

## A14 Analoge Magnetbandaufzeichnungssysteme

### A14.1 Der Löschvorgang

Voraussetzung für eine störungsfreie Aufnahme ist, dass das Band völlig entmagnetisiert ist. Vor jeder Aufnahme wird daher das Band an einem *Löschkopf* vorbeigeführt und in einem sich ändernden Hochfrequenzmagnetfeld gelöscht (Bild A14.1). Beim Durchlaufen des Hochfrequenzmagnetfeldes werden die Elementarmagnete ummagnetisiert und zunächst auf die maximale Hystereseschleife und dann allmählich in den magnetischen Nullpunkt gebracht.

Die verwendeten *Löschfrequenzen* liegen zwischen 10...120 kHz.

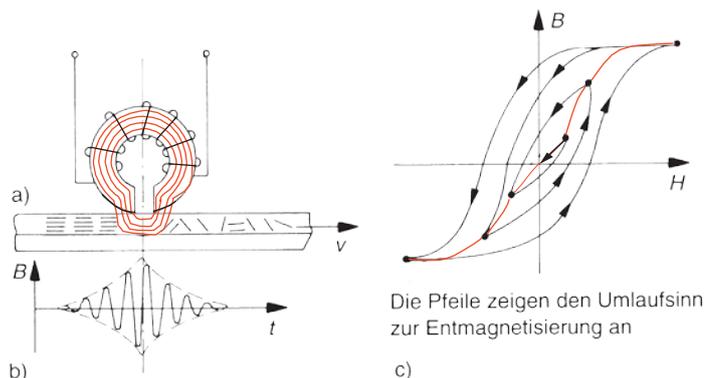


Bild A14.1 Löschvorgang bei der Magnetaufzeichnung

- a) Löschkopf mit breitem Spalt und großer Streuung
- b) Verlauf der magnetischen Flussdichte im Band beim Vorbeilaufen am Löschkopf
- c) Hystereseschleifen eines Elementarmagneten bei der Löschung

### A14.2 Der Aufzeichnungsvorgang

Das magnetische Feld des Aufnahmekopfes erzeugt in den Elementarmagneten des Bandes eine magnetische Flussdichte  $B$ , die von der Größe des Signalwechselstromes  $I \sim H$  abhängig ist. Die Magnetisierung der Elementarmagnete durchläuft die Hystereseschleifen (Bild A14.2).

Verlässt das Tonband den Bereich des Aufnahmekopfes, bleibt eine remanente magnetische Flussdichte  $B_r$  auf dem Band zurück. Die Umkehrpunkte der Hystereseschleifen liegen auf der nicht-linearen Kommutierungskurve (Bild A14.3), die zu Verzerrungen des aufgezeichneten Signals führt. Mit Hilfe der Hochfrequenzvormagnetisierung wird dieser nichtlineare Bereich unterdrückt, d.h., die für die Aufzeichnung maßgeblichen Signalamplituden werden in den linearen Kennlinienbereich verschoben, Bild A14.4.

Bild A14.2 Hystereseschleifen bei unterschiedlicher Feldstärke  $H$ ;  $B_r$  ist die zurückbleibende Flussdichte im Band.

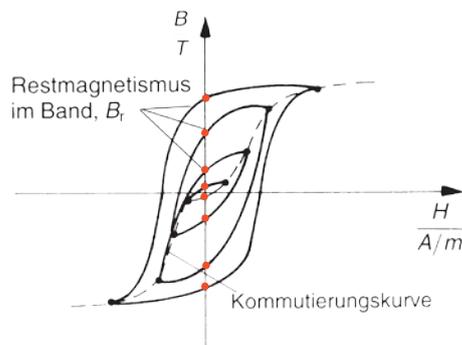
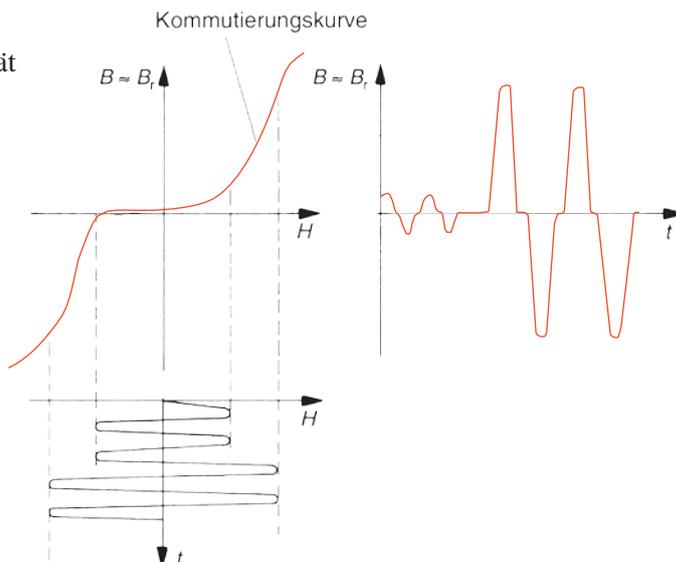


Bild A14.3  
Verzerrungen durch die Nichtlinearität der Kommutierungskurve bzw. des Verlaufes  $B_r=f(H)$



### A14.3 Der Wiedergabevorgang

Die *Spaltbreite* bei einem Tonkopf ist der magnetische Einflussbereich auf das Band (Bild A14.5). Die Wellenlänge  $\lambda$  einer auf dem Tonband aufgezeichneten Schwingung der Frequenz  $f$  ergibt sich zu:

$$\lambda = \frac{\text{Kopf-Bandgeschwindigkeit}}{\text{Frequenz}} = \frac{v}{f} \tag{Gl. A14.1}$$

Dabei beschreibt  $v$  die *relative Band-Kopfgeschwindigkeit*, die z.B. bei einem Tonbandgerät aufgrund der Längsaufzeichnung der Bandtransportgeschwindigkeit entspricht.

