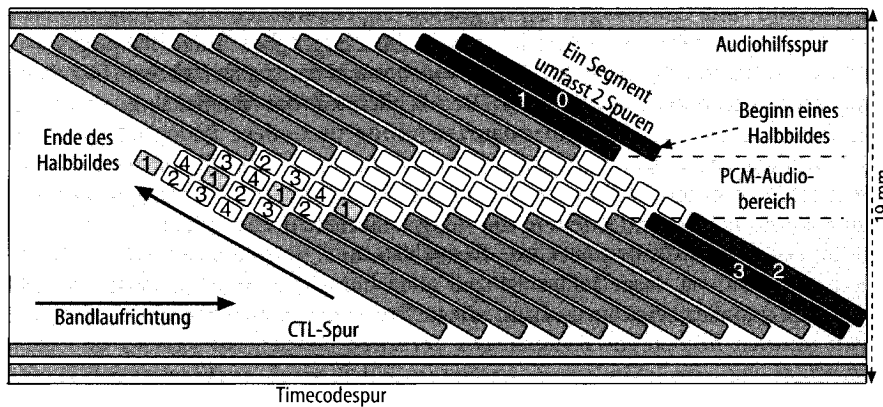


## Digitale Magnetbandaufzeichnung

Die Vorteile und Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung wurden bereits weiter vorne vorgestellt. Die Vorteile sind insbesondere bei Aufzeichnungssystemen so umfassend, dass künftige Videoaufzeichnungsverfahren fast ausschließlich digital arbeiten werden. Die Möglichkeit der Vermeidung von Qualitätsverlusten hat bei Magnetbandaufzeichnung besondere Bedeutung, da hier im Vergleich zu anderen Signalverarbeitungsstufen das Signal recht stark durch schlechten Signal/Rauschabstand und Drop Out etc. beeinträchtigt wird. Hinzu kommen Besonderheiten der Magnetaufzeichnung allgemein und des mechanischen Bandtransports mit Servosystemen und Spurabtastung, die auch bei digitalen MAZ-Systemen gelten. Die Digitalaufzeichnung kann diese Probleme nicht umgehen, aber die Daten können mit einem Fehlerschutz versehen werden, so dass in den meisten Fällen eine vollständige Korrektur möglich wird, auch wenn z. B. eine Spur nicht optimal abgetastet wird. Damit müssen auch die Kalibrierungs- und Säuberungsmaßnahmen an den MAZ-Maschinen nicht bis zur letzten Präzision durchgeführt werden, so dass als sich als zweiter wesentlicher Vorteil der geringere Wartungsaufwand ergibt. Die Digitaltechnik bietet als weiteren Vorteil die Möglichkeit zu einer effektiven Datenreduktion, die auch bei der Videosignalaufzeichnung eine wichtige Rolle spielt, außerdem ermöglicht sie die einfache Datenspeicherung auf Platten. Aufgrund des schnellen (nonlinearen) Datenzugriffs gewinnt diese Form (tapeless) zunehmend an Bedeutung. Die digitale Videotechnik verbindet sich eng mit der Computertechnik.

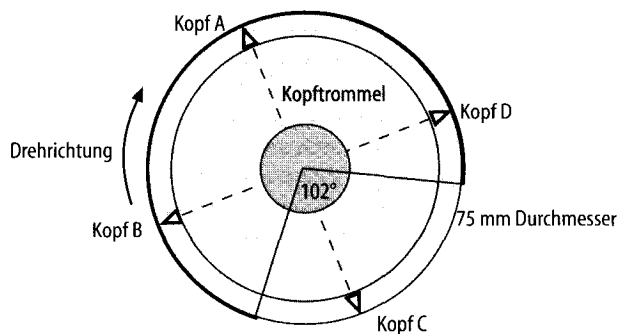
Die digitale Aufzeichnung ist den Eigenschaften der magnetischen Aufzeichnung sehr gut angepasst, denn den zwei logischen Signalzuständen Null und Eins werden einfach die magnetischen Polarisationsrichtungen Nord und Süd zugeordnet. Um eine der hohen Datenrate entsprechende Aufzeichnungsdichte zu erzielen, muss sehr hochwertiges Bandmaterial verwendet werden. Damit können die magnetisierten Bereiche und die kürzesten Band-Wellenlängen klein werden. Innerhalb des Bereichs einer Bandwellenlänge können zwei Bit aufgezeichnet werden. Gegenwärtig sind Bandwellenlängen bis hinab zu ca.  $0,5 \mu\text{m}$  realisierbar.

Das Zeitraster des Analogsignals (Zeilendauer) wird beim Digitalsignal irrelevant, da das gesamte Signal durch die Abtastung einem neuen, extrem feinen Raster unterliegt. Damit besteht die Möglichkeit, die Daten fast beliebig umordnen zu können. Die zeitliche Reihenfolge muss nicht mehr beachtet werden, es muss nur bekannt sein, wie die Daten vor der Wiedergabe zurück geordnet werden müssen. Dies gilt auch für das Audiosignal. Video- und Audiodaten sind gleich und können in beliebige Multiplexanordnungen gebracht werden. Die feine Rasterung erlaubt vielfältige Wahlmöglichkeiten bei der Aufteilung und Segmentierung der Daten. Im Gegensatz zur Analogaufzeichnung bringt es keine Vorteile, wenn jedes Halbbild genau auf einer Spur aufgezeichnet wird. Es wäre praktisch auch kaum realisierbar, die Daten eines Halbbildes auf nur einer Spur aufzuzeichnen, denn ein Halbbild von 20 ms Dauer umfasst z. B. bei der für das Format D1 aufgezeichneten Datenrate von fast 230 Mbit/s etwa 4,6 Mbit. Ausgehend von einer Bandwellenlänge von  $0,9 \mu\text{m}$  (D1-Format) bzw. einer Aufzeichnung von  $2,2 \text{ bit}/\mu\text{m}$  ergäbe sich eine Spurlänge von 2,1 m. Die Daten eines Halbbildes werden daher in Segmente aufgeteilt, die wiederum verschiedenen Spuren zugeordnet werden, die mit mehreren Köpfen abwechselnd geschrieben werden. Bei den Digital-Formaten werden zwischen 6 und 16, beim HDTV-Format D6 sogar 48 Schrägspuren verwendet, um ein Halbbild aufzuzeichnen.



**Bild:** Spurzuordnung und Halbbildsegmentierung beim D1-Format

Die Abbildung oben zeigt die Halbbildsegmentierung beim Format D1. Die aufgezeichneten 300 Zeilen pro Halbbild werden in sechs Segmente mit jeweils 50 Zeilen aufgeteilt. Die Segmente sind wiederum auf zwölf Spuren verteilt.



**Bild:** Kopftrummel und Umschlingung beim D1-Format

Die Abbildung oben zeigt, dass die D1-Kopftrummel mit vier Köpfen bestückt ist. Sie muss mit 150 Umdrehungen/s rotieren, damit die zwölf Spuren in einer Halbbilddauer von 20 ms geschrieben werden können. Durch die Freiheit bei der Umordnung der Daten ist es möglich, digitale Videorecorder durch einfache Umschaltung sowohl für Videosignale im europäischen 625/50-Format als auch in US-Format mit 525 Zeilen und 59,94 Hz zu nutzen. Für das 525-System werden für jedes Halbbild 5/6 der Spuren des 625-Systems verwendet. (z. B. 6 Spuren in Europa, 5 in USA). Die meisten digitalen Videorecorder können beide Formate aufzeichnen und wiedergeben, was allerdings nicht bedeutet, dass sie zur Formatkonversion eingesetzt werden können.

Die Tabelle auf der nächsten Seite bietet eine Übersicht über die Digitalformate. Die sechs für den Broadcast-Einsatz konzipierten digitalen Magnetbandaufzeichnungsformate haben die Bezeichnungen D1-D5, DCT und Digital Betacam. Zusätzlich steht das Format D6 für die Aufzeichnung von HDTV-Signalen zur Verfügung. Die Bezeichnung D4 wird nicht verwendet.

Format	D1	D2	D3	D5	DCT	D-Beta	DV	D9	B-SX
Videosignalart	Komp	FBAS	FBAS	Komp	Komp	Komp	Komp	Komp	Kom.
Quantisierung (Bit)	8	8	8	10	8	10	8	8	8
Datenreduktion	–	–	–	–	2:1	2:1	5:1	3,3:1	10:1
Audiokanäle	4	4	4	4	4	4	2	2/4	4
Bandbreite (mm)	19	19	12,7	12,7	19	12,7	6,3	12,7	12,7
max. Spieldauer (Min.)	94	207	245	123	187	124	270	104	184
Hersteller	Sony	Ampex BTS	Panas. Sony	Panas. JVC	Ampex JVC	Sony	div.	JVC	Sony

Tabelle: Übersicht über die Digitalformate

Die Digitalformate Di—D6 arbeiten ohne Datenreduktion, die Formate Di, D5 und D6 zeichnen dabei ein digitales Komponentensignal auf. Die Formate D2 und D3 sind für die Aufzeichnung eines digitalen Composite-Signals vorgesehen.

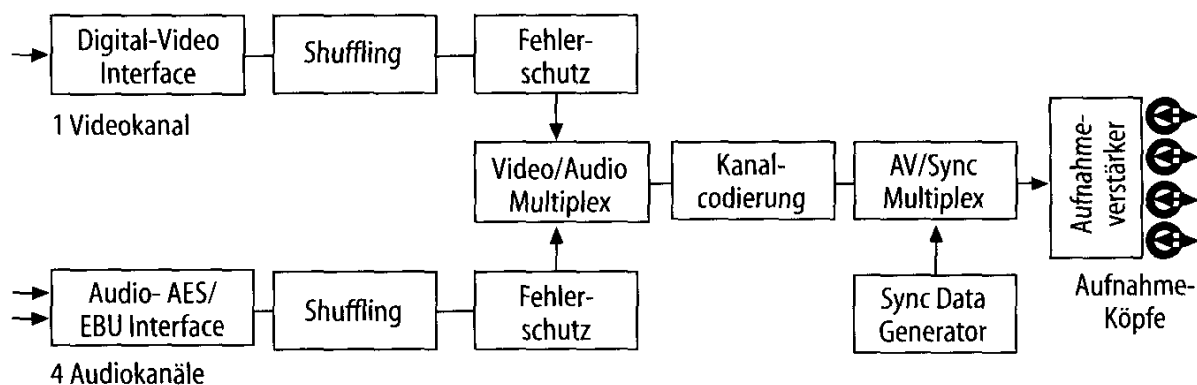
DCT, Digital Betacam und alle neueren Formate arbeiten mit Komponentensignalen, dabei wird für DCT und Digital Betacam eine Datenreduktion von 2:1 eingesetzt. Abgesehen von einigen selten eingesetzten digitalen HDTVRecordern arbeiten alle digitalen Magnetbandaufzeichnungsformate mit Kassetten. Die Breite des Bandes beträgt 19 mm bzw. 3/4“ (Di, D2, D6, DCT), 1/2“ (D3, D5, Digital Betacam, Betacam SX, D9) oder 1/4“ (DVC).

## Signalverarbeitung

Fast alle digitalen Videorecorder enthalten Analog/Digital- und D/A-Wandler, damit sie in eine analoge Umgebung eingebunden werden können. Hier wird ein Digitalsignal gewonnen, indem zunächst das analoge Signal zeitlich diskretisiert wird, dabei bleibt es aber wertkontinuierlich (Puls Amplituden Modulation, PAM). Bei PAM sind noch unendlich viele Werte erlaubt, die beim Übergang zur Digitalform in eine begrenzte Anzahl von Klassen eingeteilt werden. Anstelle der Amplitudenwerte wird die Klassennummer codiert und binär übertragen. Auf der Empfängerseite wird daraus der Klassenmittelwert regeneriert. Der wirkliche Signalwert weicht dabei oft vom Klassenmittelwert ab, so dass sich auf der Empfangsseite ein Quantisierungsfehler ergibt, der um so kleiner wird, je größer die Klassenzahl gewählt wird. Der Quantisierungsfehler äußert sich unter Umständen als eine Art Rauschen, die Klassenzahl kann jedoch so groß gewählt werden, dass es kleiner ist als das in der Analogtechnik auftretende Rauschen. Die Daten werden ggf. noch einer Verarbeitungsstufe zur Datenreduktion zugeführt und liegen dann als paralleler oder serieller Bitstrom vor.

Bevor dann die Video- und die gleichwertig behandelten Audiodaten den Magnetkopf erreichen, ist es erforderlich, sie wie im analogen Fall mit Hilfe der Signalverarbeitung den besonderen Eigenschaften des Übertragungskanal anzupassen. Bei der Analogaufzeichnung müssen vor allem die Grenzfrequenzen und die nichtlineare Kennlinie berücksichtigt werden, dies geschieht durch FM-Aufzeichnung. Bei der Digitaltechnik wird die Anpassung an die Übertragungseigenschaften des Systems durch die Kanalcodierung vorgenommen. Die Nichtlinearität der Magnetisierungskennlinie ist hier kein Problem, da ja nur zwei Zustände unterschieden werden müssen, aber die Grenzfrequenzen des Kanals müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Der zweite wichtige Punkt ist die Berücksichtigung der typischen Fehler die der Übertragungskanal hervorruft. Diese

können durch die sog. Forward Error Correction (FEC) bereits vor der Aufzeichnung berücksichtigt werden, so dass sie bei der Wiedergabe korrigiert werden können. Bei Digitalsystemen die datenreduzierte Signale aufzeichnen, muss die Signalverarbeitung ggf. auch noch die entsprechende Quellencodierung umfassen. Als Reduktionsverfahren kommt in den meisten Fällen die Diskrete Cosinus Transformation mit nachgeschalteter VLC und RLC zum Einsatz. Über einen steuerbaren Quantisierer wird dabei die für die Aufzeichnung erforderliche konstante Datenrate erzielt. Professionelle digitale Aufzeichnungsgeräte arbeiten höchstens mit einem Kompressionsverhältnis von 2:1 (DCT, Digital Betacam), Geräte für den Professional-Sektor dagegen mit Verhältnissen bis 5:1 (DV, D9) oder mehr (Betacam SX). Insgesamt besteht die Aufgabe der Signalverarbeitung also darin, die logisch zusammengehörigen Daten im Hinblick auf einen effektiven Fehlerschutz zu erweitern und umzuordnen (Shuffling, s. u.). Im Multiplexer werden dann der Video- und Audiodatenstrom zusammengefasst.



