm Film gibt es genauso wie 35mm in Blechdosen zu 100ft oder 400ft. Eine 100ft Rolle ist 30,5m lang und hat eine Laufzeit von 2 Minuten 45 Sekunden. Rollen mit 400ft sind 122m lang und zeichnen 11 Minuten auf.

Aufgrund der geringeren Größe ist es viel günstiger 16mm zu drehen. Eine 100ft Rolle kostet ca. \$30,-, bei einer 400ft Rolle ist man mit ca. \$100 dabei. Durch Abnahme größerer Mengen kann man erneut sparen. Trotzdem sollte man sich auf einiges gefasst machen: Ein aktuelles Angebot bietet 4000ft Farbnegativfilm (110min), Entwicklung, Abtastung und Kopie auf MiniDV komplett für \$3149 an. Bedenkt man, dass zwei MiniDV Kassetten mit einer Laufzeit von 120 Minuten etwa \$6 kosten ist klar, wieso viele Low Budget Projekte nur noch auf MiniDV oder HDV gedreht werden.

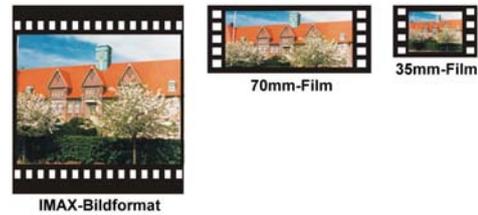


8mm

Das 8mm Format (Schmalfilm) soll nur der Vollständigkeit halber aufgezählt werden. Es wurde 1932 eingeführt und ist ein reines Amateurformat, was in etwa von der Auflösung her mit Video zu vergleichen ist. Die meisten dürften Normal8 oder Super8 Filme noch von ihren Eltern oder Großeltern kennen. Da 8mm Film durchaus erschwinglich ist, gibt es eine kleine Fangemeinde, die Kurzfilmprojekte immer noch auf 8mm produziert.

70mm

Dieses Format wird zwar kaum verwendet, ist aber von der technischen Seite aus so beachtenswert, dass es wenigstens eine kurze Erwähnung verdient. 70mm Filme werden heute fast ausschließlich in IMAX Kinos verwendet und zeichnen sich durch eine enorme Auflösung aus. Ein Einzelbild ist 71x52mm groß und bietet damit fast 37 Megapixel an Bildinformation, was für die großen IMAX Leinwände auch nötig ist. Das System litt jedoch anfangs unter erheblichen technischen Schwierigkeiten, da es nicht gerade einfach ist, solch einen riesigen Film mit ca. 1,8m/Sekunde (24x7,5cm) Durchlaufgeschwindigkeit vor einer Projektionslampe mit einer Leistung von 15.000W entlanglaufen zu lassen, ohne dass der Film reißt.



3. Videoformate

Nachdem wir nun durch die Wunderwelt des analogen Films gestreift sind, ist es an der Zeit, Aufzeichnungsformate anzusehen, die für Low-Budget Filmer weitaus interessanter (weil bezahlbar) sind.

Einige der Unterschiede zwischen Video und Film wurden schon im Abschnitt über den 35mm Film erklärt. Video ist mit Film allerdings in etwa so vergleichbar wie ein Apfel und eine Birne. Es ist zwar irgendwie ähnlich, aber eben etwas ganz anderes.

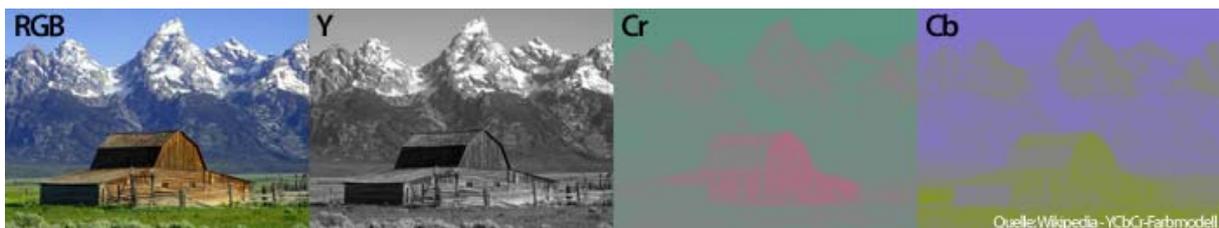
Zunächst das auffälligste Merkmal: Video wird elektromagnetisch aufgezeichnet auf Bändern oder Festplatten. Es wird zwar auch manchmal optisch aufgezeichnet, dann aber nur codiert, z.B. auf DVDs. Video ist auch sofort verfügbar und unterliegt keinen Materialschwankungen, d.h. im Zweifelsfalle kann man das Band zurückspulen und schauen ob die Aufnahme etwas geworden ist. Es kann auch nicht passieren, dass etwas bei der Entwicklung schief geht oder das Rohmaterial unbrauchbar ist und deswegen Szenen neugedreht werden müssen. In diesem Sinne ist Video quasi *WY-SIWYG* („What you see is what you get“) Außerdem ist Video extrem preisgünstig, da ein Band nur wenig Geld kostet, dafür meist aber eine oder mehrere Stunden Material aufzeichnen kann.