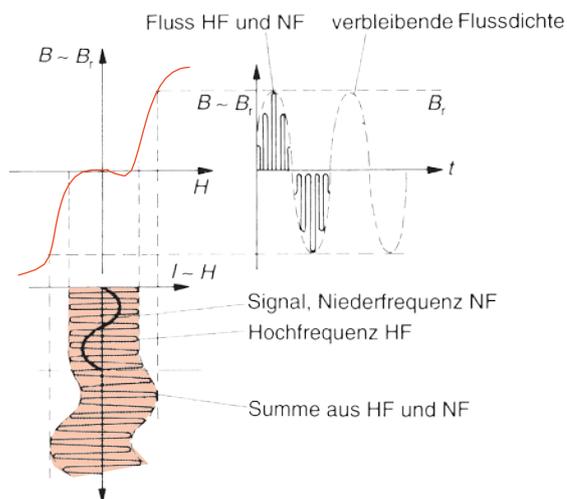


Bild A14.4 Aufzeichnung mit Hochfrequenzvormagnetisierung

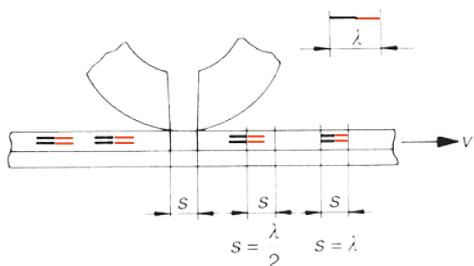


Bild A14.5 Zusammenhang zwischen Spaltbreite und Wellenlänge

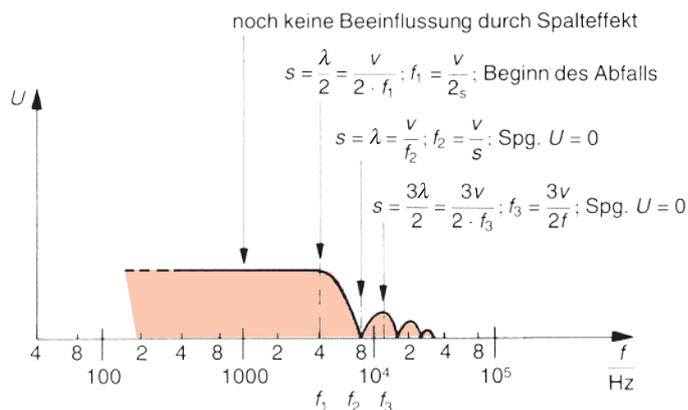


Bild A14.6 Spalteffekt; Frequenzgang der induzierten Spannung in Abhängigkeit von der aufgezzeichneten Frequenz. Die Kurve ist für  $s = 6 \mu\text{m}$  und  $v = 4,76 \text{ cm/s}$  gezeichnet.

Bild A14.7 Theoretisch erreichbare, durch den Spalteffekt bedingte Grenzfrequenzen

$v$ cm/s	$s$ $\mu\text{m}$	$f_1$ kHz	$1,5 \cdot f_1$ kHz	$f_2$ kHz
19,5	1	95,2	142,8	190,4
	2	47,6	71,4	95,2
	4	23,8	35,7	47,6
	8	11,9	17,8	23,8
9,5	1	47,6	71,4	95,2
	2	23,8	35,7	47,6
	4	11,9	17,8	23,8
	8	5,95	8,9	11,9
4,76	1	23,8	35,7	47,6
	2	11,9	17,8	23,8
	4	5,95	8,9	11,9

Eine optimale Wiedergabe erhält man, wenn die Spaltbreite  $s \leq \lambda/2$  ist. Bei kürzerer Wellenlänge  $s \geq \lambda/2$  heben sich die Felder der in verschiedener Richtung magnetisierten Teilchen – in Bild A14.5 schwarz und rot dargestellt – immer stärker gegenseitig auf und bei  $s = \lambda$  wird keine Spannung mehr induziert.

Für die von  $\lambda$  bzw.  $f$  abhängige induzierte Spannung des Wiedergabekopfes ergibt sich damit der in Bild A14.6 gezeigte Verlauf. Fallen drei oder fünf Halbwellen in den Spalt, so wird zwar wieder eine Spannung induziert, diese Kurvenstücke werden jedoch technisch nicht genutzt, d.h., der Frequenzgang bei der Wiedergabe findet nur bis ungefähr bis  $1,5 \cdot f_1$  Berücksichtigung. Die bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Spaltbreite erreichbaren Grenzfrequenzen sind in Bild A14.7 dargestellt.

Bei der Aufzeichnung bewirkt die Aufnahmekopfinduktivität durch zunehmenden Blindwiderstand  $X_L = \omega \cdot L$  einen Rückgang des Sprechstroms bei hohen Frequenzen. Durch einen Konstantstrombetrieb des Sprechkopfes können magnetische Bandflüsse erreicht werden, die unabhängig von der Frequenz sind.

Bei der Wiedergabe ist die im Wiedergabekopf induzierte Spannung proportional der Flussänderungsgeschwindigkeit  $\Delta\phi/\Delta t$ , d.h., die induzierte Spannung nimmt mit  $f$  bzw.  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  zu. Diese sich daraus ergebende Höhenanhebung wird als *Omega-Frequenzgang* bezeichnet und wirkt teilweise dem Spalteffekt entgegen. Bei tiefen Frequenzen ergibt sich allerdings ein starker Amplitudenabfall der Lesespannung, der durch eine Anhebung tiefer Frequenzen aufgehoben werden muss.

Je kürzer die Wellenlänge der aufgezeichneten Schwingung ist, desto näher liegen die verschiedenen magnetisierten Zonen des Bandes nebeneinander. Es kommt an den Grenzen zu Aufhebungen der Magnetisierung oder zu einer teilweisen Ummagnetisierung. Diese *Selbstentmagnetisierung* ist eine materialabhängige Bändeigenschaft und begrenzt die Verwendbarkeit einer Bandsorte für die Aufzeichnung hoher Frequenzen. Durch einen sehr feinen magnetischen Werkstoff, d.h., mit sehr feinen magnetischen Partikeln, sowie einer hohen Koerzitivfeldstärke kann diesem Effekt entgegengewirkt werden.