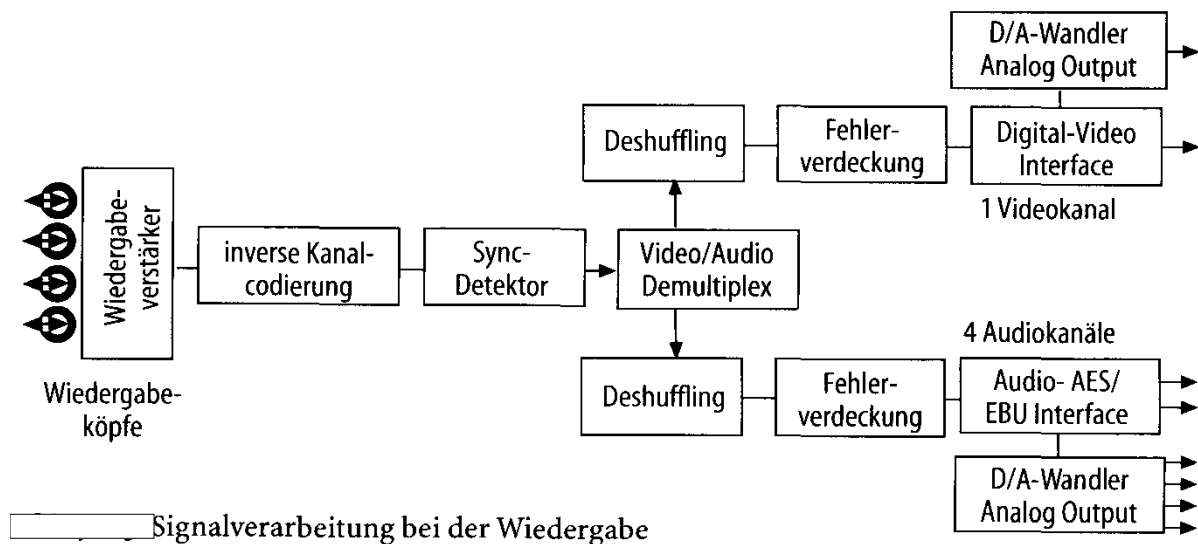
Darüber hinaus hat die Signalverarbeitung im wesentlichen nur noch die Aufgabe, die Daten der Kanalcodierung entsprechend umzuordnen, wobei die Wahl der Kanalcodierung von dem jeweils entstehenden Signalspektrum und dem Fehlerschutz bestimmt ist. Bevor die Daten schließlich zu den Aufnahmeverstärkern gelangen, wird der serielle Datenstrom durch Sync-Bytes erweitert, damit die umgeordneten und mit Fehlerschutz versehenen Daten eine Struktur erhalten, die es ermöglicht, die Daten zu erkennen und richtig zuzuordnen. Die Struktur wird in Form einer Paketierung durch die Bildung von Sync-Blöcken erreicht, die die kleinsten erkennbaren Datenmengen darstellen. Am Beispiel des D1-Formats zeigt die untenstehende Abb., dass den Nutzdaten mehrere Sync-, ID- und Prüf-Bytes zugesetzt werden, so dass ein Sync Block aus 134 Bytes besteht. Damit wird ermöglicht, einerseits die Position des Sync-Blocks selbst zu erkennen und andererseits die Daten innerhalb des Blocks den richtigen Bildpunkten zuzuordnen, so dass auch bei veränderter Wiedergabegeschwindigkeit (Suchlauf), bei der die Köpfe nicht auf der Spur gehalten werden können, ein erkennbares Bild erzeugt werden kann.

Sync-Bytes (2)	ID-Bytes (4)	Daten-Bytes (60)	Prüf-Bytes (4)	Daten-Bytes (60)
----------------	--------------	------------------	----------------	------------------

**Bild:** Sync-Block beim D1-Format

Im Wiedergabeweg müssen die Daten im wesentlichen zurück geordnet werden und durchlaufen die oben beschriebenen Stufen mit inverser Funktion, bis sie schließlich den

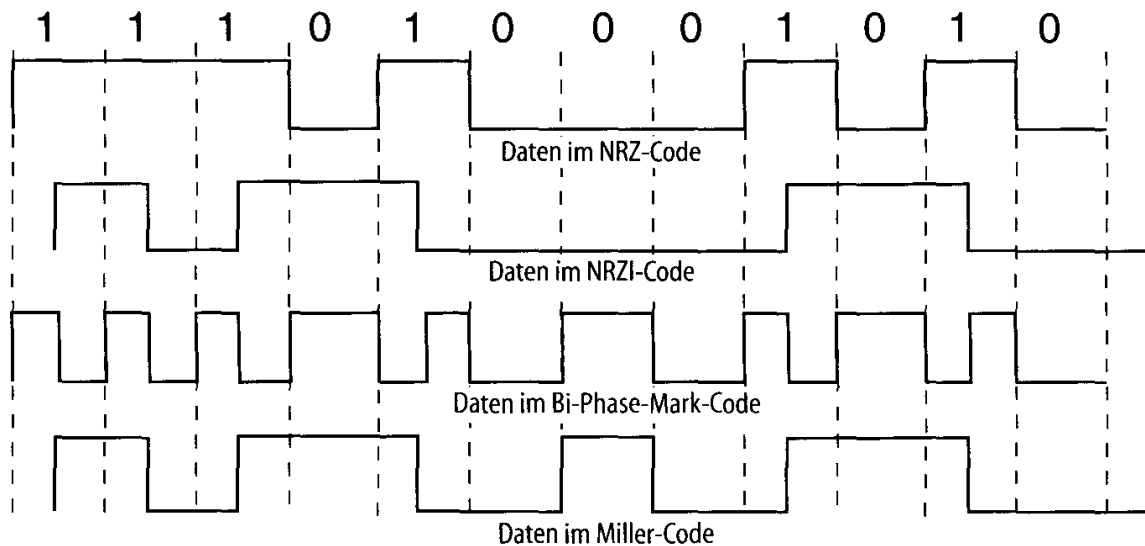
Video/Audio-Demultiplexer und ggf. die D/A-Wandler erreichen. Bei der Einbindung digitaler Recorder in Studiosysteme ist zu bedenken, dass im Gegensatz zu Analogrecordern die Signalverarbeitung mit einer Zeitverzögerung von ca. einer Bilddauer verbunden ist. Zeitsynchrone Audio- und Begleitsignale müssen dementsprechend ggf. um die gleiche Zeit verzögert werden. Die Signalverarbeitung bei der Wiedergabe ist in Abb. unten dargestellt.



### Kanalcodierung

Das einfache digitale Signal ist häufig dem Übertragungskanal schlecht angepasst. Es wird daher umgeformt und unter Berücksichtigung des Fehlerschutzes wird eine Kanalcodierung vorgenommen. Codierung bedeutet in diesem Zusammenhang Veränderung des Datenstroms durch Umordnung und Einfügen von Bits derart, dass sich der Originaldatenstrom eindeutig rekonstruieren lässt. Die Kanalcodierung wird im Hinblick auf folgende Aspekte vorgenommen: hinsichtlich der Möglichkeit der Taktgewinnung aus dem Signal selbst, der spektralen Verteilung mit höchster zu übertragender Frequenz und der Gleichwertanteile und Polarität.

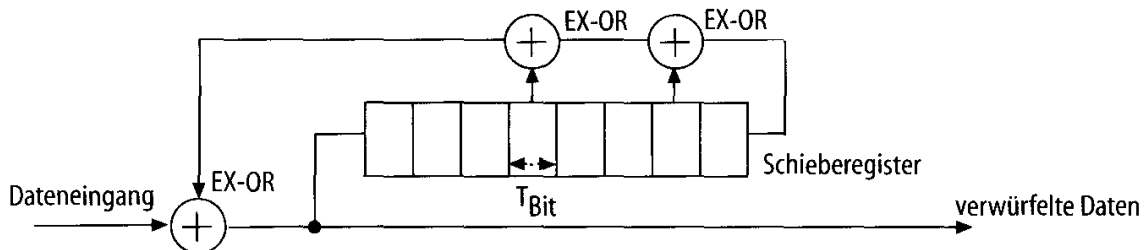
Ein einfaches Beispiel ist der RZ-Code. Hier wird nach jeder 1 das Bit auf Null zurückgesetzt (Return to Zero). Die höchsten Spektralanteile ergeben sich bei einem laufenden Wechsel zwischen 0 und 1. Wird das Signal dagegen bei aufeinanderfolgenden High-Zuständen nicht zurückgesetzt, so ergibt sich der NRZ-Code (Non Return to Zero) mit der halben oberen Grenzfrequenz, verglichen mit RZ NRZ ist ein sehr simpler Code, aber weder selbsttaktend noch gleichspannungsfrei. Im Spektrum sind niederfrequente Anteile stark vertreten, was bei der Wiedergabe wegen des Induktionsgesetzes zu geringen Spannungen führt. Die spektrale Verteilung kann durch Verwürfelung (Scrambling) geändert werden. Daten sind NRZI (Non Return to Zero Inverse) codiert, wenn bei jeder 1 der Signalzustand zwischen 0 und 1 bzw. 1 und 0 umgeschaltet wird. Jede 1 entspricht einem Pegelwechsel und damit wird die Codierung polaritätsunabhängig.



**Bild:** Kanalcodierungsformen

Von besonderer Bedeutung ist die Kanalcodierung wegen der oft erforderlichen Rekonstruktion der Taktrate aus dem Datenstrom selbst, da in diesem Fall keine separate Taktübertragung erfolgen muss. Ein einfacher selbsttaktender Code ist der Bi-Phase-Mark-Code. Hier findet an jeder Bitzellengrenze ein Pegelwechsel statt, wobei die 1 so codiert wird, dass ein zusätzlicher Pegelwechsel dazwischen liegt. Dieser Code wird benutzt, wenn eher einfache Codierung als hohe Effizienz erforderlich sind, in der Videotechnik z. B. bei der Timecode-Übertragung.

Das NRZI-Spektrum ähnelt dem NRZ-Spektrum, weder NRZ noch NRZI sind selbsttaktend, sondern müssen dazu verwürfelt werden. Die Verwürfelung wird erreicht, indem der NRZ-Datenstrom über Exklusiv Oder mit einer Pseudo-Zufallsfolge verknüpft wird.



Ein verwürfelter Synchronized Scrambled NRZ-Code (SSNRZ) wird bei der Aufzeichnung im digitalen MAZFormat D1 verwendet, ein verwürfelter NRZI-Code beim seriell-digitalen Videosignal (SDI). Eine andere Art von Codes die selbsttaktend und polaritäts-unempfindlich sind, sind die Miller-Codes. Eine logische 1 entspricht hier einem Pegelsprung in der Taktperiode, aufeinander folgende Nullen einem Pegelsprung nach der Taktperiode. Um den Miller-Code gleichspannungsfrei zu machen, wird der letzte Pegelsprung einer geraden Anzahl von Einsen zwischen zwei Nullen weggelassen (Miller<sup>2</sup>). Miller-Codes sind relativ schmalbandig, Miller<sup>2</sup> wird bei der D2-MAZ-Aufzeichnung verwendet.

Als weitere Codierungsart wäre das Bitmapping zu nennen, häufig werden dabei 8-Bit-Blöcke unter Berücksichtigung des Fehlerschutzes in größere Einheiten umgesetzt (z. B. 8/14-Modulation), wobei die Datenrate entsprechend steigt. Die Zuordnung geschieht mit Hilfe von Tabellen. Diese Variante der Codierung wird bei den Formaten D3 und D5

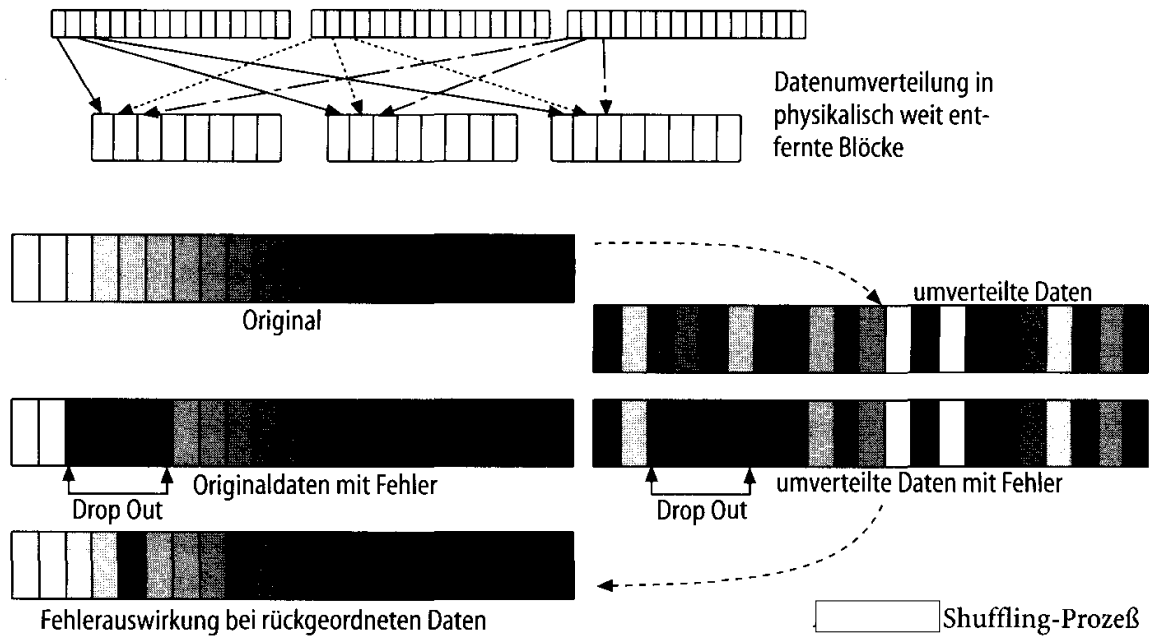
angewandt und zwar so, dass die maximale Lauflänge gleicher Bits im 14-Bit-Wort gleich sieben und die minimale Lauflänge gleich 2 ist und sich damit eine schmale spektrale Verteilung ergibt, da das Verhältnis von höchster zu niedrigster Frequenz 3,5:1 beträgt.