Ähnlich wie bei Film gibt es aber auch bei Video einen Dschungel an Aufzeichnungsformaten und –größen. Anders als bei Film wird das Bild über einen Chip erfasst und digitalisiert abgespeichert, wobei die Größe des Chips nichts mit der Auflösung zu tun hat (größerer Chips ≠ höhere Auflösung). Dafür gilt auch hier: Je größer der Chip, desto geringer die Schärfentiefe.

Gänzlich anders ist auch die Art, wie Videosysteme Bildinformationen speichern. Während auf einem Film die Farbinformation in den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau abgelegt ist, speichert Video die Bildinformation als *YCbCr* Daten. Es gibt

also auch drei Komponenten (genau wie bei RGB) doch sind diese anders aufgebaut. Die Y Komponente speichert die *Helligkeitsinformation*. Zusätzlich gibt es noch eine Cb und eine Cr Komponente - die sogenannten *Farbdifferenzkomponenten*. Manchmal werden die drei Komponenten auch Y , U und V bezeichnet. Die Farbdifferenzkomponenten können aber auf verschiedenem Weg berechnet werden, wobei U und V nichts über die Berechnung aussagt, Cb und Cr hingegen schon. Mit Hilfe dieser beiden Komponenten lassen sich aus den $YCbCr$ Komponenten wieder RGB Komponenten berechnen und andersherum. Warum überhaupt dieser Aufwand?

Auch hier wieder ein Exkurs in die Geschichte: Das Fernsehen begann als Schwarzweißfernsehen und erst 1967 wurde im damaligen Westdeutschland (der Osten folgte 1969) mit der Ausstrahlung von Farbfernsehen begonnen. Die Ingenieure standen vor dem Problem, dass sie ein neues Fernsehsystem schaffen sollten, welches aber mit dem bisherigen System kompatibel sein musste. Es musste also auch Farbfernsehen auf Schwarzweißfernsehern empfangbar sein. Also überlegte man, dass man aus den drei Farbkomponenten R, G und B ein Schwarzweißsignal berechnen könnte. Die Formel dazu lautet: $Y = 0,3 * R + 0,587 * G + 0,113 * B$. Die drei Gewichtungsfaktoren wurden dabei empirisch gewonnen und basieren auf keiner konkreten Theorie („Es sieht einfach ganz ok aus...“) Über zwei weitere Gleichungen lassen sich sogenannte Farbdifferenzen berechnen: Einmal die Blau/Gelb Abweichung von Neutralgrau und einmal die Rot/Türkis Abweichung. Zur Einführung des Farbfernsehens mussten also lediglich die beiden Farbdifferenzkomponenten so in das Fernsehsignal gemischt werden, dass es die Schwarzweißfernseher nicht störte; ein Farbfernseher jedoch konnte aus dem Helligkeitssignal und beiden Farbdifferenzsignalen wieder ein Farbbild machen.

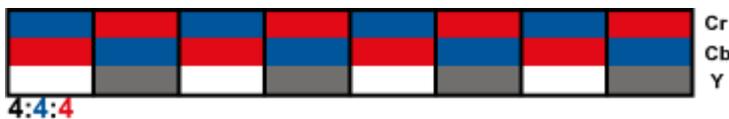


Soviel Aufwand nur wegen ein paar überalteter Fernseher... Nicht ganz. Diese Form der Bildcodierung liefert einen ganz entscheidenden Vorteil: Sie ist besser an das menschliche Auge angepasst, denn im menschlichen Auge gibt es zwei Arten von Sinneszellen: Stäbchen und Zäpfchen. Die Stäbchen sind verantwortlich für das Sehen von Helligkeit, die Zäpfchen für das Farbsehen, wobei es im Auge ca. 120 Millionen Stäbchen, aber nur ca. 6 Millionen Zäpfchen gibt. Das bedeutet, dass das menschliche Auge Helligkeitsschwankungen weitaus besser wahrnimmt als Schwankungen in der Farbe.

Wenn also das Auge Farbe sowieso nicht so gut sieht, dann braucht man theoretisch die Farbinformationen (Cb und Cr) gar nicht so detailliert speichern wie die Hellig-

keitsinformation (*Y*). Genau das wird auch getan: Bei allen Fernsehformaten wird nur halb soviel Farbinformation gesendet wie Helligkeitsinformation.