Bei der Entzerrung des Frequenzganges muss da-her auf die Bandsorte geachtet werden. Der ideale Wiedergabeprozess soll insgesamt den Spannungsverlauf der Aufnahme möglichst exakt wiedergeben. Um dieses zu erreichen, erfolgt eine Frequenzgangentzerrung, d.h. eine frequenzabhängige Verstärkung des Wiedergabesignals.

#### A14.4 Systemtechnik der analogen Audioaufzeichnung

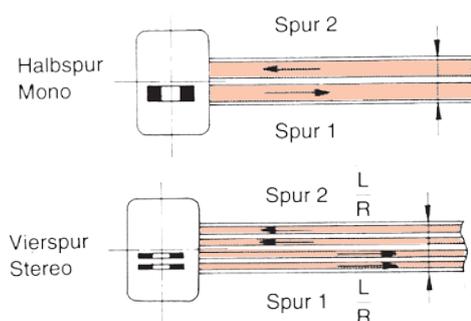
Hochwertige analoge Audiorecorder besitzen für Aufnahme, Wiedergabe und das Löschen getrennte Tonköpfe, an die folgende Forderungen gestellt werden:

- Der *Aufnahmekopf* sollte geringe Verluste und eine kleine Eigenkapazität haben, damit die HF-Vormagnetisierung nicht unterdrückt wird, und einen guten Feldaustritt zur Durchmagnetisierung des Bandes aufweisen. Die Spaltbreite beträgt typischerweise 3...20  $\mu\text{m}$ .
- Der *Wiedergabekopf* muss eine hohe Empfindlichkeit und eine möglichst kleine Spaltbreite im Hinblick auf eine hohe obere Grenzfrequenz haben. Hier liegt die typische Spaltbreite zwischen 1 und 8  $\mu\text{m}$ .
- Der *Löschkopf* weist eine größere Spaltbreite (100...300  $\mu\text{m}$ ) auf, um einen guten Löscheffekt zu erzielen.

Aus wirtschaftlichen Gründen werden Aufnahme- und Wiedergabekopf häufig kombiniert. Bei diesen *Kombiköpfen* liegt die Spaltbreite zwischen 2 und 6  $\mu\text{m}$ .

Zur Aufnahme und Wiedergabe von Stereosignalen sind Mehrfachköpfe erforderlich, da die aufgezeichnete Magnetspur geteilt wird. Die geringere Spurbreite bei gleichen Bandabmessungen verringert die Übersprechdämpfung zwischen den Signalen der Spuren. Tonköpfe werden zur Vermeidung magnetischer Einstreuungen aus der Umgebung abgeschirmt.

Die Breite der Normaltonbänder beträgt einheitlich 6,25 mm ( $\approx \frac{1}{4}$  Zoll), die der Kassettentbänder 3,81 mm. Diese Bänder können unterschiedlich in einer oder in beiden Richtungen (z.B. Compact-Cassette) beschrieben werden. Die geometrische Anordnung der Spuren auf dem Bandmaterial wird als *Spurbild* bezeichnet und ist typisch für jeden Standard. Für ein Kassettengerät ist das Spurbild in Bild A14.8 dargestellt: Das Band wird durch die Wendemöglichkeit der Kassetten im Fall des Mono-Betriebes in 2 gegenläufige Spuren aufgeteilt. Wird das Band mit Stereosignalen beschrieben, so entstehen gegenläufige Doppelspuren.



#### A14.8 Spurbild bei Kassettengeräten (Blick auf das Band)

### A14.5 Bandwerkstoffe und Bandtypen

An die mechanischen und magnetischen Eigenschaften der Magnetbänder werden generell sehr hohe Anforderungen gestellt:

Mechanisch sollte dieses eine hohe Zugfestigkeit zur Aufnahmen der Kräfte bei Start-Stopp-Betrieb aufweisen. Ferner sollte es dünn sein, um bei kompakten Wickeldurchmessern eine lange Spielzeit zu erlauben. Es sollte elastisch sein und darf keine bleibende Dehnung erleiden, sollte

Bandtyp	Dicke gesamt $d_g/\mu\text{m}$	Dicke Schicht $d_s/\mu\text{m}$	bevorzugte Verwendung	
Spulenband, Breite 6,3 mm (1/4")				
Standardband	52	12 ... 20	Studiotechnik bei 38,1 cm/s Archivbänder Heimstudiotechnik Geräte niedriger Bandgeschwindigkeit (wegen Dehnung)	
Langspielband		10 ... 15		
Doppelspielband Dreifachband	26 18	8 ... 13 6		
Kassettenband, Breite 3,81 mm				
Dreifachband	18	6	C 60	für Kassetten bzw. Kassettengeräte bei $v = 4,76$ cm/s
Vierfachband	13	< 6	C 90	
Sechsfachband	10	< 5	C 120	

Bild A14.9 Bandtypen

langzeitstabil und klimaunempfindlich sein und nicht schrumpfen. Eine besondere Forderung ist die Haftfähigkeit der magnetischen Schicht bei glatter Oberfläche, um den Abrieb des Materials zu minimieren.

Als Forderungen an die magnetischen Eigenschaften sind vor allem eine große Koerzitivfeldstärke wegen Selbstentmagnetisierungs- und Kopiereffekten sowie eine hohe Remanenzkraftflussdichte für die Wiedergabe zu nennen. Ferner sollte das Band schwer entmagnetisierbar sein, um die Einwirkung von Fremdfeldern zu reduzieren. Im Hinblick auf eine hohe Grenzfrequenz müssen die Elementarbereiche klein sein, und zur Verringerung des Eigenrauschens ist auf eine hohe Gleichmäßigkeit der Schicht zu achten.