## Fehlerschutz

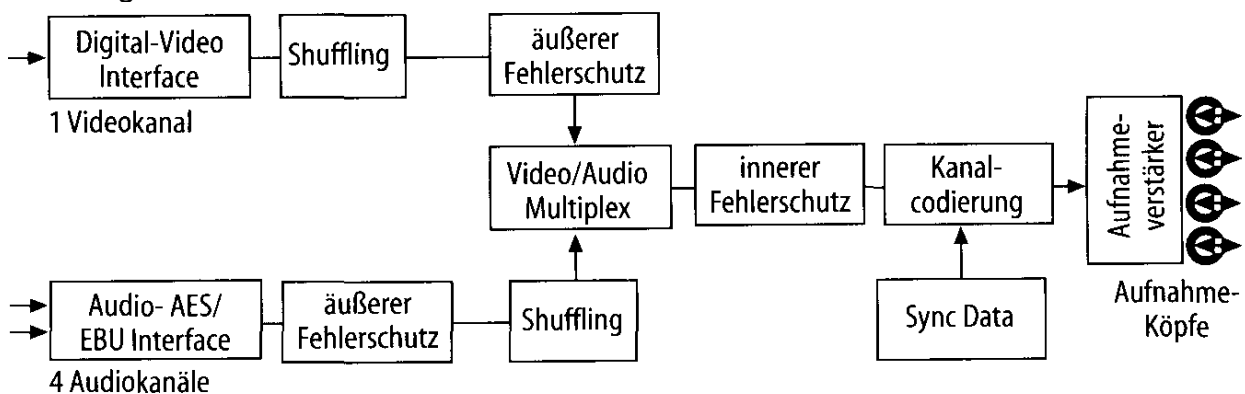
Die Magnetbandaufzeichnung ist besonders fehleranfällig. Zu dem auch in anderen Signalverarbeitungsstufen auftretenden Rauschen kommen Signaleinbrüche (Drop-Outs) aufgrund von Fehlstellen an der Bandoberfläche hinzu und als Kopfzusetzer bezeichnete, durch Schmutz verursachte, kurzzeitige Kopfausfälle. Es können dabei kurze Bitfehler auftreten oder aber z. B. auch zusammenhängende Bereiche von einigen hundert Bits betroffen sein. Es müssen also umfangreiche Schutzmaßnahmen vorgesehen werden. Die Digitaltechnik bietet hier den Vorteil, dass die Daten durch Fehlerschutzbits erweitert werden können, so dass ein Großteil der Fehler, unterstützt durch eine gezielte Datenumverteilung (Shuffling), vollständig korrigiert werden kann.

Vor der Korrektur muss der Fehler zunächst erkannt werden. Das kann bereits durch die Bildung einer einfachen Quersumme (Checksum) geschehen, die mit im Datenstrom übertragen wird. Soll z. B. ein digital codierter Zahlenblock mit den Werten 3, 1, 0, 4 aufgezeichnet werden, so ergibt sich inklusive der Prüfsumme die Folge: 3, 1, 0, 4, 8. Nun kann es sein, dass ein Fehler auftritt, der bewirkt, dass bei der Wiedergabe anstatt der 0 eine 3 erscheint. Die Quersumme weicht dann um 3 von der übertragenen Prüfsumme ab und damit ist erkannt, dass ein Fehler vorliegt. Wenn der Fehler auch korrigiert werden soll, muss darüber hinaus die Position der fehlerhaften Zahl ermittelt werden. Dies ist durch Bildung einer gewichteten Quersumme möglich, deren Gewichtungsfaktoren Primzahlen sind. Bei der Gewichtung der oben genannten Werte mit den einfachen Primzahlen 1, 3, 5, 7 ergibt sich mit  $1 \cdot 3 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 0 + 7 \cdot 4$  als Quersumme 34, die sich bei Vorliegen des Fehlers auf 49 erhöht. Auf der Wiedergabeseite braucht nur die Differenz zwischen der richtigen und der fehlerhaften gewichteten Quersumme durch den bekannten Fehlerbetrag geteilt zu werden, und die Fehlerposition ist bestimmt. In dem Beispiel ergibt sich mit  $(49 - 34)/3$  die Zahl 5 also die Primzahl, die zur Fehlerposition gehört. Die Erkennung und Korrigierbarkeit der Fehler wird erhöht, wenn die Daten in zweidimensionalen Feldern angeordnet werden und die Codierung auf Zeilen und Spalten angewandt werden.

Die beschriebene Fehlerkorrektur funktioniert nur dann, wenn nicht gleichzeitig mehrere Fehler innerhalb des Datenblockes auftreten. Gerade dieser Fall kann aber aufgrund der Drop Outs bei der Magnetbandaufzeichnung leicht auftreten. Es ist daher sehr wichtig, die logisch zusammengehörigen Daten physikalisch weit entfernt voneinander zu speichern. Dazu wird eine Daten-Umverteilung vorgenommen, die als Shuffling oder Interleaving bezeichnet wird.



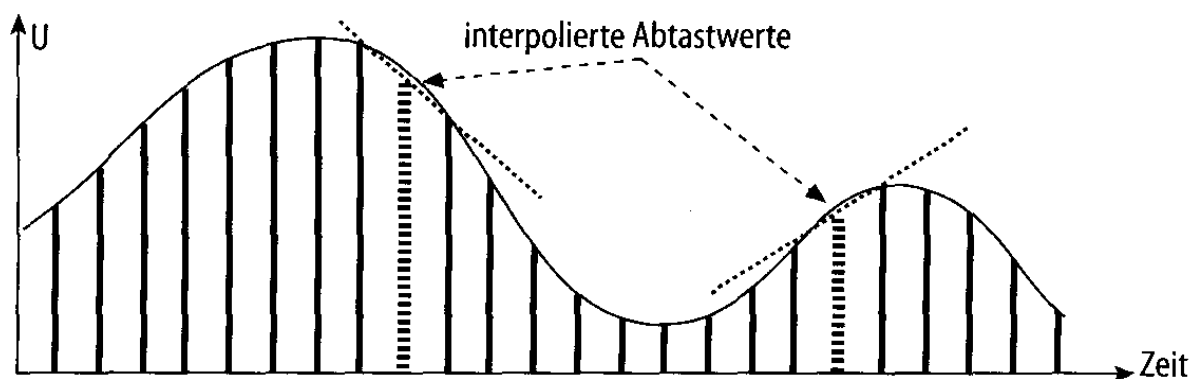
Zusätzlich zur Fehlerkorrektur können restliche, nicht korrigierbare Fehler bei der Wiedergabe durch Rechenprozesse verdeckt werden (Concealment), indem die Daten eines gestörten Pixels durch die einer vorhergehenden Zeile ersetzt werden. Die bei den Digitalformaten eingesetzten Fehlerkorrekturmechanismen sind umfangreicher als in oben genanntem Beispiel, doch genauso wie dort muss den  $m$  Nutzdatenbits eine Anzahl  $k$  von Redundanzbits hinzugefügt werden, wobei die Art von der Form der dominanten Fehler im jeweiligen System bestimmt wird. Als Summe aus Nutz- und Redundanzbits ergibt sich die Bruttobitzahl  $n = m + k$ . Das Netto-Brutto-Verhältnis  $m/n$  wird als Coderate  $R$  bezeichnet und das Verhältnis fehlerhafter Bits zur Gesamtzahl als Bit Error Rate (BER). Generell lassen bei der Forward Error Correction (FEC) Faltungscodes und Blockcodes unterscheiden. Bei der Videobandaufzeichnung werden letztere verwendet. Der Name rührt daher, dass der Datenstrom in Blöcke mit fester Anzahl von Symbolen aufgeteilt wird, wobei ein Symbol mehrere Bits oder auch nur eines umfassen kann. Bei den digitalen MAZ-Verfahren kommt hauptsächlich der Reed-Solomon-Code zum Einsatz, der besonders dafür ausgelegt ist, Symbolfehler bei der Wiedergabe zu erkennen und zu korrigieren. So können z. B. beim Digital-Format D3 durch zwei Korrekturstufen zweimal bis zu vier Fehler in einem Block aus 76 Datenworten erkannt und korrigiert werden.



**Bild:** Innerer und äußerer Fehlerschutz

Die zwei Stufen werden oft eingesetzt (Abb. auf der vorherigen Seite), denn die Effektivität des Korrekturmechanismus wird durch die Verkettung zweier Codes gesteigert. Dabei ist das Coder/Decoderpaar das näher an der Signalquelle bzw. -senke liegt für den sog. äußeren Fehlerschutz zuständig und das näher am Übertragungskanal liegende für den inneren. Bei MAZ-Systemen wird der äußere Fehlerschutz oft nach einer Datenumverteilung und ggf. der Datenreduktion eingesetzt. Als nächste Signalverarbeitungsstufe folgt ein zweites Shuffling oder direkt das Multiplexing der Audio- und Videodaten und darauf dann die Stufe des inneren Fehlerschutzes direkt vor der Kanalcodierung.

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Fehlerschutz bei den Audiodaten gewidmet werden, da sich das Gehör weniger leicht täuschen lässt als das Gesicht und Fehler viel empfindlicher wahrnimmt. Auch Audio-Datenfehler können mit Reed-Solomon-Codes korrigiert werden. Die unvermeidlichen Restfehler werden meistens verdeckt, indem bei einem Datenausfall die vorhergehenden Werte gehalten, oder indem aus der Interpolation zwischen den benachbarten Abtastwerten Ersatzdaten berechnet werden.



### Audioaufzeichnung

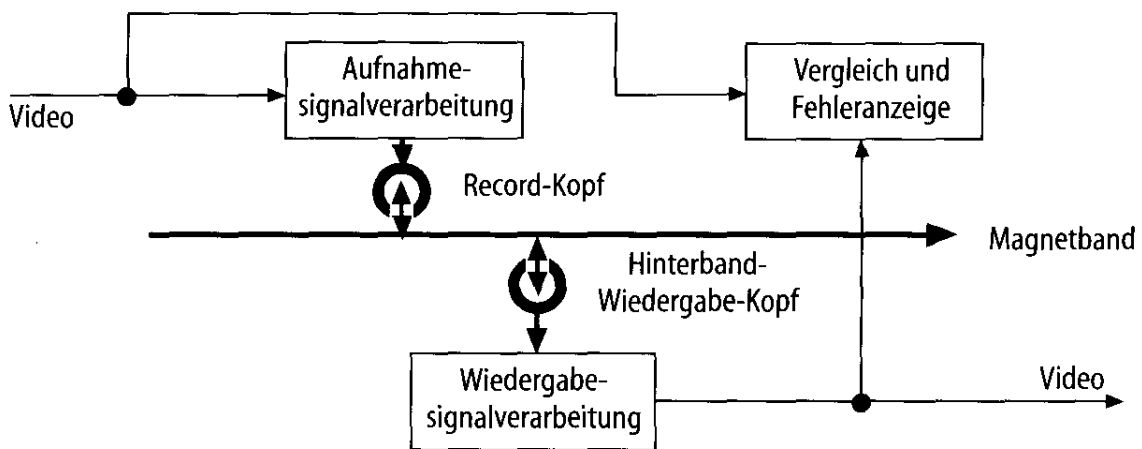
Bei digital aufzeichnenden Videogeräten werden auch die Audiosignale auf der digitalen Ebene verarbeitet. Bezüglich der Aufzeichnung gibt es keine Unterschiede zwischen Video- und Audiodaten mehr, die Audio-Datenrate ist nur geringer. Die Audiosignalverarbeitung liegt bei allen Formaten auf höchstem Niveau, meist können vier Kanäle ohne Datenreduktion genutzt werden. Zur Aufzeichnung von vier digitalen Audiokanälen wird nur etwa 2% des Speicherplatzes gebraucht, der für das digitale Videosignal nötig ist. Es ist möglich, auf die Kanäle einzeln zuzugreifen, sie sind separat editierbar. Dazu sind die Audiosegmente untereinander und gegenüber den Videodaten durch kleine Zwischenräume (Edit Gaps) getrennt. Das Audiosignal wird einem aufwendigen Fehlerschutz unterworfen, die Daten werden vielfältig in den Sektoren und Spuren verteilt und werden häufig auch doppelt aufgezeichnet. Video- und Tondaten stehen immer in einem festen Verhältnis, da die Abtastraten bei der Digitalisierung verkoppelt werden.