Dieser Vorgang nennt sich *Chroma Subsampling* – auf Deutsch etwa „Farbunterabtastung“. Wie genau die Farbe aufgelöst wird, wird über einen dreistelligen Code beschrieben: *Y:Cr:Cb*. Der erste Wert gibt eine Anzahl an nebeneinander liegenden Helligkeitswerten vor. Die nächsten zwei Werte geben dann an, wie oft die Farbdifferenzkomponenten gespeichert werden. Nehmen wir das einfachste Beispiel: 4:4:4. Für je vier nebeneinander liegende Helligkeitswerte werden auch vier *Cr* Werte und vier *Cb* Werte gespeichert. In diesem Fall wird nichts eingespart. Wenn nun nur für jeden zweiten Helligkeitswert ein *Cr* und ein *Cb* Wert gespeichert werden soll, dann lautet der Code... 4:2:2. Vier Helligkeitswerte und je zwei *Cr* und zwei *Cb* Werte. In diesem Fall sparen wir schon 33% der nötigen Information ein, ohne dass es dem Auge auffallen würde. Man kann aber noch mehr Daten einsparen, indem man nur jeden vierten *Cb* und *Cr* Wert speichert. Der Code lautet dementsprechend... Richtig: 4:1:1. Die Einsparung beträgt nun 50% der ursprünglichen Datenmenge. Selbst hier sieht das menschliche Auge noch keinen Unterschied. Eine Alternative zur 4:1:1 Codierung ist die 4:2:0 Codierung, welche ziemlich verwirrend klingt, da sie suggeriert, dass die *Cr* Komponente zweimal gespeichert wird und die *Cb* Komponente komplett ignoriert wird. Dem ist natürlich nicht so, denn sonst würde ja Farbinformation verloren gehen. Die *Cr* und *Cb* Werte werden in diesem Fall über zwei Zeilen verteilt in 2x2 Blöcken gespeichert. Die folgende Grafik verdeutlicht das Ganze noch einmal:



Bei den meisten Werbeproduktionen und Fernsehsendern wird das Material in 4:2:2 gespeichert, verarbeitet und gesendet. Material in 4:1:1 und 4:2:0 findet sich hauptsächlich in Videoprodukten im Heimbereich (z.B. bei DV und DVD). Material mit einer vollen Farbunterabtastung findet man sehr selten, hauptsächlich bei Special Effect Aufnahmen (z.B. Greenscreen).

Videosysteme

Generell lassen sich Videosysteme in die folgenden Kategorien unterteilen: SD (*Standard Definition*) und HD (*High Definition*), wobei sich SD wieder in die Normen *PAL* (Europa), *NTSC* (Nordamerika, Japan) und *SECAM* (Frankreich, Osteuropa, Afrika) unterteilen lässt.

Standard Definition Video

Da die beiden Fernsehnormen SECAM und PAL bei digitalem Video identisch sind (unterschiedlich ist nur die Art, wie das Signal gesendet wird) werden sie zusammen betrachtet. Damit verbleiben zwei Standards: PAL und NTSC. Neben vielen technischen Details, die uns nicht zu sehr beschäftigen sollen, gibt es zwischen NTSC und PAL zwei einfache Unterschiede: Die Auflösung des Bildes und die Bildwiederholrate.

Damit das Fernsehbild für das menschliche Auge als Bild und nicht als Punktmuster sichtbar wird, muss es fein genug aufgelöst sein. Die horizontale Auflösungsgrenze des Auges liegt bei einer Bogenminute ($1/60^\circ$). Bei einem angenommenen Abstand der sechsfachen Bildhöhe des Betrachters zum Fernsehschirm, werden ca. 600 Zeilen benötigt.

PAL Video hat eine Auflösung von 720×576 Bildpunkten mit einem Pixelseitenverhältnis von 1,067:1. Rechnet man das Pixelseitenverhältnis in quadratische Pixel um, dann ergeben sich 768×576 Pixel. Wieso? Nun: $720 \times 1,067 \sim 768$. Die Frage, wie groß ein PAL Bild ist, kann also auf zwei Arten beantwortet werden: 720×576 Pixel bei nichtquadratischen Pixeln oder 768×576 Pixel bei quadratischen Pixeln. Die meisten Videoschnittprogramme, wie z.B. Premiere werden die beiden Kombinationen für PAL Bilder anbieten, meist als „PAL“ und „PAL D1/DV“ bezeichnet.

Die Auflösung bei NTSC ist etwas geringer als bei PAL - sie beträgt 640×480 Pixel bei quadratischen Pixeln und 720×480 Pixel bei nichtquadratischen Pixeln, wobei das Pixelseitenverhältnis 0,9 beträgt. Der Grund für das kleinere Bild liegt in der höheren Bildwiederholrate.