Magnetwerkstoff Werkstoffbezeichnung	Bandfluss- zeitkonstanten $\tau/\mu\text{s}$	HF-Vormagneti- sierung, bezogen auf $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Band- sorte
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Gamma-Hämatit	3180 120	100%	I
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Co}$ , Gamma-Hämatit mit Cobalt dotiert	3180 120	$\approx 150\%$	
$\text{CrO}_2$ , Chromdioxid	3180 70	$\approx 140\%$	II
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2$ , Zweischicht- band	3180 70 (120)	$\approx 130\%$	
FE, Reineisen, Metall	3180 70	$\approx 250\%$	III
			IV

Bild A14.10 Bandsorten nach Magnetwerkstoffen

Die genannten Forderungen sind dabei auch bei relativ kleinen Bandgeschwindigkeiten zu erfüllen, um einen wirtschaftlichen Bandverbrauch realisieren zu können, und widersprechen sich teilweise, so dass jeder Bandtyp ein Kompromiss darstellt. Dieses gilt insbesondere hinsichtlich der Langzeitstabilität. Die Spielzeiten auf Spulen oder Kassetten liegen zwischen 30, 45, 60, 90, 120 und 180 Minuten. Bild A14.9 zeigt eine Zusammenstellung üblicher Bandtypen.

Als Trägerfolie für Magnetbänder wird vorzugsweise Polyethylen (PE) und Polyester (PU) verwendet. Als *Magnetwerkstoffe* werden verschiedene Typen eingesetzt, die jeweils andere Eigenschaften haben und daher teilweise einer Umschaltung der Aufnahme- und Wiedergabeentzerrung sowie der Vormagnetisierung bedürfen. In Bild A14.10 sind exemplarisch die Eigenschaften von Magnetbandsorten zusammengestellt.

### A14.6 Die Bandflusnorm

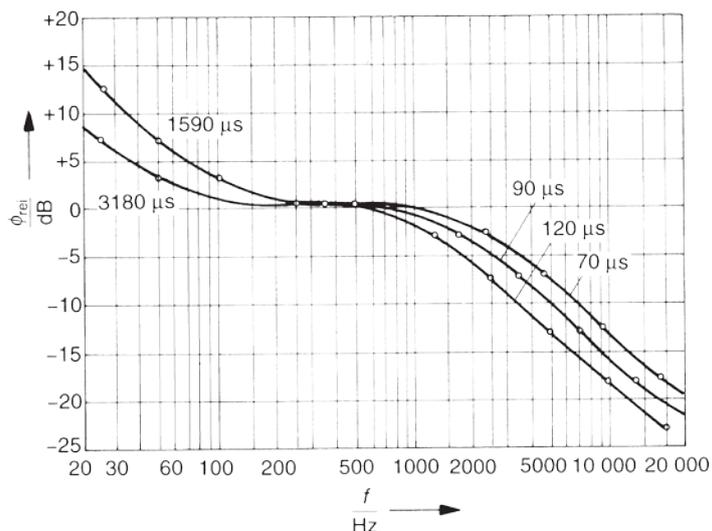
Das Tonsignal durchläuft von der Aufzeichnung bis zur Wiedergabe eine Vielzahl verzerrender und entzerrender Frequenzgänge. Um bespielte Tonbänder auf beliebigen Geräten ohne Qualitätsverlust abspielen zu können, wurde international der Frequenzgang des Bandflusses festgelegt. Die Bandflusskurve (Bild A14.11) wird durch die Angaben von zwei Zeitkonstanten bestimmt, wobei  $T_U$  die Tiefenanhebung und  $T_O$  die Höhenabsenkung fixiert.

Jede Zeitkonstante entspricht einer Grenzfrequenz  $f_g$  entsprechend der Formel:

$$\omega_g = \frac{1}{\tau} \quad \text{und} \quad f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} \tag{Gl. A14.2}$$

Bei  $f_{go}$  ist der Bandfluss um  $-3$  dB abgefallen; zu höheren Frequenzen fällt er weiter mit  $\approx 6$  dB je Oktave. Zwischen den beiden Grenzfrequenzen wird der Frequenzgang des Bandflusses ausgleichend vermittelt.

Bild A14.11  
Bandflusskurven für verschiedene Zeitkonstanten;  
 $\Phi_{rel}$ : relativer Bandfluss



Als Mittenfrequenz wird

$$f_m = \sqrt{f_{gu} \cdot f_{go}} \tag{Gl. A14.3}$$

angenommen, der relative Bandfluss in dB ist bei dieser Frequenz  $\Phi_{rel} = 0$  dB. Die Bandflusskurve ist abhängig von der Bandgeschwindigkeit und vom Bandmaterial.

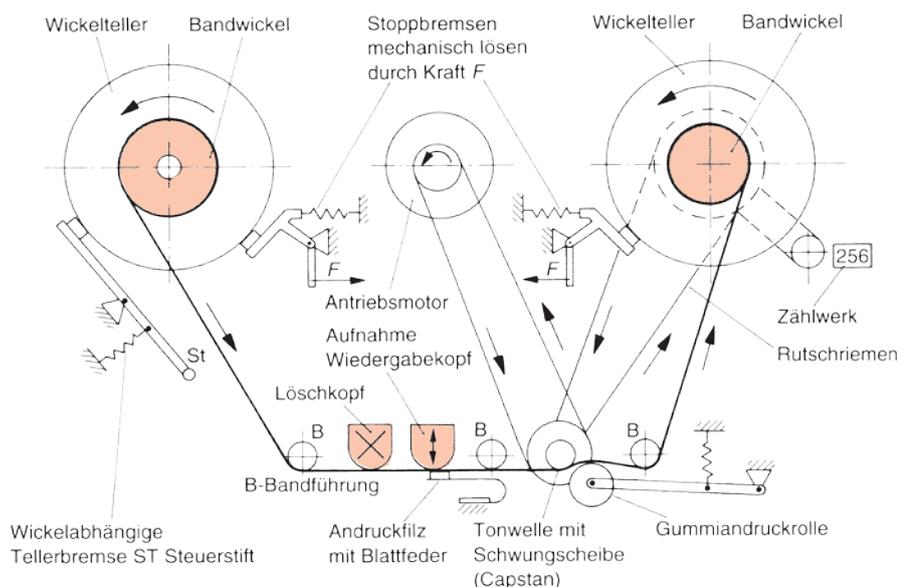


Bild A14.12 Bandlaufschema für Tonbandgerät

### A14.7 Aufbau analoger Audioaufzeichnungsgeräte

Studioeräte besitzen für den Antrieb der Tonwelle sowie der beiden Wickelteller drei Antriebsmotoren, während Consumer-Geräte häufig nur einen Motor haben. Das Bandlaufschema eines solchen Gerätes zeigt Bild A14.12.