Die Abtastraten betragen 44,1 kHz und 48 kHz, die Signalwerte werden mit 16 Bit oder 20 Bit aufgelöst. Die Spezifikationen des Signals und der Schnittstellen entsprechen denen der AES/EBU, die Audiosignale werden paarweise über XLR-Steckverbindungen geführt, d. h. für vier Kanäle sind nur zwei Anschlüsse erforderlich.

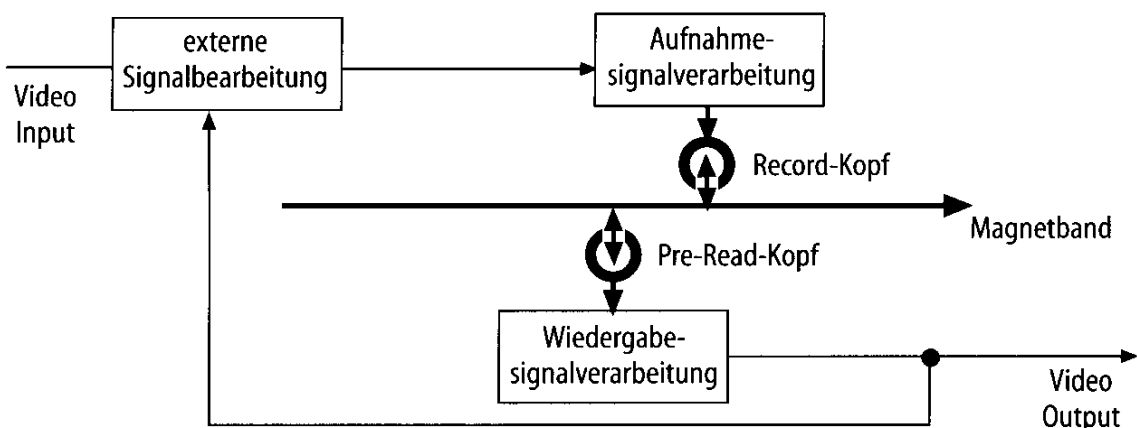
## Sonderfunktionen

Da fast alle Digitalformate für den professionellen Einsatz vorgesehen sind, sollen sie mindestens die gleichen Ausstattungsmerkmale wie Analogformate aufweisen. So sollte es auch möglich sein, im Suchlauf den Ton abzuhören. Diese Funktion wird häufig mit Hilfe einer einkanaligen analogen Audio-Hilfsspur realisiert, indem beim schnellen Suchlauf von Digital- auf Hilfsspurwiedergabe umgeschaltet wird. Moderne Geräte erlauben auch die Wiedergabe von Digitalton beim Suchlauf. Digitale Videorecorder sollen außerdem ungestörte Stand-, Zeitlupen- und Zeitrafferbilder liefern können. Zu diesem Zweck sind, wie bei analogen Systemen, viele Geräte mit separaten, beweglichen Videoköpfen für die Wiedergabe ausgestattet, die in den meisten Fällen den bei professionellen Geräten üblichen variablen Geschwindigkeitsbereich mit  $k = -1$  bis  $k = +3$  abdecken.

Der Einsatz separater Wiedergabeköpfe ermöglicht, dass die Daten direkt nach der Aufnahme wiedergegeben und kontrolliert werden können (Direct Read after Write,



(Abb.)), so dass eine objektive Qualitätsüberwachung möglich wird. Weiterhin können separate Wiedergabeköpfe auch so eingesetzt werden, dass die damit gelesenen Daten in modifizierter Form direkt wieder aufgezeichnet werden (Read Modify Write,



(Abb. auf der nächsten Seite)). Diese Funktion erlaubt eine Signalbearbeitung (z. B. Farbkorrektur) mit nur einer Maschine oder einen eingeschränkten A/B-Roll-Schnitt mit zwei Geräten. Es ist allerdings zu bedenken, dass die Originalaufnahme dabei zerstört wird.

Tabelle: Signalparameter der Formate D1, D5 und D6

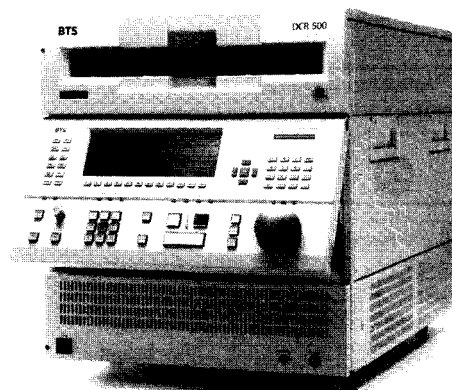
	D1	D5	D6
Magnetbandbreite	19 mm	12,7 mm	19 mm
Bandgeschwindigkeit	28,7 cm/s	16,7 cm/s	49,7 cm/s
Relativgeschwindigkeit	35,6 m/s	23,8 m/s	46 m/s
Videospurbreite	40 $\mu\text{m}$	18 $\mu\text{m}$	21 $\mu\text{m}$
Spurzwischenraum	5 $\mu\text{m}$	0 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$
Kopftrommeldrehzahl	150 Hz	100 Hz	150 Hz
Kopftrommeldurchmesser	75 mm	76 mm	96 mm
max. Spieldauer (S, M, L)	12 / 34 / 94 Min.	32/ 62 /123 Min.	8 / 28 / 64 Min.

## Digitale Komponentenformate ohne Datenreduktion

Die Formate dieser Klasse erfüllen höchste Qualitätsansprüche. Bereits das erste, als D1 bezeichnete Format zur digitalen Videosignalaufzeichnung arbeitete mit Komponentensignalen nach dem Standard ITU-R 601. Das Format D5 bietet darüber hinaus 10-Bit-Signalverarbeitung und D6 eine HDTV-Aufzeichnung.

### Das D1 -Format

Das D1-Format gehört bis heute zu den Magnetbandaufzeichnungsverfahren mit der höchsten Qualität, allerdings erfüllt es nicht mehr die Ansprüche an ein kostengünstiges Produktionsmittel. Trotzdem ist es bei anspruchsvollen Produktionen noch häufig anzutreffen. Drei Cassetten (S, M, L) mit *3/4"-Band* erlauben Spielzeiten bis zu 12, 34 oder 94 Minuten. Die Bandlaufgeschwindigkeit beträgt 28,7 cm/s, die Kopf-Band-Relativgeschwindigkeit 35,6 m/s (Tabelle oben). Die Kopftrommel dreht sich mit 150 U/s, das Signal wird mit vier Köpfen geschrieben. Die Aufzeichnung eines Halbbildes im 625/50-System erfordert 12 Spuren, ein 525/60-Halbbild wird in zehn Spuren aufgezeichnet. Wenn die Videoköpfe im 90°-Winkel angeordnet sind, beträgt die Kopftrommelumschlingung 270°. Das Spurbild zeigt eine longitudinale Audio-Hilfsspur am oberen Bandrand und eine CTL und Timecode-Spur am untere. Die Hilfsspur ist erforderlich, da bei schnellem Vorlauf die Audiodaten nicht ausgewertet werden können. Zwischen den Längsspuren befindet sich der Schrägspurbereich. Hier ist jede Spur in zwei Videosektoren und dazwischen liegende vier Audiosektoren aufgeteilt. Damit können vier digitale Audiokanäle hoher Qualität aufgezeichnet und unabhängig voneinander editiert werden.



**Tabelle:** Signalparameter der Formate D1, D5 und D6

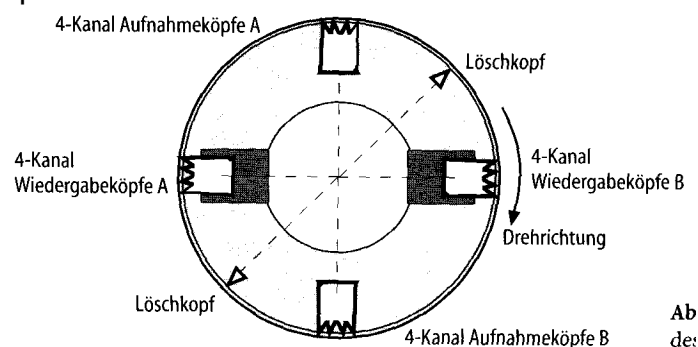
	D1	D5	D6
Y-Bandbreite (-0,5 dB)	5,75 MHz	5,75 / 7,67 MHz	30 MHz
C-Bandbreite (-0,5 dB)	2,75 MHz	2,75 / 3,67 MHz	15 MHz
Pegelauflösung	8 Bit	10 Bit / 8 Bit	8 Bit
Signal/Rauschabstand (Y)	> 56 dB	> 62 / 56 dB	> 56 dB
aufgezeichnete Datenrate	227 Mbit/s	303 Mbit/s	1,2 Gbit/s
aufgez. Zeilenzahl/Halbbild	300	304	> 1150
kürzeste Wellenlänge	0,9 µm	0,71 µm	

Die Tabelle oben zeigt die D1-Signalspezifikationen. Jede Signalkomponente wird mit 8 Bit aufgelöst und mit SSNRZ-Codierung (Scrambled Synchronized Non Return to Zero) aufgezeichnet. Die Gesamtdatenrate beträgt 227 Mbit/s. Als besondere Funktion können zwei D1-Recorder synchron betrieben werden, damit wird die Aufnahmekapazität verdoppelt, um z. B. mit doppelter Vertikalauflösung (entsprechend progressiver Abtastung) oder im 4:4:4:4-Betrieb ein breitbandiges RGB-Signal plus Key-Kanal aufzeichnen zu können.

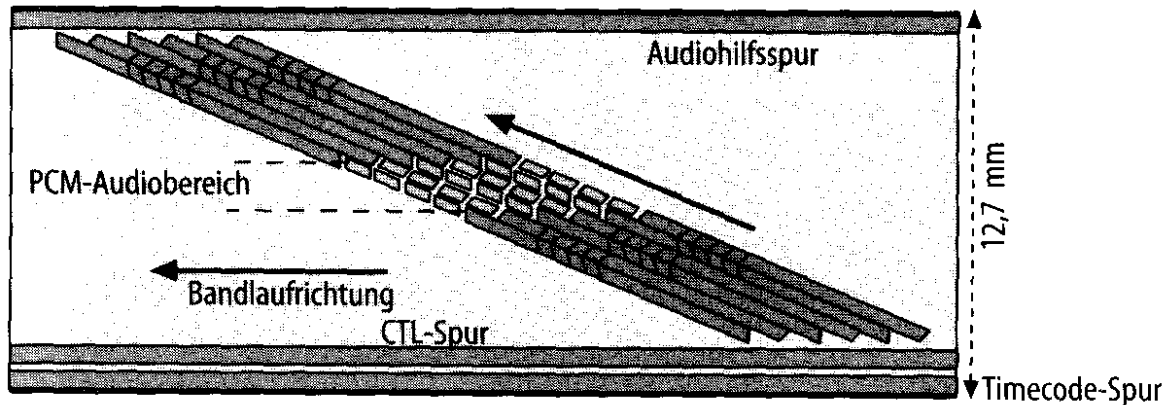
### Das D5-Format

Das D5-Format wurde von Panasonic entwickelt, es ermöglicht als einziges Format eine unkomprimierte Komponentenaufzeichnung auf 1/2"-Bändern und ist für Standardsignale das Aufzeichnungsformat mit der höchsten heute möglichen Qualität. Die D1-Qualität wird noch übertroffen, da D5 mit 10 Bit statt 8 Bit Amplitudenauflösung arbeiten kann (Tabelle). Mit vier digitalen Audiokanälen und Fehlerschutzbits wird eine Gesamtdatenrate von 303 Mbit/s mit 8/14-Modulation aufgezeichnet. Aufgrund der hohen Datenrate ist es bei D5 möglich, nicht nur Digitaldaten nach ITU-R 601 mit einer Abtastrate von 13,5/6,75 MHz und einer Auflösung von 10 Bit aufzuzeichnen, sondern auch mit erhöhter Horizontalauflösung bei einer Abtastrate von 18 MHz zu arbeiten. Die aktive Videozeile enthält dann 960 statt 720 Abtastwerte, die Auflösung der Abtastwerte muss dabei allerdings auf 8 Bit beschränkt werden. Dieser Modus ist vor allem für eine hochwertige Signalverarbeitung für das Bildformat 16:9 nützlich. Es ist vorgesehen, das D5-Format unter Nutzung von Datenreduktionsverfahren auch für die HDTV-Aufzeichnung einzusetzen. Aufgrund der hohen Datenrate ist dabei nur eine Kompression um den Faktor 4 erforderlich.

Drei Cassettengrößen (S, L, XL) erlauben Spielzeiten von maximal 32, 62 oder 123 Minuten, allerdings werden an das Bandmaterial hohe Anforderungen gestellt und die Cassetten sind daher sehr teuer (ca. 200 € für 123 Minuten). Die hohe Aufzeichnungsdichte wird erreicht, indem sehr schmale Schrägspuren von nur 18 µm Breite bei einer Bandgeschwindigkeit von 16,7 cm/s aufgezeichnet werden. Die Abbildung unten zeigt die D5-Kopftrommel.



Das Spurbild (Abb. unten) ähnelt dem von D1, es zeigt eine longitudinale Audiohilfsspur am oberen Bandrand und eine CTL- und Timecode-Spur am unteren. Dazwischen befindet sich wieder der Schrägspurbereich, der in zwei Videosektoren und dazwischen liegende vier Audiosektoren für die Aufzeichnung von vier digitalen Audiokanälen hoher Qualität aufgeteilt ist. Im Gegensatz zum



D1-Format sind die Videospuren in Richtung des Bandlaufs geneigt und werden mit der Slanted Azimut-Technik ohne Sicherheitsabstand geschrieben.

D5-Recorder sind auf der Basis des D3-Formates von Panasonic entstanden. Beide Formate weisen ein sehr ähnliches Spurbild auf, die Bandgeschwindigkeit und die Datenrate sind bei D5 doppelt so hoch wie bei D3. Daher ist es möglich, dass D5-Recorder optional auch D3-Material wiedergeben können.