Die unterschiedlichen Bildwiederholraten lassen sich auch in diesem Fall wieder geschichtlich erklären. Anders als ein Filmprojektor funktioniert ein Fernseher über eine Bildröhre, welche Wechselstrom benötigt. Die Frequenz des Wechselstroms ist in Europa 50Hz, in Nordamerika 60Hz. Da sich ganzzahlige Teiler und Vielfache von diesen Frequenzen einfach erzeugen ließen, legte man als Bildwiederholrate für den europäischen Raum 25 Bilder/Sekunde und für den amerikanischen Raum ca. 30 Bilder/Sekunde fest. Einige werden jetzt vielleicht einwenden, dass die Bildfrequenz von NTSC aber gar nicht 30 Bilder/Sekunde ist, sondern 29,97! Das ist auch richtig, da die Bildfrequenz mit der Einführung des Farbfernsehens leicht abgeändert wurde. Die Kurzfassung einer langen signaltechnischen Erklärung: Es hätte bei Beibehaltung der alten Bildfrequenz Tonstörungen durch das Hinzufügen der Farbinformation gegeben und so wurde die Bildfrequenz um ein Promille abgesenkt.

Halbbild/Vollbild

Wie wir bereits von der Filmprojektion wissen, beginnen Filme bei geringen Bildwiederholraten in dunklen Räumen an zu flimmern. Genau dasselbe geschieht auch, wenn ein Fernseher nur 25 Bilder in der Sekunde darstellen würde. Erschwerend kommt beim Fernseher aber noch hinzu, dass er nicht wie ein Filmprojektor das Bild auf einmal darstellt, sondern es Zeilenweise auf dem Bildschirm aufbauen muss. Und da die Phosphorschicht in der Bildröhre nicht ewig nachleuchtet, werden die Bildzeilen ganz oben im Bild schon wieder dunkler, während der Kathodenstrahl der Bildröhre noch nicht mal das untere Ende erreicht hat.

Da man früher nicht einfach mehr Bilder pro Sekunde übertragen konnte, dachten sich die damaligen Fernsehtechniker etwas ziemlich geniales aus: Anstatt eines einzelnen Bildes wurden zwei Halbbilder gesendet, wobei das erste Halbbild alle geraden Bildschirmzeilen enthielt, das zweite Halbbild alle ungeraden Zeilen. Auf dem Bildschirm passierte nun Folgendes: Der Kathodenstrahl stellte erst alle ungeraden Zeilen dar, sprang wieder zurück zum Bildanfang und stellte nun alle geraden Zeilen dar. Da nun scheinbar doppelt so viele Bilder dargestellt wurden flimmerte das Bild nicht mehr so stark. Dieses Verfahren wird auch als „Interlacing“ bezeichnet. Da beim Halbbildverfahren die beiden Halbbilder auch zeitversetzt aufgenommen werden können, entsteht außerdem bei 50 Halbbildern ein flüssigerer Bewegungseindruck als bei 25 Vollbildern, was vor allem Sportsendungen zugute kommt.

So vorteilhaft das auf Röhrenmonitoren ist, so nachteilhaft ist es auf Anzeigegeräten, die Bilder nicht zeilenweise sondern immer auf einmal aufbauen, wie z.B. LCD Displays, Beamer oder Ausbelichtungen auf Film. Denn dort müssen jeweils zwei Halbbilder zu einem Vollbild zusammengefasst werden. Da sich aber die beiden Halbbilder unter Umständen um $1/50$ Sekunde unterschieden bilden sich sogenannte „Kammartefakte“, welche auf Vollbilddisplays wiederum flimmern. Über verschiedene Verfahren kann man aus zwei Halbbildern wieder ein Vollbild zurückberechnen. Da diese Verfahren im besten Fall aber nur mit Interpolationen arbeiten, ist das resultierende Vollbild horizontal etwas unschärfer als ein echtes Vollbild.

Transfer Film <-> TV

Da wir nun wissen, dass Film mit 24 Bildern pro Sekunde gefilmt wird, die gängigen Fernsehformate aber 25 bzw. 29,97 Bilder pro Sekunde benötigen, stellt sich die Frage, wie man nun einen Kinofilm im Fernsehen zeigen kann (oder auf DVD). Beim PAL Fernsehstandard ist die Lösung sehr einfach. Der Film wird einfach etwas schneller abgespielt – statt mit 24 einfach mit 25 Bildern pro Sekunde. Dadurch ergeben sich drei kleine Nachteile, die aber in der Praxis vernachlässigbar sind: Der Film hat eine ca. 4% kürzere Spielzeit, was vor allem bei begeisterten Filmfans schnell zum Vorwurf einer gekürzten Fassung führt; alles bewegt sich etwas schneller und der Ton wird etwas höher. Dieser Effekt ist auch als „PAL - Speedup“ bekannt. Bei NTSC wird die Sache komplizierter. Da es unmöglich ist, den Film auf annähernd 30 Bilder pro Sekunde zu beschleunigen, musste eine andere Lösung gefunden

werden: Der *3:2 Pulldown*. Zunächst wird der Film etwas verlangsamt mit 23,97 Bildern pro Sekunde abgespielt. Dann wird das erste Vollbild des Films auf 2 Halbbilder verteilt, das zweite Vollbild auf 3 Halbbilder.