Der Motor ist in der Regel als Gleichstrommotor mit Drehzahlregelung ausgeführt. Die Tonwelle, auch *Capstan* genannt, ist mit einer Schwungmasse versehen, um Gleichlaufschwankungen zu vermeiden. Das Tonband wird mittels der Gummiandruckrolle an die Tonwelle angedrückt und erhält so als Bandgeschwindigkeit  $v$  (s. Gl. A14.1) die Umfangsgeschwindigkeit der Tonwelle.

Der Aufwickelteller wird über eine Rutschkupplung angetrieben, die die Drehfrequenz des Tellers an den veränderlichen Durchmesser des Bandwickels anpasst und als Filz- oder Magnetkupplung ausgeführt ist. Mit dem Aufwickelteller ist ein Umdrehungszähler (Bandzählwerk) gekoppelt. Der Abwickelteller wird durch den Bandzug gedreht und leicht gebremst, damit sich das Band strafft und gleichmäßig abwickelt. Zur Einstellung der erforderlichen Bremskraft in Abhängigkeit vom Wickeldurchmesser tastet ein Hebel den Wickeldurchmesser ab. Die Bremse kann – wie in Bild A14.12 – mechanisch oder auch elektrisch durch Wirbelströme wirken. Damit bei einem Bandstopp der Abwickelteller nicht nachläuft, ist zusätzlich eine Stoppbremse vorgesehen. Zur Herstellung eines guten Band-Kopf-Kontaktes wird ein Andruckfilz verwendet. Bandrücklauf und schneller Vorlauf erfolgen ohne Andruck des Bandes an die Tonwelle und möglichst ohne Kopfberührung. Rechter oder linker Wickelteller werden dann mit dem Antriebsmotor verbunden, der jeweilige Abwickelteller wird entsprechend gebremst.

### A14.8 Grenzen der analogen Audioaufzeichnung

Durch einen präzisen mechanischen Aufbau werden die Grundlagen für eine gute Aufnahme und Wiedergabe gelegt. Wesentlich ist eine absolut *gleichbleibende* Bandgeschwindigkeit, da sich Gleichlauffehler durch Jaulen, Wimmern oder Tremoloeffekte bemerkbar machen. Die Gleichlaufschwankungen sollten unter 0,1% liegen.

Ursachen für Gleichlaufschwankungen sind häufig verschmutzte Antriebsteile, fehlerhafte Gummiandruckrollen, eine falsche BremsEinstellung des Abwickeltellers sowie (Regelungs-) Fehler im Motor.

Ferner muss für eine gute Aufnahme- und Wiedergabequalität eine optimale Justage und magnetische Abschirmung der Tonköpfe erfolgen. Analoge Audioaufzeichnungsgeräte können den Dynamikumfang einer Orchesteraufnahme von 80 dB nicht aufzeichnen, so dass eine Dynamikkompression erforderlich wird. Da praktisch ungefähr ein Dynamikumfang von 60 dB erreicht werden kann, müssen alle Eigenstörgeräusche und das Rauschen des Bandes insgesamt einen Störabstand von ca. 65 dB aufweisen. Festlegungen hierfür sind in DIN-Normen zu finden.

Die Übersprechdämpfung soll bei Mono-Halbspuraufzeichnung mindestens 60 dB, bei Stereoaufzeichnung mindestens 25 dB betragen. Hauptursache für das Übersprechen bei der Stereoaufzeichnung ist die enge Anordnung der Tonköpfe, insbesondere bei dem nur 3,81 mm breiten Compact-Cassettenband.

Der Klirrfaktor magnetischer Aufzeichnungssysteme wird fast ausschließlich durch die Bandqualität bestimmt. Der Gesamtklirrfaktor bei 333 Hz sollte für Studiogeräte 2%, für Heimtonbandgeräte 3% bei Vollaussteuerung der Signale nicht überschreiten.

Der Vormagnetisierungsstrom muss auf minimales Rauschen und minimalen Klirrfaktor eingestellt werden. Dabei sind die Bandtypen ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_2$ , Fe) zu beachten, d.h., je nach Bandtyp muss der Strom umschaltbar sein.

Die Löschdämpfung muss nach DIN  $>60$  dB sein, d.h., wenn ein vorher bespieltes Band neu bespielt wird, darf die alte Aufzeichnung nur noch mit höchstens  $-60$  dB Signalpegel vorhanden sein, da sonst eine alte Aufnahme hörbar werden kann. Da Tonbänder ein systembedingtes Eigenrauschen aufweisen, wurden im Laufe der Zeit eine Vielzahl von Rauschunterdrückungssystemen für die analoge Audioaufzeichnung entwickelt. Zu unterscheiden sind einerseits pegelabhängige Filterverfahren, die ein Tiefpasssystem in Abhängigkeit vom Signalpegel steuern und bei lauten Passagen die gesamte Bandbreite, bei leisen Passagen jedoch nur eine eingeschränkte Bandbreite übertragen. Andererseits werden häufig Verfahren der Kompanierung eingesetzt:

Bei diesen wird das Signal bei der Aufnahme in der Dynamik verringert (komprimiert), d.h., leise Stellen werden verstärkt (Verbesserung des Rauschabstandes), laute Stellen hingegen werden abgesenkt (Vermeidung von Übersteuerung). Bei der Wiedergabe wird dieser Prozess rückgängig gemacht, d.h., es wird *expandiert*. Diese Technik kann in einzelnen Abschnitten des Audiofrequenzbereiches unterschiedlich angewendet werden. Typische Vertreter der Kompanierung sind die Rauschunterdrückungsverfahren der Firma Dolby.

## A14.9 Analoge magnetische Videoaufzeichnung

### A14.9.1 Grundlagen

Die magnetische Videoaufzeichnung ist auf die gleichen Grundlagen wie die Audioaufzeichnung zurückzuführen. Die Anforderungen an die Videoaufzeichnung sind jedoch unterschiedlich:

- Die Bandbreite des aufzuzeichnenden Videosignals ist wesentlich höher. 20 kHz Bandbreite des Audiosignals stehen ca. 5 MHz Bandbreite des Videosignals entgegen.
- Videosignale enthalten auch Signalanteile mit einer Frequenz nahe null, die nicht mehr direkt aufzeichnenbar ist, da die notwendige Spannungsinduktion nicht mehr erfolgen würde.