### Das D6-Format/Voodoo

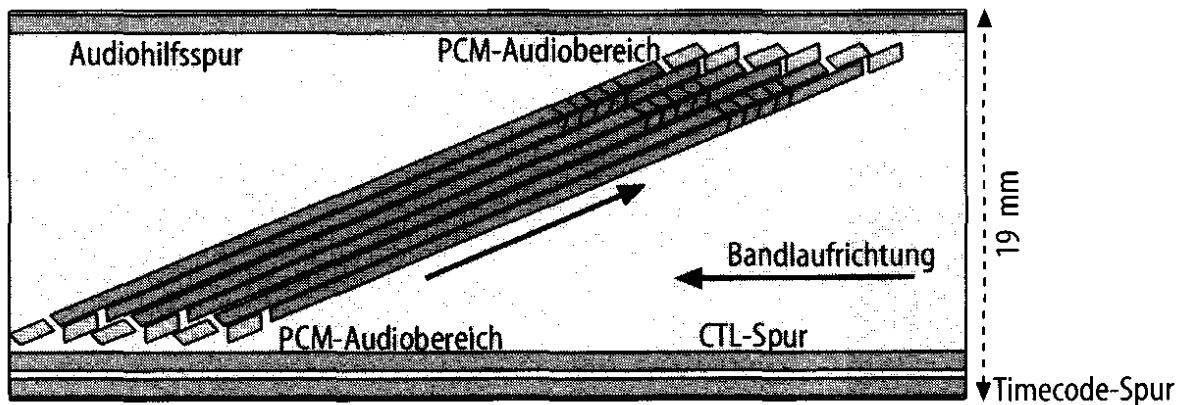
Der bisher einzige ohne Datenreduktion arbeitende Digital-Cassettenrecorder für HDTV wurde von BTS und Toshiba auf der Basis von D2-Laufwerken entwickelt. Bei D6 werden ein Videosignal und 12 Audiokanäle auf 3/4"-Band mit einer Gesamtdatenrate von 1,2 Gbit/s unkomprimiert aufgezeichnet. Die Bandgeschwindigkeit beträgt ca. 50 cm/s. Mit den gleichen drei Kassettengrößen wie bei D1 werden Spieldauern von 8, 28, oder 64 Minuten erreicht. Die Tabelle oben zeigt weitere mechanische Spezifikationen. Die Spurlage ähnelt der von D1, allerdings befinden sich die Audiosektoren am Schrägspurrand.

Es gibt auch hier drei Longitudinalspuren für Timecode, CTL- und Audiosignale. D6-Geräte eignen sich für den Betrieb mit 1250 Zeilen bei 50 Hz ebenso wie für 1125/60. Es wird ein Komponentensignal mit einer Luminanz-Abtastfrequenz von 72 MHz bei 8 Bit Auflösung aufgezeichnet. Die Y-Signalbandbreite beträgt 30 MHz, die Abtast- und Bandbreitenwerte für die Farbdifferenzsignale sind demgegenüber halbiert. Das D6-Format kann auch als Datenrecorder verwendet werden. Die größte Kassette fasst ca. 500 GByte. Für die Verbindung zu Computersystemen steht eine SCSI-Schnittstelle zur Verfügung. Eine Weiterentwicklung des Formats nennt sich DCR 6024 Voodoo und ist in der Lage, alle für den HDTV-Bereich vorgesehenen Formate mit 10 Bit ohne Datenreduktion aufzuzeichnen, einschließlich der 24 fps für den Filmmode, so dass das Gerät für den Anschluss an Filmabtaster prädestiniert ist.

### Digitale Compositesignal-Aufzeichnung

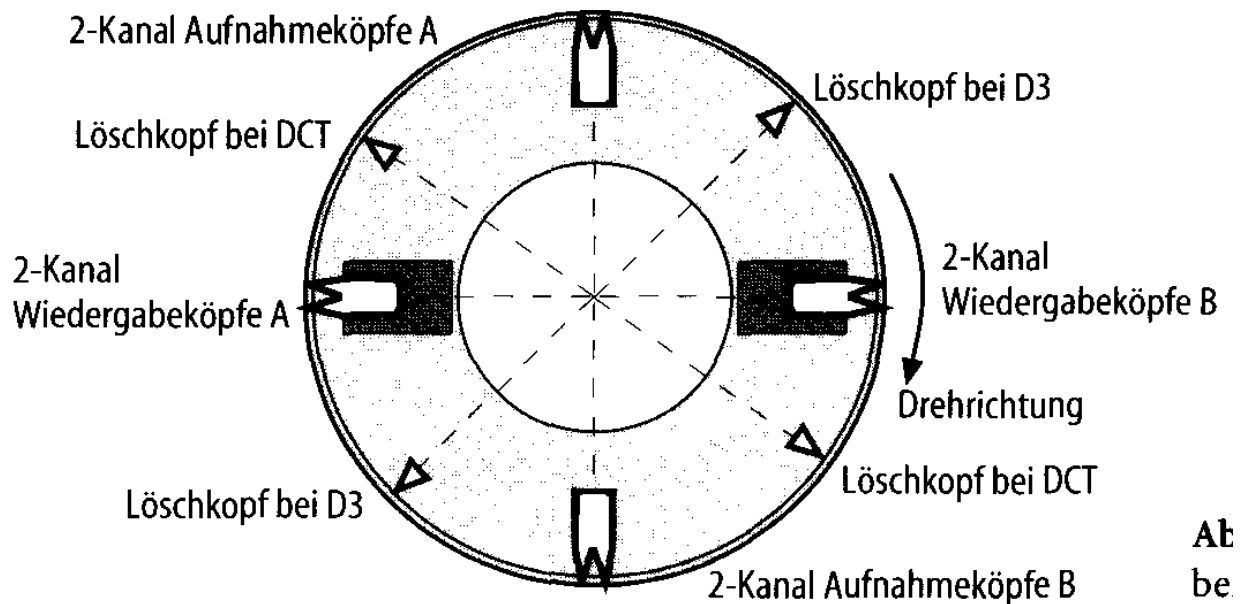
Das D1-Format wurde bereits zu einer Zeit entwickelt, als in den Studios noch die FBAS-Geräte dominierten. Als direkter Ersatz für 1" B- und C-MAZ-Geräte waren D1-Geräte zu aufwendig. Hier war ein Format gefragt, das bei geringeren Kosten den wesentlichen Vorteil der Digitaltechnik, nämlich die gute Multigenerationsfähigkeit, bietet. Auf der Basis

der D1-Kassette entstand so zunächst das Format D2 und später D3, das mit 1/2"-Bändern arbeitet.



### Das D2-Format

Das zweite Digitalformat (Ampex, Sony) arbeitet mit Composite-Signalen, die mit der 4-fachen Farbträgerfrequenz (17,7 MHz) bei einer Auflösung von 8 Bit abgetastet werden. Unter Einbeziehung der Fehlerschutzdaten und der vier digitalen Audiokanäle (max. 20 Bit/48 kHz) ergibt sich eine aufgezeichnete Datenrate von 152 Mbit/s. Pro Halbbild werden 304 Zeilen auf 8 Spuren aufgezeichnet, die ohne Sicherheitsabstand (Rasen) geschrieben werden. Die aktuelle Spur überdeckt dabei einen Teil der zuvor aufgezeichneten, das Übersprechen wird durch die wechselweise gekippten Kopfspalte vermindert. Bei einer Bandgeschwindigkeit von 13,2 cm/s betragen die Kassettenspieldauern 32, 94 bzw. 204 Minuten (Tabelle nächste Seite). Die Aufzeichnung erfolgt mit zwei Kopfpaaaren, die Abbildung unten zeigt die Kopftrommel und die Abbildung oben die Spurlage.



Durch die Digitalaufzeichnung mit einer Grenzfrequenz von 6,5 MHz (Tabelle, nächste Seite) wird ein gutes Multigenerationsverhalten bis zur 20. Generation erreicht. Die Composite-Signalaufzeichnung weist aber gegenüber der digitalen Komponentenaufzeichnung, insbesondere bei der Nachbearbeitung, erhebliche Nachteile auf. Heute wird dieses Format aufgrund seiner geringen Aufzeichnungsdichte kaum noch verwendet.

Tabelle Geometrische Parameter der Formate D2 und D3

	D2	D3
Magnetbandbreite	19 mm	12,7 mm
Bandgeschwindigkeit	13,2 cm/s	8,4 cm/s
Relativgeschwindigkeit	30,4 m/s	23,8 m/s
Videospurbreite	35 µm	18 µm
Spurzwischenraum	0	0
Kopffrommeldurchmesser	96,5 mm	76 mm
max. Spieldauer (S, M, L)	32 / 94 / 204Min.	64 / 125 / 245 Min.

Tabelle Signalparameter der Formate D2 und D3

	D2	D3
Bandbreite (-3 dB)	6,5 MHz	6,5 MHz
Pegelauflösung	8 Bit	8 Bit
Signal/Rauschabstand (Y)	>54 dB	> 54 dB
aufgezeichnete Datenrate	152 Mbit/s	152 Mbit/s
aufgez. Zeilenzahl/Halbbild	304	304
kürzeste Wellenlänge	0,79 µm	0,71 µm

### Das D3-Format

Das digitale Composite-Format D3 hat bezüglich der Signalverarbeitung ähnliche Merkmale wie D2 (Tabelle oben). Es gibt auch hier vier separat editierbare Audiokanäle, Hinterbandkontrolle sowie eine Wiedergabemöglichkeit mit -1 bis 3-facher Normalgeschwindigkeit. Auch das Spurbild ist ähnlich, allerdings sind die Schrägspuren in Bandlaufrichtung geneigt. D3 ist wie D2 bei gleicher Gesamtdatenrate für die Aufzeichnung von 625 Zeilen bei 50 Hz oder 525/60 geeignet. Der wesentliche Unterschied zu D2 ist die Verwendung von 1/2"-Bändern, wodurch das Format auch für digitale Camcorder geeignet ist. Aufgrund der gleichen geringen Spurbreite wie bei D5 (18 µm) konnte die Aufzeichnungsdichte bei D3 gegenüber D2 von 7,2 auf 17,9 Mbit/cm<sup>2</sup> gesteigert werden. Damit werden bei einer Bandgeschwindigkeit von 8,4 cm/s Kassettenspieldauern von 64, 125 bzw. 245 Minuten erreicht. Das D3-Format eignet sich gut zur ökonomischen Archivierung von FBAS-Material (z. B. 1"-B und -C oder U-Matic).

### Digitale Komponentenformate mit geringer Datenreduktion

Um eine digitale Komponentenaufzeichnung zu geringeren Kosten zu ermöglichen, gleichzeitig aber auch ein robustes Format zu erhalten, bei dem die Aufzeichnungsdichte nicht bis an die Grenze des Machbaren getrieben wurde, entschied man sich bei Ampex und Sony zum Einsatz einer milden Datenreduktion. Dieser Schritt wurde bei der Einführung der Systeme als revolutionär angesehen und erzeugte viele Diskussionen und Qualitätsvergleiche zwischen dem Format Digital Betacam (DigiBeta) und dem unkomprimiert aufzeichnenden D5-Format. Die Bildqualität der beiden Formate ist aber visuell auch nach vielen Generationen nicht zu unterscheiden. Außerdem stieg die Akzeptanz der Datenreduktion im Produktionsbereich generell, so dass sich DigiBeta gegen D5 durchsetzen konnte, da es als großen Vorteil die optionale Kompatibilität zum analogen Aufzeichnungsstandard Betacam SP bietet und geringere Folgekosten für das Bandmaterial mit sich bringt. Darüber hinaus steht ein Camcorder für dieses Format zur

Verfügung. Digital Betacam ist heute das verbreitetste Format im Bereich anspruchsvoller digitaler Produktion, während DCT, das zweite Format in diesem Kapitel, heute fast bedeutungslos ist.

## Das DCT-Format

Mit DCT sollte ein besonders robustes Aufzeichnungsformat mit geringer Fehlerrate entwickelt werden. Basis ist ein hochwertiges Laufwerk für 3/4-Bänder, das vom Formatentwickler Ampex schon für den Bau von D2-Recordern eingesetzt wurde. Mit den gleichen Kassettengrößen wie bei D2 werden Spieldauern von 29, 85 oder 187 Minuten erreicht. Inklusiv der vier Audiokanäle, deren Sektoren wie bei D1 in der Bandmitte liegen, ergibt sich bei DCT mit der Kanalcodierung Miller<sup>2</sup> eine Gesamtdatenrate von 130 Mbit/s. Die Tabellen unten zeigen die mechanischen und die Signalspezifikationen.

Tabelle. Geometrische Parameter der Formate DCT, Digital Betacam und Betacam SP

	DCT	Digital Betacam	Betacam SP
Magnetbandbreite	19 mm	12,7 mm	12,7 mm
Bandgeschwindigkeit	14,6 cm/s	9,7 cm/s	10,2 cm/s
Relativgeschwindigkeit	30,4 m/s	19 m/s	5,8 m/s
Schrägspurlänge	151 mm	123 mm	115 mm
Videospurbreite	35 µm	24 µm	86 µm
Datenreduktionsfaktor	2:1	2:1	
Kopffrommeldurchmesser	96,5 mm	81,4 mm	74,5 mm
max. Spieldauer (S, M, L)	29 / 85 / 187 Min.	40 / - / 124 Min.	32 / - / 108 Min.