High Definition Video

Als Weiterentwicklung des „alten“ SD-TVs wird seit mittlerweile 30 Jahren international HD-TV getestet und auch teilweise eingesetzt. Trotz jahrelangem Nischendasein scheint es so, als wäre die Welt nun dank der Standardisierung der digitalen HD-Formate endlich reif für hochaufgelöste Fernsehbilder. Anders als bei SD-TV werden HD-Bilder durchgängig im Bildseitenverhältnis von 16:9 dargestellt, wodurch die Bildinhalte mehr den Sehgewohnheiten der Filmwelt entsprechen. Durch die höhere Auflösung der Bilder ist es außerdem möglich, größere Fernseher zu verwenden oder den Bildabstand zu reduzieren wobei bei HD-TV der optimale Bildschirmabstand nur noch die dreifache Bildschirmhöhe beträgt (bei SD-TV sechsfach). Leider hat sich mit der Einführung von HD-TV kein einheitliches Bildformat etabliert, und so stehen neben mehreren Bildwiederholraten, der Wahl zwischen interlaced und progressive auch verschiedene Bildauflösungen zur Auswahl, allerdings wurde ein Benennungsschema etabliert durch welches diese drei Parameter schnell erkennbar werden. Im europäischen Raum kommen entsprechend des Vorschlags der EBU für Fernsehübertragungen sowieso nur zwei HD-Formate in Frage: 720p/25 und 1080i/50, beide werden auch als HD1080i und HD720p bezeichnet. HD1080i enthält entsprechend des Namensschemas 1080 Bildzeilen, welche interlaced gesendet werden und zwar als 50 Halbbilder pro Sekunde. Bei HD720p sind es dann 720 Zeilen, die 25 mal in der Sekunde progressiv übertragen werden. Im US-amerikanischen Raum werden es vermutlich die Formate 1080i/60 und 720p/30 werden. Als zusätzlicher Standard könnte sich 1080p/24 durchsetzen, da es von der Bildfrequenz dem Kinofilm entspricht und somit vor allem für Filmproduktionen auf Video interessant wird.

Videokompression

Bevor wir uns den einzelnen digitalen Videoformaten widmen können, ist ein kleiner Exkurs in die Welt der Videokompression empfehlenswert. Die Frage nach der Notwendigkeit kann mit einem kleinen Rechenbeispiel beantwortet werden: Eine Sekunde digitalisiertes Video beinhaltet 25 Bilder, wobei jedes dieser Bilder 720x576 Bildpunkte groß ist und jeder Farbkanal (Rot, Grün, Blau) 256 Abstufungen hat, welche sich mit je 8 Bit, also einem Byte codieren lassen. Eine Sekunde PAL Video würde also $25 \times 720 \times 576 \times 3$ Bytes belegen, was umgerechnet 29,66 MB entspricht. In der heutigen Zeit sind 30MB/s nicht besonders aufregend, aber als in der ersten Hälfte der 90er Jahre die ersten Technologien für digitales Video marktreif wurden, waren Festplatten noch in der Größe von maximal 500 – 1000MB erhältlich. Damit wäre es also möglich gewesen, sage und schreibe 15-33 Sekunden Video zu speichern, was alles andere als praktisch gewesen wäre.

Wie kann man nun also Videodaten so komprimieren, dass sie weniger Platz beanspruchen? Durch zwei Arten der Datenreduktion: *Redundanzreduktion* und *Irrelevanzreduktion*.

Redundanzreduktion bedeutet, dass man z.B. einer langen Zeichenkette, die immer wieder auftaucht, ein bestimmtes kurzes Codewort gibt, und dann jedes Mal statt der langen Zeichenkette das kurze Codewort benutzt. Man kann sich das wie die Verw. v. Abk. vorst. Und genauso wie bei Abkürzungen muss man irgendwo vereinbaren oder speichern, welches Codewort welche Zeichenkette kodiert. Das bekannteste Verfahren, das solche Codewörter benutzt, wird in ZIP-Dateien verwendet. Ein weiterer Algorithmus zur Redundanzreduktion ist z.B. der RLE Algorithmus der auch bei RAR Dateien verwendet wird. Der Vorteil der Redundanzreduktion ist, dass die Daten exakt wieder herstellbar sind. Dafür lässt sich die Datei auch nicht allzu stark komprimieren (Kompression etwa 1:2)