Die höhere Bandbreite des Videosignals musste dabei unmittelbar auf einen anderen systemtechnischen Lösungsansatz führen. Hierzu eine *Beispielrechnung*:

Bei einer Audio-Compact-Cassette beträgt die Kopf-Band-Geschwindigkeit 4,7625 cm/s ( $1\frac{7}{8}$  Zoll/s). Bei einer Audiofrequenz von 1 kHz ergibt sich nach Gl. A14.1 eine aufzuzeichnende Wellenlänge von 47  $\mu\text{m}$ . Für 10 kHz folgt daher eine Wellenlänge von 4,7  $\mu\text{m}$ . Folgt man diesen Parametern für eine Videoaufzeichnung und begrenzt die minimal aufzeichnenbare Wellenlänge  $\lambda_{\text{min}}$  aufgrund der endlichen Kopfspaltgröße und der Materialeigenschaften auf 2  $\mu\text{m}$ , so ergibt sich für ein Signal von  $f_{\text{max}} = 5$  MHz eine Band-Kopfgeschwindigkeit von 10 m/s. Für eine Spielzeit von 60 Minuten benötigt man dann ca. 36 km Bandmaterial.

Bei einer angenommenen Dicke des Bandes von z.B. 20  $\mu\text{m}$  ergibt sich dann ein Wickeldurchmesser von mehr 1 m. Dieses Beispiel zeigt, dass ein derartiges Längsspurverfahren für die Videoaufzeichnung nicht geeignet ist.

Für die Aufzeichnung von Videosignalen wurde daher die Band-Kopfgeschwindigkeit (Aufzeichnungsgeschwindigkeit) gegenüber der Band-Vortriebsgeschwindigkeit vervielfacht.

Die technische Umsetzung führte auf das *Schrägspurverfahren*, das in allen heutigen Videoaufzeichnungssystemen eingesetzt wird. Dazu werden die Aufnahme-/ Wiedergabe-Köpfe auf ein mit hoher Geschwindigkeit rotierendes *Kopfrad* montiert und das Magnetband schräg an einer *Kopftrommel* vorbeigeführt, in der das Kopfrad rotiert.

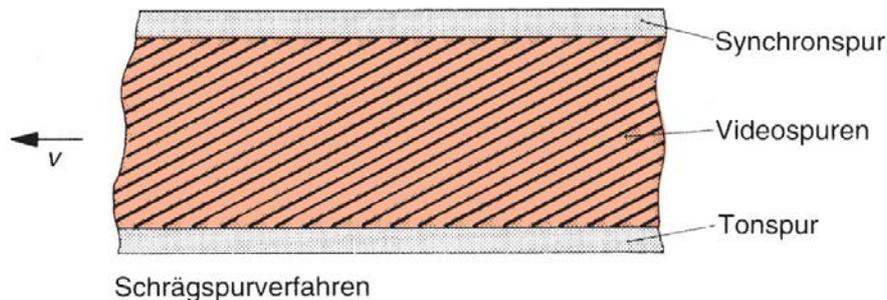


Bild A14.13 Spurbild des Schrägspurverfahrens

Dadurch entstehen nebeneinander liegende Magnetspuren für die Videoaufzeichnung (Bild A14.13), und die geforderte hohe Band-Kopfgeschwindigkeit kann erreicht werden. Tonspuren können am Rande des Bandes aufgezeichnet werden, ebenso eine evtl. erforderliche Synchronspur, die das Wiederfinden der Schrägspur bei der Wiedergabe vereinfacht. Die notwendige Bandvortriebsgeschwindigkeit richtet sich dann vor allem nach der Breite der aufgezeichneten Spuren und beträgt nur einen Bruchteil der Aufzeichnungsgeschwindigkeit.

Durch die Schrägstellung der Aufzeichnungsspuren gegenüber dem Band wird die Spur unterbrochen, d.h., zur kontinuierlichen Aufzeichnung eines Signals sind mehrere Köpfe erforderlich, zwischen denen jeweils umgeschaltet wird. In Bild A14.14 ist eine Kopftrommel mit zwei Videoköpfen dargestellt. Die Entstehung der Schrägspur durch die Anordnung von Kopftrommel und Bandlauf zeigt Bild A14.15. Angegeben sind auch mögliche Positionen eines **Ton-Kopfes (TK)** für eine Längsaufzeichnung des Tons und eines **Lösch-Kopfes (LK)** für den Löschvorgang des gesamten Bandes.