Da die Spurbreite und die Bandgeschwindigkeit in der Größenordnung der Werte des D2-Formates liegen, trotzdem aber ein Komponentensignal mit viel höherer Datenrate als bei D2 aufgezeichnet werden soll, wird mit einer Datenreduktion gearbeitet. Bei der verwendeten Kompression um den Faktor 2 kann man davon ausgehen, dass bei vielen Bildvorlagen eine Redundanzreduktion möglich ist, andererseits tritt bei kritischen Vorlagen tatsächlich ein (unsichtbarer) Informationsverlust auf. DCT steht für Digital Component Technology.

Die Abkürzung kennzeichnet gleichzeitig auch das eingesetzte Datenreduktionsverfahren DCT. Aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und Robustheit werden DCT-Geräte vor allem im Post-Produktions-Bereich eingesetzt. Das Band wird mit einem Luftfilm anstelle von Reibrädern sehr schonend geführt, die Reaktionszeiten der Mechanik sind sehr gering. Beim Editing mit DCT-Maschinen werden Pre Roll-Zeiten von weniger als zwei Sekunden erreicht, was kein anderes bandgestütztes Format ermöglicht und sich besonders für Post-Produktions-Studios ebenso bezahlt macht wie die geringen Wartungskosten.

## Digital Betacam

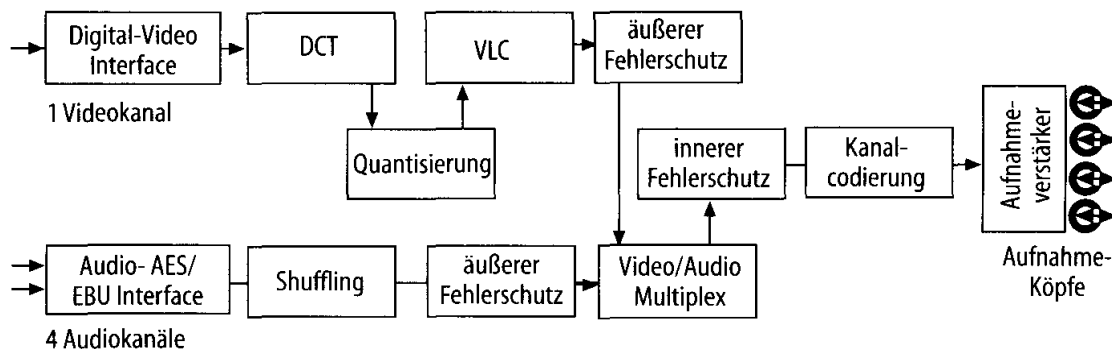
Digital Betacam stammt vom Betacam-Systementwickler Sony und etablierte sich mit Hilfe der Kompatibilität zum analogen Format als Standard im Broadcast-Bereich. Es werden Kassetten mit den gleichen mechanischen Abmessungen wie bei Betacam verwendet, sie ermöglichen hier Spieldauern von 40 bzw. 124 Minuten, die große Kassette kostet ca. 65 €. Das 1/2"-Cassetten-format erlaubt den Bau von Camcordern, die ähnlich kompakt sind wie die heute üblichen Betacam SP-Camcorder. Für das Format sind Studio-Recorder und

-Player ebenso verfügbar wie portable Field-Recorder. Das Komponentensignal wird mit

Sync-Bytes (2)	ID-Bytes (2)	Daten-Bytes (162)	Fehlercode Bytes (14)
----------------	--------------	-------------------	-----------------------

10 Bit und Abtastraten nach CCIR 601 digitalisiert, die Gesamtdatenrate beträgt 125,6 Mbit/s.

Digital Betacam arbeitet mit dem DCT-Verfahren, um eine Datenreduktion zu erreichen. Die Verwendung von Datenreduktionstechniken ist bei diesem Format darin begründet, dass eine Komponentensignalaufzeichnung mit 1/2"-Bändern möglich werden sollte, ohne die Anforderungen an Spurbreite und Bandqualität so hoch zu treiben wie beim Konkurrenzformat D5. Außerdem war bei der Entwicklung Rücksicht auf die Abwärts-Kompatibilität zum Betacam SP-Format zu nehmen. Das Datenreduktionsverfahren muss so ausgelegt sein, dass eine konstante Datenrate am Ausgang entsteht, hier hat die Netto-Datenrate den Wert 108,9 Mbit/s. Da bei der Abtastung von 608 Zeilen mit je 720 Bildpunkten eine Datenrate von 218 Mbit/s entsteht, hat der Datenreduktionsfaktor hat damit den Wert zwei. Durch geschickte Wahl der Quantisierung der DCT-Ausgangsdaten, kann erreicht werden, dass die Schwelle zwischen Redundanz- und Irrelevanzreduktion nur in seltenen Fällen, bei sehr kritischen Bildvorlagen überschritten wird und damit eine exzellente Bildqualität zur Verfügung steht. Als Kanalcodierung wird eine besondere Form des SNRZI-Codes eingesetzt, die ein enges Frequenzspektrum erzeugt und mit Partial Response IV bezeichnet wird. Abbildung ganz unten zeigt die Signalverarbeitung bei der Aufnahme, Abb. unten die Struktur des Sync-Blocks der 180 Byte enthält, von denen 162 Nutzbytes sind.



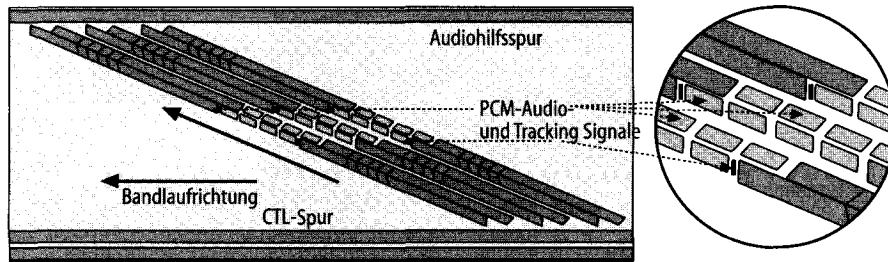
**Bild:** Signalverarbeitung bei Digital Betacam

Tabelle: Signalparameter der Formate DCT und Digital Betacam

	DCT	Digital Betacam
Y-Bandbreite (-0,5 dB)	5,75 MHz	5,75 MHz
C-Bandbreite (-0,5 dB)	2,75 MHz	2,75 MHz
Pegelauflösung	8 Bit	10 Bit
Signal/Rauschabstand (Y)	> 56 dB	> 62 dB
aufgezeichnete Datenrate	130 Mbit/s	126 Mbit/s
aufgez. Zeilenzahl/Halbbild	304	304
kürzeste Wellenlänge	0,85 µm	0,59 µm

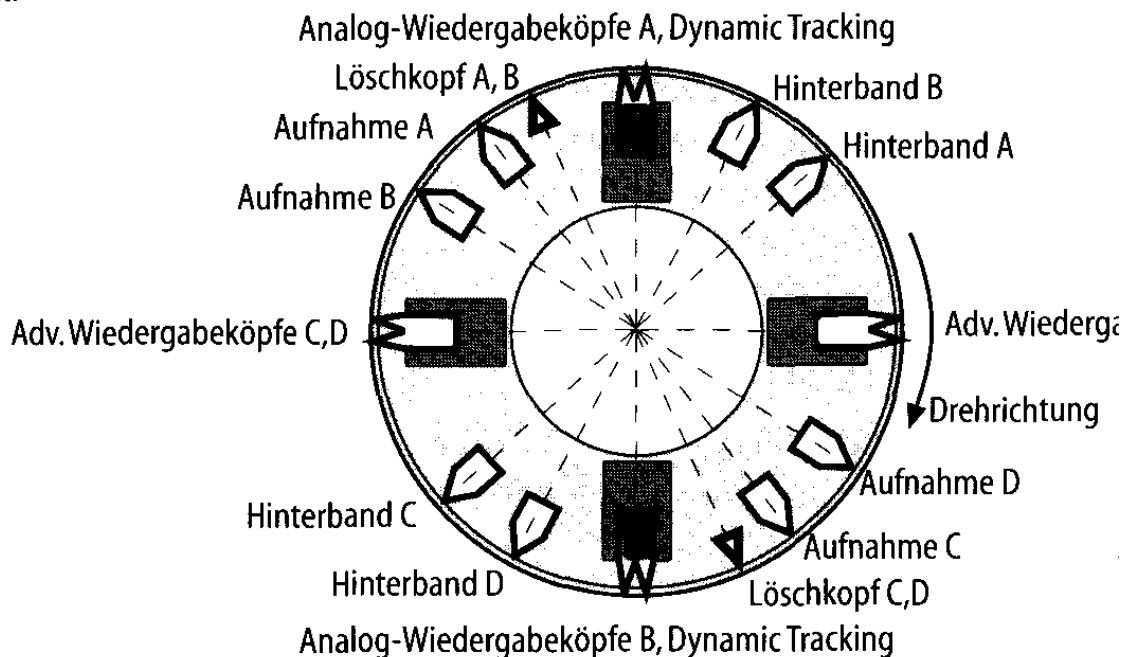
Digital Betacam ermöglicht optional die Wiedergabe analoger BetacamBänder. Bei entsprechenden Geräten müssen dafür separate Köpfe montiert sein. Abb. nächste Seite,

eine voll bestückte Kopffrommel.



**Bild:** Spurlage bei Digital Betacam

Das in der folgenden Abbildung dargestellte Spurbild ist ähnlich wie bei D5, es weist aber die Besonderheit auf, dass zwischen den Audio- und Videosektoren Pilottonfrequenzen aufgezeichnet werden, die zusammen mit den üblichen CTL-Signalen auf der Längsspur ein besonders gutes Tracking-Verhalten ermöglichen. Die Längsspuren an den Rändern stimmen beim Digital- und Analogformat überein. Ähnlich wie bei der PCM-Audioaufzeichnung entfällt aber bei Digital Betacam eine Audiospur zugunsten des Schrägspurbereichs. Für die analogen Video- und AFM-Signale tritt eine leichte Zeitkompression auf, die durch elektronische Expansion ausgeglichen werden muss, denn Digital Betacam arbeitet mit einem größeren Kopffrommeldurchmesser als das analoge Format.



### Digitale Komponentenaufzeichnung mit DV-Datenreduktion

Nachdem die Diskussionen um die Verwendbarkeit von Datenreduktionsverfahren im Produktions- und Postproduktionsbereich abgeklungen waren, wurden viele weitere Formate entwickelt, die mit höheren Datenreduktionsfaktoren arbeiten und für den Corporate und News-Bereich, sowie für einfache Produktionen konzipiert sind. Die Akzeptanz der Datenreduktion wurde durch die erstaunlich gute Bildqualität gesteigert, die das erste Digitalaufzeichnungsformat für den Heimanwenderbereich, DV, bietet. Die ersten Formate aus dieser Klasse basierten denn auch auf dem DV-Format und

wurden geringfügig modifiziert. Diese Entwicklungen wurden DV-Cam und DVCPPro genannt und stammen von Sony und Panasonic. Von JVC folgte das Format Digital S, das heute als D9 bezeichnet wird. Hier wird der DV-Datenreduktionsalgorithmus eingesetzt, aber mit doppelter Datenrate gearbeitet. Eine weitere Variante nennt sich D8 und verwendet den DV-Algorithmus zur Aufzeichnung auf Hi8-Bändern. Schließlich entwickelte Sony mit Betacam SX das erste Format das MPEG-2 codierte Signale aufzeichnet. Da hier auch die zeitliche Dimension zur Datenreduktion genutzt wird, kann ein Reduktionsfaktor von 10:1 statt der 5:1 der DV-basierten Verfahren eingesetzt und trotzdem eine vergleichbare Qualität erzielt werden.

Tabelle: Signalparameter der diversen DV-Formate

	DV	DVCam	DVCPPro	DVCPPr050
Y-Bandbreite (-0,5 dB)	5,75 MHz	5,75 MHz	5,75 MHz	5,75 MHz
C-Bandbreite (-0,5 dB)	2,75 MHz	2,75 MHz	1,37 MHz	2,75 MHz
Pegelauflösung	8 Bit	8 Bit	8 Bit	8 Bit
Signal/Rauschabstand (Y)	> 56 dB	> 56 dB	> 56 dB	> 56 dB
Abtastratenverhältnis	4:2:0	4:2:0	4:1:1	4:2:2
Datenreduktionsfaktor	5:1	5:1	5:1	3,3:1
aufgezeichnete Datenrate	42 Mbit/s	42 Mbit/s	42 Mbit/s	84 Mbit/s
Video-Datenrate	25 Mbit/s	25 Mbit/s	25 Mbit/s	50 Mbit/s
aufgez. Zeilenzahl/Halbbild	288	288	288	288
Anzahl Audiokanäle	2/4	2/4	2	4

## Das DV-Format

Bereits Ende der 80er Jahre bemühten sich viele Geräteentwickler um ein Digitalformat für den Heimanwenderbereich. Ein Konsortium verschiedener großer Gerätehersteller wie Thomson, Sony, Philips und Panasonic konnte daraufhin 1994 einen einheitlichen Standard definieren, der zunächst DVC (Digital Video Cassette) später nur DV genannt wurde. Das Format wurde im Hinblick auf die Entwicklung sehr kompakter Geräte konzipiert. Die Kopftrommel hat einen Durchmesser von nur 21,7 mm. Das Band läuft mit einer Geschwindigkeit von 1,88 cm/s. Es werden sehr kleine Cassetten mit 1/4-Band (6,35 mm) und den Abmessungen 66 mm x 48 mm x 12 mm verwendet. Die Spieldauer beträgt hier 60 Minuten, größere Kassetten (125 mm x 78 mm x 15 mm) ermöglichen Spieldauern bis zu 270 Minuten. Die Kassetten enthalten einen Speicher in Form eines ID-Board in dem Basiseigenschaften wie z. B. Bandtype (ME oder MP) festgehalten sind, oder einen Halbleiterspeicher. Der nicht flüchtige MIC-Halbleiterspeicher gestattet die Aufzeichnung zusätzlicher Informationen wie z. B. Szenenmarkierungen durch Icons.