Die Irrelevanzreduktion geht einen anderen Weg. Bei vielen multimedialen Daten ist es gar nicht nötig, dass sie hundertprozentig exakt wiederherstellbar sind. Die Überlegung ist nun also, dass man Daten, die die menschlichen Sinne gar nicht bemerken, auch gar nicht speichern muss. Einen Ansatz haben wir bereits kennengelernt: Die Farbwahrnehmung des menschlichen Auges. Das menschliche Auge hat noch mehr Schwächen, die allesamt in modernen Bild- und Videokompressionsverfahren ausgenutzt werden. Auch können mittels mathematischer Modelle bestimmte Informationen im Bild effizienter gespeichert werden, sodass es gar nicht nötig ist, jeden einzelnen Bildpunkt zu speichern, sondern Blöcke von einzelnen Bildpunkten, die über eine Formel beschrieben werden können. Diese Blöcke werden als *Makroblöcke* bezeichnet und sind meist 8x8 Pixel groß. Irrelevanzreduktion findet sich z.B. in JPEG Dateien.



Diese Verfahren komprimieren immer innerhalb eines einzelnen Bildes, weshalb man sie als *Intraframecodierung* bezeichnet (intra = innerhalb). Da Film aber eine Reihe von Bildern darstellt, lassen sich noch mehr Daten einsparen. In vielen Filmsequenzen ändern sich immer nur kleine Teile des Bildes. Es liegt also nahe, ein Bild komplett zu speichern und dann in den folgenden Bildern nur noch die Teile zu spei-

chern, die sich ändern. In diesem Fall wird von *Interframecodierung* gesprochen (inter = zwischen).

Intraframecodierung wird bei heutigen Videokompressionsverfahren vor allem bei DigiBeta, IMX und DV/DVCAM/HDCAM verwendet. Interframecodierung findet sich bei MPEG2 (DVDs, BlueRayDisc und HDV) sowie MPEG4 (z.B. DIVX, HD-DVD und AVCHD).

Interframecodierung bietet den Vorteil, dass die Kompression stärker ist als bei der Intraframecodierung. So kann z.B. bei HDV dieselbe Kassette mit derselben Laufzeit verwendet werden wie bei DV. Dafür hat interframecodiertes Material aber auch einen gravierenden Nachteil: Da hier einzelne Bilder von den vorhergehenden Bildern abhängen – es werden ja nur die Unterschiede, nicht aber die ganzen Bilder gespeichert – ist ein bildgenauer Schnitt nicht ohne weiteres möglich. Heutige Schnittsoftware täuscht allerdings darüber hinweg und simuliert einen bildgenauen Schnitt.

Probleme ergeben sich mit Kompressionsverfahren im Allgemeinen auch bei der Beständigkeit gegenüber Datenfehlern. Ein einziges Bit, das fehlerhaft übertragen wird (ein sog. *Drop-Out*), kann somit unterschiedliche Auswirkungen haben: Bei unkomprimiertem digitalen Video wird ein Bitfehler keine Auswirkung haben, da es im schlimmsten Fall zu einer Veränderung der Farbe oder der Helligkeit eines einzigen Bildpunktes kommt. Bei intraframecodiertem Video ist die Auswirkung schon gravierender, da hier gleich ein ganzer 8x8 Pixel Makroblock fehlerhaft wird.



Am verhängnisvollsten wird sich der Bitfehler auf interframecodiertes Video auswirken, da hier nicht nur der entsprechende Makroblock, sondern auch alle folgenden, auf diesem fehlerhaften Block aufbauenden Bilder den Fehler enthalten. Je stärker also das Material komprimiert wird, desto extremer fällt der Fehler auf.

Digitale Videoformate

Mit diesem Wissen über Videokompressionstechniken gewappnet, können wir uns nun genauer den gängigsten digitalen Videoformaten nähern.

DV/DVCAM

Die meisten Menschen werden sicherlich schon mal etwas von DV/DVCAM oder MiniDV gehört haben. Es ist das am weitesten verbreitete Format zur Aufzeichnung von digitalem Video und wird heute in den meisten Camcordern und semi-professionellen Kameras verwendet. DV zeichnet PAL Video mit 720x576 Pixeln bei 50 Halbbildern pro Sekunde mit 4:2:0 Farbunterabtastung und NTSC mit 720x480 bei 59,94 Halbbildern mit 4:1:1 Farbunterabtastung auf. DV zeichnet eine Stereospur

mit 16Bit/48kHz Ton auf – alternativ können zwei Stereospuren mit 12Bit/32kHz Ton aufgezeichnet werden. Bei MiniDV gibt es kleine Kassetten mit Laufzeiten von 60 und 80 Minuten, die großen Kassetten zeichnen bis zu 184 Minuten auf. Für den professionellen Bereich wurde von Sony das DVCAM Format eingeführt, welches u.a. das Band 50% schneller abspielt (was die Fehlertoleranz erhöht). Der Audio-/Videodatenstrom ist ansonsten identisch, aber die Bandlaufzeit reduziert sich entsprechend um 50%.