Bild A14.14 Kopftrommel mit 2 Videoköpfen

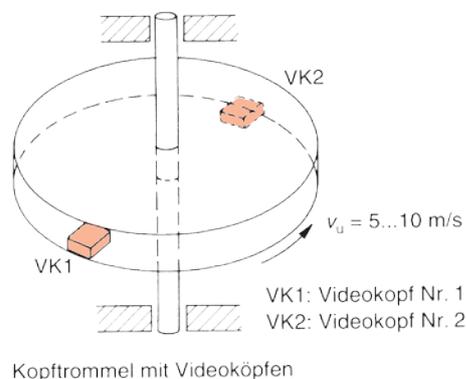


Bild A14.15 Entstehung der Schrägspuren

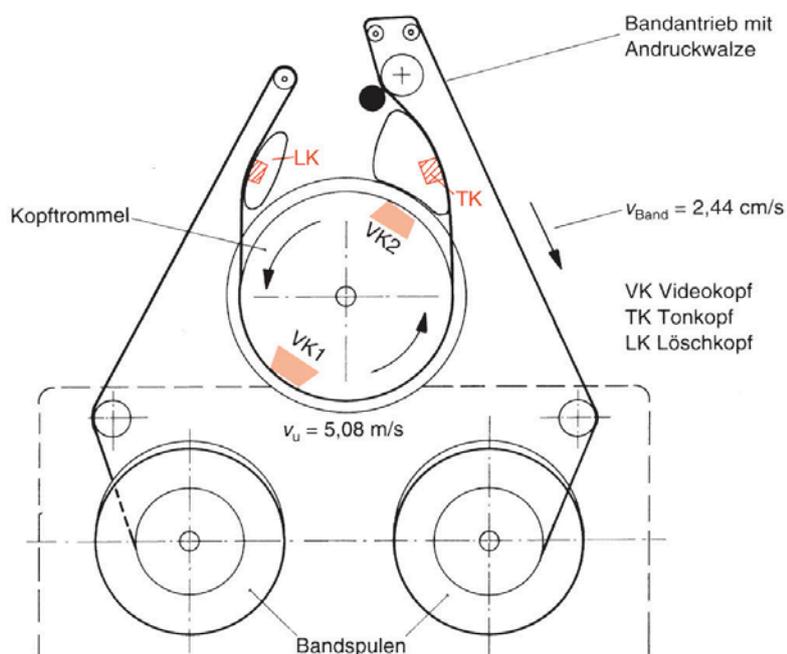
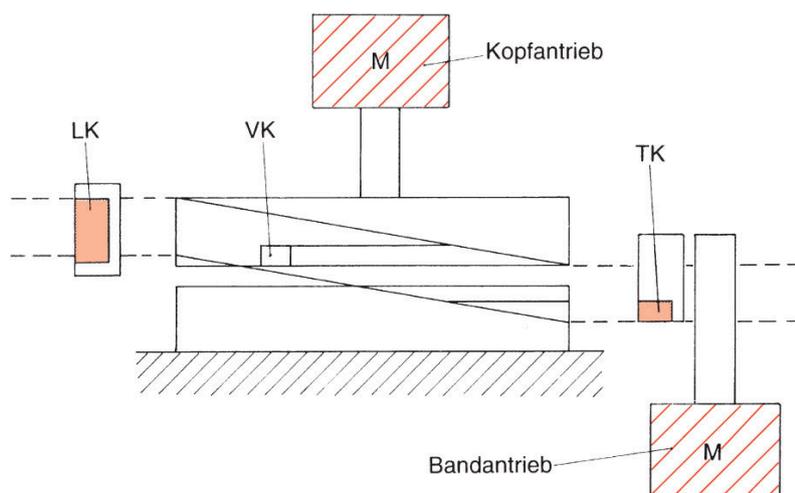


Bild A14.16 Bandführung und Umschlingungswinkel

Die Anzahl der notwendigen Videoköpfe auf der Kopftrommel ist dabei abhängig vom Umschlingungswinkel und der Bandführung innerhalb des Gerätes. Heutige Kassettensysteme arbeiten überwiegend mit einem Umschlingungswinkel von ca.  $190^\circ$ , woraus sich eine minimale Anzahl von 2 Videoköpfen ergibt. Eine typische Bandführung ist in Bild A14.16 dargestellt. Die Zahlenwertangaben beziehen sich hier auf das VHS-Format.

Alle Verfahren der Videoaufzeichnung arbeiten nach dem Prinzip der Schrägspuraufzeichnung. Die internationalen Standards unterscheiden sich bezüglich der Schrägspurabordnung u.a. in folgenden Festlegungen:

- unterschiedliche Systeme mit offenen Spulen (*open reel*),
- unterschiedliche, inkompatible Kassettensysteme,
- unterschiedliches Bandmaterial (z.B. magnetische Beschichtung),
- unterschiedlicher Bandverbrauch bei gleicher Aufzeichnungslänge,

- Breite des Magnetbandes, z.B. 1 Zoll,  $\frac{2}{3}$  Zoll,  $\frac{1}{2}$  Zoll, 8 mm,
- Breite der aufgezeichneten Schrägspuren,
- Spurwinkel der Magnetspuren zum Band,
- Spurbstand der Magnetspuren («Rasen»), Schrägspurrichtung, d.h. Kopffrotation in Bandlauf- oder entgegen der Bandlaufrichtung,
- Kopf-Band-Geschwindigkeit,
- Bandtransportgeschwindigkeit,
- unterschiedliche Methoden zur Aufzeichnung der Audiosignale.

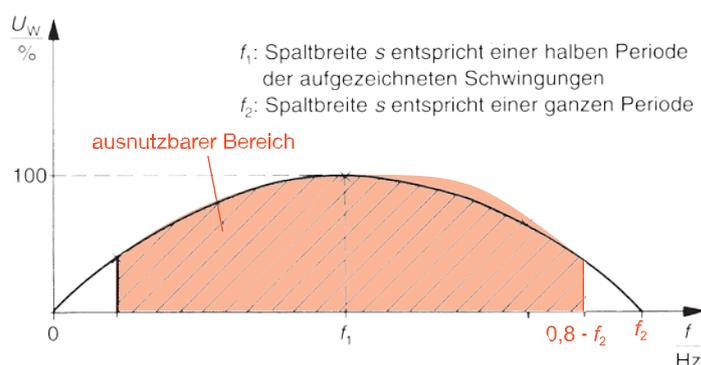
Bereits die Veränderung eines einzelnen Parameters führt zu einer Inkompatibilität der Systeme. Andererseits müssen die gewählten Parameter sehr exakt eingehalten werden, um die Fremdwiedergabe, d.h. das Abspielen aufgezeichneter Signale auf Maschinen des gleichen Typs, zu gewährleisten.

Neben dieser generellen mechanischen Anordnung sind die magnetoelektrischen Eigenschaften der Kopf-Band-Anordnung und die sich daraus ergebenden Festlegungen für die nachrichtentechnischen Parameter zu berücksichtigen. Der gesamte Aufnahme-Wiedergabe-Prozess bei der Magnetaufzeichnung kann nachrichtentechnisch als Bandpasssystem betrachtet werden, d.h., es gibt eine von null verschiedene untere und eine u.a. von der Wahl der Kopfparameter sowie den Bandmaterialien abhängige obere Grenzfrequenz. Dieser Zusammenhang wird als Frequenzgang der Magnetaufzeichnung bezeichnet und ist qualitativ in Bild A14.17 dargestellt.