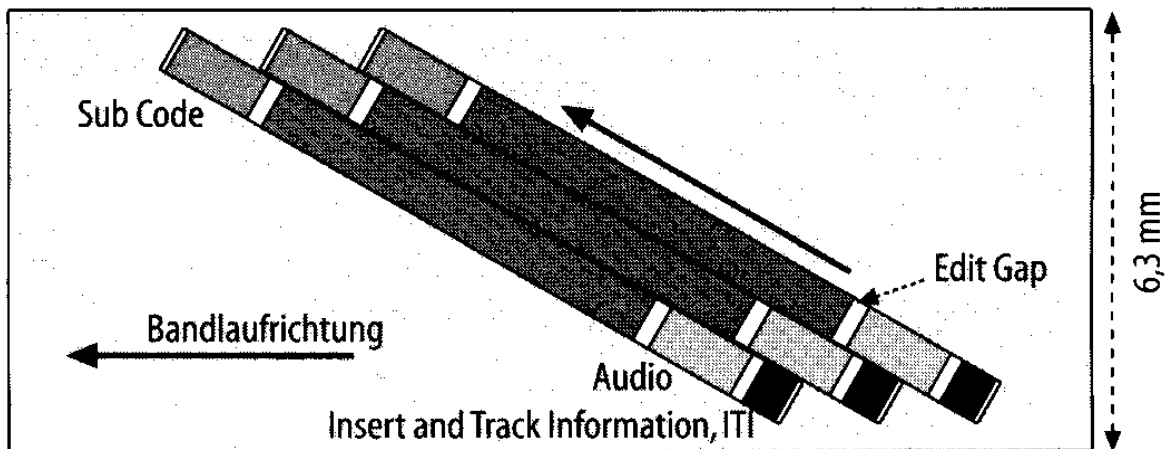
Die Signalspezifikationen (Tabelle oben) entsprechen fast professionellen Maßstäben. Es wird ein 8-Bit-Komponentensignal aufgezeichnet, wobei das Luminanzsignal Y mit 13,5 MHz abgetastet wird. Das Format ist in Europa ebenso einsetzbar wie in den USA, allerdings gibt es einige Unterschiede. Im 625/ 50-System werden die Chrominanzanteile CR und GB mit 6,75 MHz abgetastet, jeder Anteil steht aber nur jede zweite Zeile zur Verfügung (4:2:0). Im 525/60-System wird dagegen statt der vertikalen die horizontale Auflösung reduziert, d. h. die Abtastrate für die Farbdifferenzkomponenten wird halbiert (4:1:1). Eine weitere Einschränkung für den professionellen Einsatz ergibt sich dadurch, dass die Zeilen der vertikalen Austastlücke nicht aufgezeichnet werden. Die Videoausgangsdatenrate beträgt damit 125 Mbit/s, sie wird durch eine DGT-

Datenkompression um den Faktor 5 auf 25 Mbit/s reduziert. Zu den 25 Mbit/s kommen Fehlerschutz, Zusatz- und Audiodaten hinzu, so dass die aufgezeichnete Datenrate insgesamt ca. 42 Mbit/s beträgt. Die Daten werden mit zwei Köpfen auf das Band geschrieben. Vor der Aufzeichnung werden die Daten 24/25-moduliert und ein ATF-System mit vier Pilotfrequenzen realisiert. Schließlich werden sie mit einem NRZI-Kanalcode versehen und auf das Band geschrieben.

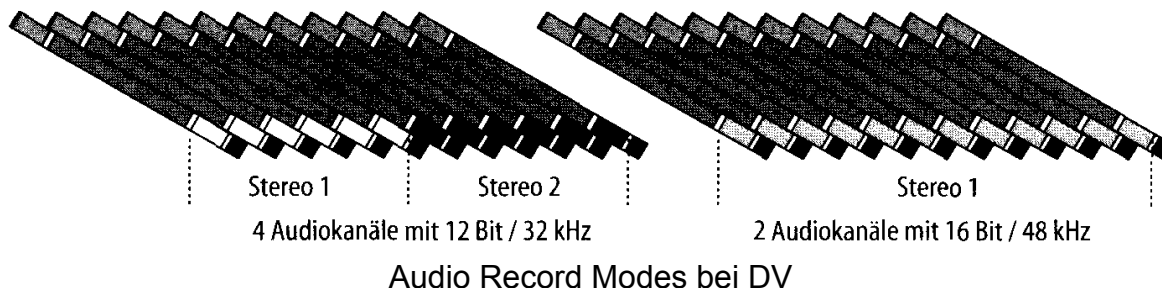
Tabelle: Geometrische Parameter der diversen DV-Formate

	DV	DVCam	DVCPPro	DVCPPr050
Magnetbandbreite	6,3 mm	6,3 mm	6,3 mm	6,3 mm
Bandgeschwindigkeit	1,88 cm/s	2,82 cm/s	3,38 cm/s	6,76 cm/s
Relativgeschwindigkeit	10,2 m/s	10,2 m/s	10,2 m/s	10,2 m/s
Schrägspurlänge	34 mm	34 mm	34 mm	34 mm
Videospurbreite	10 µm	15 µm	18 µm	18 µm
Kopftrommeldurchmesser	21,7 mm	21,7 mm	21,7 mm	21,7 mm
max. Spieldauer (S, M, L)	60/ - /270 Min.	40/ - /180 Min.	33/63/126 Min.	16/30/60 Min.

Alle Signale, inklusive der Steuerdaten, werden auf Schrägspuren aufgezeichnet, dafür sind im 625/50-System pro Bild 12 Spuren und im 525/60-System 10 Spuren erforderlich. Längsspuren sind nur optional vorgesehen, die Abbildung unten zeigt die Spurlage. Die Steuersignale befinden sich im ITI-Sektor (Insert Track Information) am Spuranfang, der bei Insert-Aufnahmen nicht überschrieben wird. Es folgen die Audio- und Videosektoren, und am Schluss der Schrägspur liegt ein Subcode-Bereich, der zur Aufzeichnung der Uhrzeit und



Spurlage beim DV-Format



Audio Record Modes bei DV

von Timecode-Daten genutzt wird. Alle Sektoren sind durch Zwischenräume (Gaps) getrennt und separat editierbar. Die Schrägspurlänge beträgt 34 mm, die Spurbreite 10 µm. Die Tabelle zeigt weitere mechanische Parameter.

Zur Audioaufzeichnung stehen wahlweise zwei Kanäle mit 16 Bit Quantisierung und 44,1/48 kHz Abtastrate oder vier Kanäle mit 12 Bit / 32 kHz zur Verfügung, die separat bearbeitet werden können. Die Audio- und Videodaten können synchronisiert oder unsynchronisiert aufgezeichnet werden (lock/unlock). Die Synchronisation ist bei professionellem Einsatz unverzichtbar, in diesem Fall muss auf 44,1 kHz als Abtastrate verzichtet werden .

Die Datenreduktion beruht auf Einzelbildern (Intraframe) und ermöglicht damit den Einzelbildzugriff. Das bei DV angewandte Datenreduktionsverfahren hat über das einzelne Format hinaus übergeordnete Bedeutung erhalten, da es neben MPEG-2 das einzige Verfahren ist, das nach einer EBU-Empfehlung genügend standardisiert ist, um als Reduktionsverfahren für ganze Produktionskomplexe zum Einsatz kommen zu können. Als herausragendes Merkmal ist dabei die reine Intraframe-Codierung zu nennen, die aber auch bei MPEG-2 mit I-Frame-only erreicht wird. Bei DV wird darüber hinaus die konstante Datenrate nicht dadurch gewonnen, dass wie bei MPEG-2 quasi rückwärtsgewandt die Quantisierung vergrößert wird, wenn der Datenpuffer am Ausgang zu voll wird, sondern vorwärtsgerichtet, indem vor der Datenreduktion mit Hilfe einer Bildanalyse eine Quantisierungstabelle bestimmt wird, die für eine gegebene Bitrate qualitativ optimal ist. Auf diese Weise ergibt sich die für die Magnetbandaufzeichnung wichtige konstante Datenmenge pro Frame, auch ohne den Einsatz eines weiteren sog. Smoothing Buffers, zur Glättung einer nichtkonstanten Datenrate.

## **DVCam**

Dieses Format ist die Weiterentwicklung des DV-Formats für anspruchsvollere Anwendungen (Professional Sector) von Sony. Die Datenverarbeitung bleibt die gleiche wie bei DV, aber die Geräteausstattung und die Anschlüsse entsprechen den Anforderungen des professionellen Bereichs. DV und DVCam sind nicht in beiden Richtungen, sondern nur abwärts kompatibel. Die Tabellen zeigen die Spezifikationen. Der wesentliche Unterschied besteht in der Erhöhung der Bandgeschwindigkeit von 18,8 mm/s auf 28,2 mm/s und damit einer Erhöhung der Spurbreite von 10 µm auf 15 µm. Auf diese Weise soll die Aufzeichnung robuster werden. Die maximale Aufzeichnungsdauer auf einer Mini-DV-Cassette sinkt damit von 60 auf 40 Minuten und bei Standard-Cassetten von 270 auf 180 Minuten. Die Audioverarbeitung erfolgt im Lock-Mode, damit ist wahlweise die Aufzeichnung von 2 Kanälen mit 48 kHz/16 Bit oder von 4 Kanälen mit 32 kHz/12 Bit möglich. Das Format bietet optional eine Timecode-Verarbeitung.

## **DVCPro**

Diese Bezeichnung steht für die Weiterentwicklung des DV-Formates für den Professional Sektor von Panasonic. Die Spurbreite wird noch weiter als bei DVCam, nämlich von 10 µm auf 18 µm erhöht. Das geschieht durch eine auf 33,8 mm/s gesteigerte Geschwindigkeit. Die Geräte werden auch hier professionellen Ansprüchen entsprechend ausgestattet. Zur Audioaufnahme ist nur der 2-Kanalbetrieb mit 48 kHz/16 Bit vorgesehen, vierspurig bespielte Cassetten können aber wiedergegeben werden. Zusätzlich wird das Audiosignal auf einer longitudinal-Cue-Spur aufgezeichnet um ein einfaches Monitoring beim schnellen Umspulen zu erreichen. Hinzu kommt die Aufzeichnung einer CTLSpur, mit deren Hilfe eine schnellere Servoreaktion erzielt werden soll. Ebenso wie die Cue-Spur ist auch diese

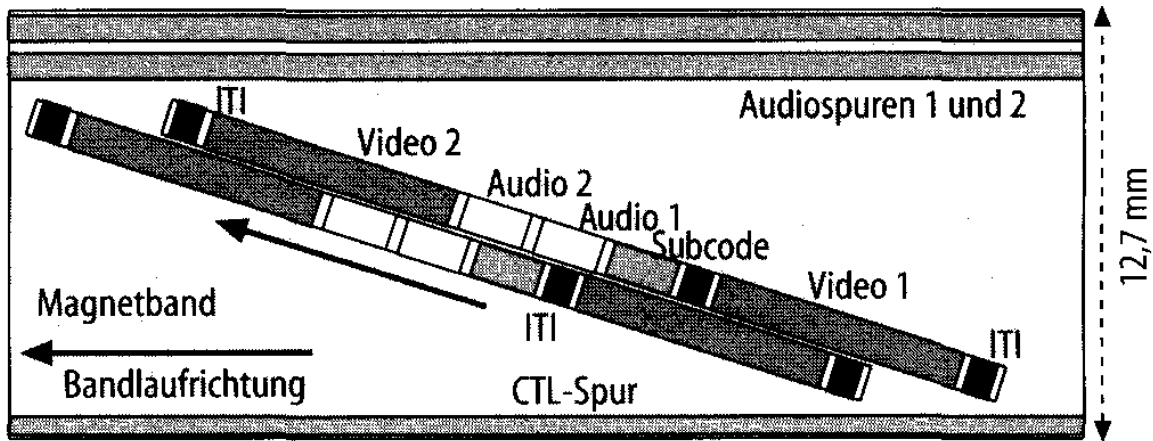
Spur nur bei DVCPPro zu finden. Die Längsspuren liegen an den Bandrändern. Das Format ermöglicht die Nutzung von Timecode.

Die Signalverarbeitung von DVCPPro unterscheidet sich in Europa von der beim Standard-Format, da hier, ebenso wie in NTSC-Ländern, mit 4:1:1-Abtastung gearbeitet wird. Nach der Abtastung entstehen für jedes Bild 720 x 576 Luminanzwerte und für jedes Farbdifferenzsignal 180 x 576 Werte. Letztere werden in einer Preshuffle-Stufe so umgeordnet, dass 360 x 288 Werte vorliegen und die Chromaabtastlage wieder die gleiche ist wie bei der 4:2:0-Abtastung.

Bei DVCPPro können die Standard-Cassettengrößen verwendet werden, die aufgrund der erhöhten Bandgeschwindigkeit eine Spielzeit von maximal 123 Minuten erlaubt. Darüber hinaus können nur bei diesem Format sog. MidsizeCassetten eingesetzt werden, deren Abmessungen zwischen denen des Standard- und Mini-DV-Formats liegen und damit eine Spielzeit von 63 Minuten bieten. Der Cassettenaustausch zwischen DVCam und DVCPPro war anfänglich nur für DVCPPro möglich und für DVCam nicht. Neuere DVCam-Geräte erlauben auch die Wiedergabe von DVCPPro. Beide Formate sind abwärtskompatibel zu DV, können also DV-Cassetten wiedergeben. Die Tabellen zeigen die mechanischen und die Signalspezifikationen.