Die Videodaten werden bei DV auf etwa ein Zehntel komprimiert. Zunächst wird die Chrominanzinformation reduziert (Chroma Subsampling), dann wird eine *Diskrete Cosinus Transformation* angewandt um die Daten per Intraframecodierung auf eine Datenrate von 25MBit/s zu komprimieren. Die Audiodaten werden unkomprimiert als PCM Daten gespeichert. Eine Minute DV Material benötigt ca. 0,2GB Speicher, eine Stunde etwa 13GB.



DVCPRO-25/50

Die von Panasonic eingeführte Variante von DV für den professionellen Bereich heißt DVCPRO-25. Auch hier ist der Dateninhalt gleich, lediglich die Art die Daten auf die Kassette zu speichern ist anders. Bei DVCPRO-50 ist hingegen auch der Videodatenstrom anders. Da hier 50MBit/s zur Verfügung stehen, werden die Videodaten zum einen nur auf etwa ein sechstel komprimiert und das Signal wird 4:2:2 abgetastet, was das Format vor allem für Bereiche interessant macht, wo es viel um Farbe geht (z.B. Greenscreen)

DigiBeta

Digital Betacam ist der Nachfolger des im professionellen Bereich weit verbreiteten analogen BetaCam SP. DigiBeta zeichnet PAL Video mit 720x576 Pixeln bei 50 Halbbildern pro Sekunde und NTSC Video mit 720x480 Pixeln bei 59,94 Halbbildern pro Sekunde mit einer 4:2:2 Farbunterabtastung auf und quantisiert das Videosignal nicht wie DV mit nur 8 Bit, sondern mit 10 Bit, wodurch Helligkeits- und Farbabstufungen wesentlich differenzierter aufgenommen werden können. DigiBeta findet sich vor allem bei Sendeanstalten und im professionellen Bereich wieder, da es für den Heimanwender aufgrund der enormen Kosten für Kameras und Zuspieler unerschwinglich ist.



IMX

Das Interoperability Material Exchange Format ist ein Videoformat, das von Sony für den professionellen Sendebetrieb eingeführt wurde. Es speichert Videodaten mit einer 4:2:2 Farbunterabtastung und einer Kompression von 6:1 (50MBit/s). Anders als bei DV wird bei IMX jedoch MPEG-2 zur Kompression der Videodaten genutzt. Es werden allerdings nur sogenannte I-Frames gespeichert und keine IBP-GOPs. Damit lässt sich IMX, anders als z.B. HDV, bildgenau schneiden.



XDCAM

XDCAM ist ein von Sony eingeführtes Aufzeichnungssystem für den professionellen Sendebetrieb, welches Videodaten auf eine optische Disc aufzeichnet, die Professional Disc. Die Videodaten werden als DV- oder IMX Daten auf der Disc abgespeichert. Das besondere bei XDCAM ist, dass die Kameras automatisch eine



stärker komprimierte Vorschauversion des Materials erzeugen. Diese Daten können dann an Redaktionen und Newsrooms z.B. über das Internet übertragen werden. Die Redaktionen können dann mit der Vorschauversion den Beitrag bereits schneiden bis das Band eintrifft. XDCAM selbst codiert keine Daten, sondern nutzt andere Kompressionsverfahren wie DV oder IMX. Dadurch kann mit XDCAM auch HD Material gespeichert werden. Da XDCAM kein Band verwendet, sind die Daten sofort als Dateien verfügbar und müssen nicht erst via Firewire o.ä. ins Schnittsystem kopiert werden.

HDV

HDV ist ein von Sony und JVC entwickeltes Aufzeichnungssystem zur Aufnahme von HD-TV Material, vor allem für den Heimbereich. Die Aufzeichnung erfolgt auf herkömmlichen MiniDV Kassetten (aber auch auf Festplatten, Flash-Speichern oder DVDs)

HDV zeichnet sowohl HD720 als auch HD1080 auf, wobei HD720 von JVC und HD1080 von Sony favorisiert wird. HD720 wird mit Bildwiederholraten von 25, 30, 50 oder 60 Vollbildern pro Sekunde aufgezeichnet, wobei die Aufzeichnung von 60 Vollbildern pro Sekunde sehr saubere Zeitlupen ermöglicht. Das Bild ist 1280x720 Pixel groß, die Pixel sind quadratisch. Abweichend davon wird HD1080 nicht mit quadratischen Pixeln aufgezeichnet: Statt der vollen Bildgröße von 1920x1080 wird das Bild seitlich auf 1440x1080 zusammengestaucht. Bei der Wiedergabe wird es dann einfach wieder seitlich gestreckt. Das Material wird bei HD1080 in Halbbildern aufgezeichnet, und zwar mit 50 oder 60 Halbbildern pro Sekunde.