### **DVCPPro50**

Das Format DVCPPro ist im EB-Bereich erfolgreich, für den Einsatz im Produktionsbereich gibt es einige Hindernisse: Die Chrominanzauflösung ist zu gering, da sie nicht einer 4:2:2-Abtastung entspricht, die Datenreduktionsfaktor ist zu hoch und es fehlen zwei Audiokanäle. Um diese Nachteile auszuräumen wurde DVCPPro zu DVCPPro50 weiterentwickelt. Der Name rührt daher, dass statt einer Video-Nettodatenrate von 25 Mbit/s jetzt 50 Mbit/s aufgezeichnet werden. Aus Kompatibilitätsgründen wurde die Bandgeschwindigkeit gegenüber DVCPPro verdoppelt, um die höhere Datenrate aufzeichnen zu können. Aus dem gleichen Grund werden auch bei der Signalverarbeitung zwei DVCPPro-Schaltungen parallel betrieben, die Datenwortbreite von 8 Bit wird beibehalten. Aus der Addition von zweimal 4:2:0 ergibt sich quasi ein 4:2:2:4-Abtastmuster. Statt aber die Y-Samples doppelt aufzuzeichnen wird der Speicherplatz genutzt, um die Daten aufzunehmen, die aus der Verringerung des Datenreduktionsfaktors entstehen. Der ursprüngliche Faktor war 5:1. Die neue 4:2:2-Abtaststruktur erfordert 2/3 der Werte des 4:2:2:4-Abtastmusters, so dass der Reduktionsfaktor auf 2/3 von 5:1, also auf 3,3:1 gesenkt werden kann. Die Verdopplung der Speicherkapazität ergibt dabei auch die gewünschte Verdopplung der Audiokanäle. Mit diesen technischen Parametern genügt DVCPPro50 fast völlig den Ansprüchen die an MAZ-Formate im Produktionsbereich gestellt werden. Es ist aber im Einzelfall zu prüfen, ob auch alle die als selbstverständlich angesehenen Funktionen gegeben sind, die man von Betacam SP gewohnt ist, wie z. B. die Möglichkeit einer weit reichenden variablen Wiedergabegeschwindigkeit.



Spurlage beim D9-Format

## D9

Das heute als D9 bezeichnete Format von JVC wurde unter der Bezeichnung Digital 5 auf den Markt gebracht. Damit wird auf eine Brücke zum S-VHS-Format verwiesen, auf dessen mechanischen Eigenschaften das Digitalformat beruht und zu dem es abwärtskompatibel ist. Es wird ein 1/2-breites Magnetband in einer Cassette verwendet, die äußerlich weitgehend der S-VHS-Cassette entspricht. Die mechanischen Parameter sind in der Tabelle dargestellt, die Signalparameter in einer weiteren Tabelle.

Bei D9 wird ein 4:2:2 abgetastetes Signal mit 8 Bit aufgezeichnet. Dabei wird die gleiche Signalverarbeitung wie bei DVCPRO50, also mit zwei parallel arbeitenden DV-Codern, eingesetzt. Die Spurlage unterscheidet sich natürlich von der bei DV, in der Abb. wird deutlich, dass sie aus Kompatibilitätsgründen wie das S-VHS-Format zwei Audiospuren am oberen und eine am unteren Rand des Bandes enthält. Dazwischen liegen die für die Digitaldaten genutzten Schrägspuren, die so aufgeteilt sind, dass der Audio- und Subcode-Bereich in der Bandmitte liegen. Hinzu kommt das ITI-Segment, das nicht nur am Spurbeginn, sondern auch in der Mitte und am Ende aufgezeichnet wird. Ein Videobild wird im 625/50-System in 12 Spuren und im 525/60-System in 10 Spuren aufgezeichnet. Zur Audioaufnahme stehen 2 oder 4 Kanäle mit 48 kHz/i6 Bit-Verarbeitung zur Verfügung. Das D9-Format bietet zu günstigen Preisen eine hohe Signalqualität, die in vielen Fällen auch für hochwertige Produktionen ausreicht, allerdings ist das Format aus Markt- und Kompatibilitätsgründen nur wenig verbreitet. Es soll mit einer Variante, die 100 Mbit/s aufzeichnet, für den HDTV-Einsatz weiterentwickelt werden.

	D9	S-VHS	Betacam SX	DigiBeta
Magnetbandbreite	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Bandgeschwindigkeit	5,77 cm/s	2,3 cm/s	5,96 cm/s	9,67 cm/s
Relativgeschwindigkeit	14,5 m/s	4,85 m/s		19 m/s
Videospurlänge	88 mm	100 mm		123 mm
Videospurbreite	20 µm	49 µm	32 µm	24 µm
Schrägspuren/Bild	12 (bei 625Z)	2	12/GOP	12 (bei 625Z)
max. Spieldauer (S, M, L)	34/64/104 Min.	240 Min.	60/90/184 Min.	40/124 Min.

## Digital 8

Ein weiteres Beispiel für die Verwendung der DV-Datenreduktion ist das zweite Digitalformat von Sony, das für den Heimanwenderbereich gedacht ist. Es wird in Anlehnung an das Video8- bzw. Hi8-Format mit Digital8 oder D8 bezeichnet. Das Format arbeitet DV-gemäß mit 4:2:0-Abtastung bei 8 Bit und wurde entwickelt, um eine Abwärtskompatibilität zu dem im analogen Camcorder-Markt weit verbreiteten Format Hi8 zu erreichen. D8-Geräte zeichnen auf Hi8-kompatiblen Cassetten nur digital auf, sind aber in der Lage, analoge Video8- oder Hi8-Aufzeichnungen wiederzugeben, wobei die Signale sogar gewandelt und über i-Link (IEEE 1394) digital ausgegeben werden können. Die Daten eines Vollbildes werden in 6 Spuren der Breite 16 µm gespeichert, damit reicht eine 90-Minuten Hi8-Cassette für 60 Minuten Digitalaufzeichnung aus.

## Digitale Komponentenaufzeichnung mit MPEG-Datenreduktion

### Betacam SX

Sony setzt im Markt für preiswertere Produktionen nicht allein auf DV Cam, sondern möchte eine höhere Signalqualität erreichen und gleichzeitig die als zukunftssträftig eingestufte MPEG-2-Codierung in allen Bereichen preiswerter Produktion etablieren. Betacam SX ist das erste MAZ-Format, das mit einer Datenreduktion nach MPEG-2 arbeitet. Es ist für den professionellen Bereich konzipiert, es weist Ähnlichkeiten mit dem Format Digital Betacam auf und ist abwärtskompatibel zu Betacam SP. Als typisches Einsatzgebiet wird der News-Bereich angegeben, wo es nicht auf höchste Signalqualität, dafür aber auf kostengünstige Produktion ankommt. Geringe Kosten werden durch preiswerte Bandmaterialien und geringen Bandverbrauch durch einen hohen Datenreduktionsfaktor erreicht. Die Datenreduktion nach MPEG-2 bietet dabei die Möglichkeit der Verwendung eines Reduktionsfaktors von 10:1 durch Nutzung von Groups of Pictures in der IB-Form. Damit wird eine Bildqualität erzielt, die bei reiner Intraframe-Codierung nur mit Reduktionsfaktoren von 5:1 bis 3:1 erreichbar ist. Vor der Datenreduktion liegt ein digitales Komponentensignal mit Abtastraten im Verhältnis 4:2:2 und 8-Bit-Auflösung vor. Wie man es von professionellen Systemen gewohnt ist, werden auch Zeilen der vertikalen Austastlücke aufgezeichnet (insgesamt 608). Eine Besonderheit ist, dass für dieses Format Geräte verfügbar sind, die einen Harddiskrecorder mit Festplatten enthalten (Hybrid Recorder), so dass einfache Schnitte mit nur einem Gerät möglich sind. Die Übertragung der Daten zur Festplatte und auch nach außen kann mittels SDDI bzw. SDTI in 4-facher Echtzeit vorgenommen werden.

	D9	Betacam SX	Digital Betacam
Y-Bandbreite (-0,5 dB)	5,75 MHz	5,75 MHz	5,75 MHz
C-Bandbreite (-0,5 dB)	2,75 MHz	2,75 MHz	2,75 MHz
Pegelaufösung	8 Bit	8 Bit	10 Bit
Signal/Rauschabstand (Y)	> 56 dB	> 56 dB	> 56 dB
Abtastratenverhältnis	4:2:2	4:2:2	4:2:2
Datenreduktionsfaktor	3,3:1	10:1	2:1
aufgezeichnete Datenrate	99 Mbit/s	43,8 Mbit/s	126 Mbit/s
Video-Datenrate	50 Mbit/s	18 Mbit/s	108 Mbit/s
aufgez. Zeilenzahl/Halbbild	288	304	304
Anzahl Audiokanäle	2/4 (16 Bit)	4 (16 Bit)	4 (20 Bit)

Es wird auf 1/2"-Metallpartikelband aufgezeichnet, das preisgünstig ist (ca. 31 € für 184 Minuten) und mit einer Geschwindigkeit von ca. 6 cm/s läuft. Damit wird die Laufzeit einer Betacam SP-Cassette, die hier für die Aufzeichnung genutzt werden kann, fast verdoppelt. Um das Format robust zu machen, wurde die Spurbreite 32 µm gewählt, die Aufzeichnung eines Vollbildes erfordert 12 Spuren im 625 Zeilensystem. Das Spurbild ähnelt dem von Digital Betacam. Beide Formate sind kompatibel zu Betacam SP. Die Tabellen zeigen die Spezifikationen und einige Parameter im Vergleich zu Digital Betacam. Die Gesamtdatenrate auf dem Band beträgt 44 Mbit/s, davon entfallen ca. 18 Mbit/s auf das Videosignal und 3 Mbit/s auf die vier Audiokanäle, die mit 16 Bit und 48 kHz ohne Datenreduktion aufgezeichnet werden. Die restliche Datenrate steht für einen aufwendigen Fehlerschutz zur Verfügung. Das Format zeichnet einen MPEG-Elementarstrom nach 4:2:2P@ML auf, intern muss dieser aber, wie bei jedem Bandformat, durch einen Umordnungsprozess für die Bandaufzeichnung optimiert werden .

Betacam SX bietet eine bessere Bildqualität als Betacam SP und ist aufgrund der 4:2:2-Abtastung besser für den Produktionsbereich geeignet als DVCPro, das für ein ähnliches Marktsegment konzipiert ist. Problematisch kann allerdings die Tatsache sein, dass aufgrund der IB-Bildgruppen im Prinzip nur eine Schnittgenauigkeit von zwei Bildern erreicht wird. Dieser Umstand wird heute als nicht mehr akzeptabel angesehen und daher wurde eine Möglichkeit für den bildgenauen Schnitt auch für die IB-Bildfolgen geschaffen. Maßgabe ist dabei, dass die IBIB-Reihenfolge nicht unterbrochen wird. Das Problem ist, dass ein B-Frame am Schnittpunkt eines seiner Referenzbilder verliert, da es ja auf bidirektionaler Prädikation beruht. Zur Lösung des Problems werden die Frames am Schnittpunkt mit Hilfe von speziellen Leseköpfen vor dem Einfügen einer neuen Szene gelesen und die kritischen Bilder werden von B- in sog. Bu-Bilder umcodiert, die nur noch unidirektional von den Nachbarbildern abhängen.

## **MPEG-2-Recorder**

Betacam SX wurde nicht sehr gut am Markt angenommen, da für ein hochwertiges professionelles Format eine Datenrate von 50 Mbit/s mit bildgenauem Schnitt gefordert wird. Ein solches wird gegenwärtig von Sony als zweites professionelles MAZ-Format entwickelt, das auf MPEG-2 beruht. Der MPEG-Recorder bietet I-Frame-only-Codierung bei Aufzeichnung eines Signals im 4:2:2P@ML-Format mit 50 Mbit/s. Das Format bietet acht Audiokanäle PCM, 16 Bit/48 kHz und soll kompatibel zu Betacam SX, Betacam SP und Digital Betacam sein, deren Signale als MPEG-Datenstrom wiedergegeben werden.

## **D-VHS**

Für die Aufzeichnung von MPEG-Datenströmen wird auch ein Heimanwendergerät entwickelt. Es basiert auf dem VHS-Standard und wurde vom Systementwickler JVC deshalb als D-VHS bezeichnet. Damit VHS- und S-VHSAufzeichnungen wiedergegeben werden können, entspricht die Spurlage der von VHS, wobei in den Videoschrägspuren nun Digitaldaten gespeichert werden, die als MPEG-2 Transportstrom codiert sind. D-VHS ist somit dafür konzipiert, DVB-Datenströme als sog. Bitstream-Recorder aufzuzeichnen. Die Wiedergabe erfordert einen MPEG-Decoder, der sich aber nicht unbedingt im Gerät, sondern auch im TV-Empfänger oder in der Set-Top Box befinden kann. Auf einem D-VHS-Band können bis zu 44 GByte gespeichert werden. Die maximale Datenrate beträgt 14,1 Mbit/s bei Standardgeschwindigkeit, mit höherer Geschwindigkeit stehen 28,2 Mbit/s für HDTV (1080i oder 720p) zur Verfügung, während die Low Speed-Variante bei Datenraten zwischen 2 und 7 Mbit/s Spieldauern von über 30 Stunden erlaubt. D-VHS-

Geräte bieten z. T. auch Schnittstellen zu anderen Signalformen. Wenn eine i-Link-Schnittstelle nach IEEE 1394 zur Verfügung steht, bedeutet das hier aber nicht, dass ein DV-Signal aufgezeichnet oder decodiert wird, sondern, dass das Geräte einen MPEG-Transportstrom über diese Schnittstelle empfängt.



**Bild:** DigiBand-Gerät von Sony.



**Bild:** DigitalSchnittplatz