Da MiniDV Kassetten eine feste Datenrate von 25MBit/s bieten und HD-TV Bilder aber viel größer sind als SD-TV Bilder, kommt bei HDV ein stärkeres Kompressionsverfahren als bei DV zum Einsatz: Das von den DVDs bekannte MPEG-2. Anders als bei IMX werden allerdings nicht nur I-Frames gespeichert, sondern auch sogenannte P- und B-Frames. Das sind Bilder, die mathematisch aus I-Frames abgeleitet werden. Der Kompressionsalgorithmus speichert in diesen Bildern nicht mehr die Bildinformationen selbst, sondern lediglich wohin sich einzelne Bildbestandteile aus einem vorherigen I-Frame verschoben haben.

Das bietet den Vorteil, dass keine neuen Kassetten produziert werden müssen und HDV Kameras auch DV aufzeichnen können. Die Nachteile liegen allerdings im Kompressionsverfahren: Bei Aufnahmen von Motiven, bei denen sich viel bewegt, z.B. Feuer, Rauch, Regen oder im Wind wiegende Felder, zeigen sich schnell Kompressionsartefakte. Das Bild „zerfällt“ förmlich in einzelne Makroblöcke. HDV verwirft sehr viel Information, die für das Auge zwar nicht sichtbar sind, aber die durchaus in der Postproduktion von Bedeutung sind. Farbkorrekturen sind nur noch sehr eingeschränkt möglich. Daher ist HDV eher für Heimanwender zu empfehlen, die außer reinem Schnitt nichts mit dem Material machen möchten.

HDCAM/HDCAM-SR

HDCAM wurde als HD Format für professionelle Anwendungen entwickelt. Es zeichnet HD-TV als HD1080 mit Bildfrequenzen von 23.98, 24, 25 und 29.97 Vollbildern sowie 50 und 59.94 Halbbildern pro Sekunde auf. Ähnlich wie bei HDV wird auch bei HDCAM das Bild erst auf 1440x1080 Pixel gestaucht bevor es mit einer Videodatenrate von 185MBit/s auf Band oder Festplatte aufgezeichnet wird. Die Bilder werden dabei allerdings nicht wie bei HDV mit MPEG-2 komprimiert, sondern wie bei DV über eine diskrete Kosinustransformation.



Als Weiterentwicklung von HDCAM kam 2003 HDCAM SR auf den Markt, wobei hier kein Komponentensignal (*YCrCb*) aufgezeichnet wird, sondern ein echtes RGB Bild mit der vollen Auflösung von 1920x1080 Pixeln. Es erfolgt keine (!) Farbunterabtastung – das Material wird 4:4:4 gespeichert. Dafür wird allerdings MPEG-4 zur Kompression der Daten verwendet. HDCAM SR ist dadurch sehr gut geeignet für Special Effects Aufnahmen (z.B. Greenscreen).

Besonders interessant ist bei beiden Formaten die Möglichkeit, das digitale Videosignal vor der Kompression über den HD-SDI Anschluss der Kamera abzugreifen und das Signal in voller Bandbreite (1,5GBit/s) auf Festplatten aufzuzeichnen.

HDCAM ist zurzeit der Standard bei der digitalen Spielfilmproduktion. Aufgrund der enormen Preise für Anschaffung und Leihe ist HDCAM jedoch für den Heimgebrauch und für Independentfilmer nicht unbedingt erschwinglich.

AVCHD

Das neueste Aufzeichnungsformat für HD-TV im Heimbereich wurde im Jahr 2006 von Sony und Panasonic veröffentlicht. AVCHD nutzt anstelle von Kassetten ausschließlich Festplatten, DVDs und Flash-Speicher für die Aufzeichnung von HD-TV Material. Für die Kompression wird MPEG-4/AVC verwendet, wobei die Gesamtdatenrate (Ton also inklusive) bei 25MBit/s liegt. Es kann neben HD720 (24, 50 und 60 Vollbilder pro Sekunde) und HD1080 (24 Voll- oder 50 bzw. 60 Halbbilder pro Sekunde) auch in PAL und NTSC aufgenommen werden. Aufgrund der starken Kompression ist es genauso wie HDV für den Consumermarkt bestimmt. Die Bildqualität dürfte aufgrund des besseren Kompressionsverfahrens bei gleichbleibender Datenrate etwas besser sein als HDV. Da nicht auf Bändern aufgezeichnet wird, sind die Videodaten direkt als Dateien gespeichert und können ohne Umwege ins Schnittsystem gebracht werden.