Im nutzbaren Frequenzbereich, der ca. bis  $0,8 \cdot f_2$  reicht, ist das aufzuzeichnende Videosignal mit einem Frequenzbereich von 0...5 MHz unterzubringen, wobei eine direkte Aufzeichnung der niedrigen Frequenzen nicht möglich ist. Daher erfolgt die Aufzeichnung moduliert, d.h., die Videosignalinformation wird einer Trägerfrequenz aufmoduliert und das Modulationsprodukt auf das Magnetband geschrieben. Aufgrund des bei hohen Kopf-Band-Geschwindigkeiten kritischen Kontaktes zwischen Kopf und Band ist die Amplitudenmodulation dafür ungeeignet, da es zu erheblichen Amplitudenschwankungen kommen kann.

Das Bildsignal (Y-Signal) wird daher als frequenzmoduliertes Signal (FM) auf das Magnetband aufgezeichnet.

Bild A14.17 Frequenzgang einer Magnetbandaufzeichnung



Die Festlegung der elektrischen Aufzeichnungsparameter ist – wie bei den mechanischen Größen – abhängig von den jeweiligen Standards und wurde im Zuge der technischen Entwicklung häufig verändert, was zu inkompatiblen Parallelentwicklungen führte. Dieses gilt sowohl für den Bereich der professionellen Anwendungen, die auch als MAZ (**M**agnetaufzeichnung) bezeichnet werden, als auch für die als VCR (**V**ideo **C**assette **R**ecorder) und Camcorder bekannten Formate für den Heimbereich.

Typische Unterscheidungsmerkmale sind, u.a.:

- Aufzeichnung des geschlossen codierten FBAS-Signals,
- Aufzeichnung der Komponenten Luminanz und Chrominanz in getrennter Form,
- Bandbreite der Basisbandsignale,
- Wahl der Trägerfrequenzen für die FM,
- Wahl des Frequenzhubes der FM,
- Aufzeichnungsformate für die Tonsignale,

Nachfolgend werden einige typische Aufzeichnungssysteme dargestellt.

### A14.9.2 Analoge Videoaufzeichnungssysteme

Im Gegensatz zu analogen Audiosignalen ist die Darstellung des analogen Videosignals auf verschiedene Weise möglich. Werden Quellensignale z.B. im Studio häufig in der Signalform R,G,B verwendet, so erfolgt die analoge TV-Übertragung auf Basis des FBAS-Signals z.B. nach dem PAL-Standard. Aufzeichnungssysteme müssen daher einerseits der Signalqualität und der Anwendung und andererseits den kommerziellen Randbedingungen des jeweiligen Anwendungsbereiches Rechnung tragen, d.h., Systeme, die für die Produktion im Studio eingesetzt werden sollen, können aufwendiger realisiert werden als diejenigen für den Heimbereich. Es ist daher zu entscheiden, welche Signalform der Video-Information aufgezeichnet werden soll.

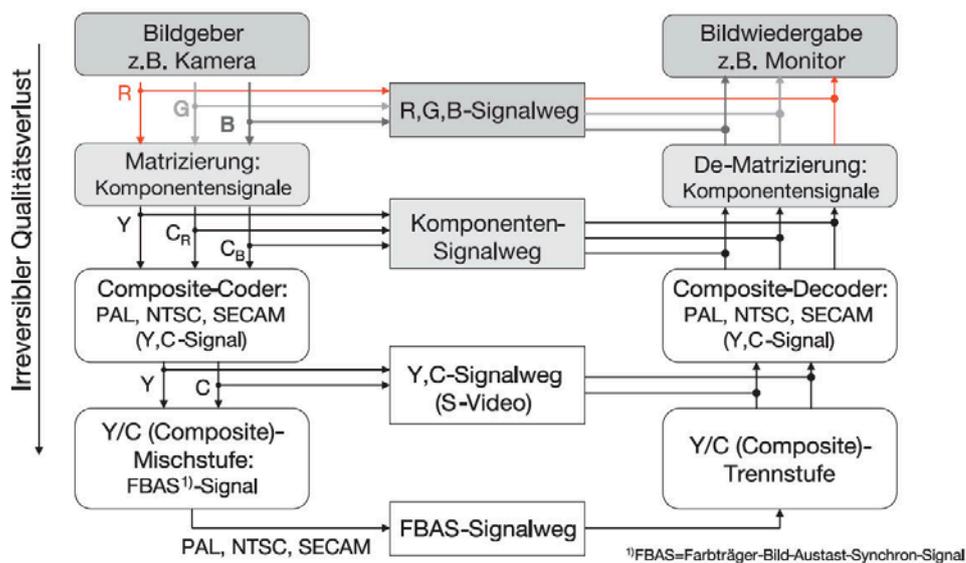


Bild A14.18 Analoge Videosignalwege

In Bild A14.18 sind die verschiedenen Videosignalwege von der R,G,B- bis zur FBAS-Übertragung zusammengestellt. Für alle Wege sind Aufzeichnungssysteme denkbar, und mit Ausnahme des R,G,B-Weges wurden für alle Signalwege auch verschiedene Aufzeichnungssysteme entwickelt.

Die Bezeichnung der Luminanz- und Chrominanz-Signalkomponenten erfolgt dabei unterschiedlich. In Anlehnung an die Festlegung in der heute gängigen digitalen Norm werden bei *allgemeiner Bezeichnungsweise* nachfolgend die Bezeichnungen C<sub>R</sub> und C<sub>B</sub> verwendet. Im Zusammenhang mit einer analogen Signaldarstellung gelten die nachfolgenden Bezeichnungen:

- *R,G,B-Signal:* Primäres Ausgangssignal der Kamera und Eingangssignal eines Monitors, ohne Einschränkung der Signalbandbreite,
- *Y,C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub>-Signal:* Matrizierte Signale; Y entspricht dem Schwarzweiß-Anteil, und die Farbdifferenzsignale sind durch:  $C_R = 0,713 \cdot (R - Y)$ ,  $C_B = 0,564 \cdot (B - Y)$  definiert.

In Abhängigkeit von der Übertragungs- bzw. Aufzeichnungsnorm werden als Farbdifferenzsignale auch festgelegt:

- für PAL und SECAM:  $U = 0,877 \cdot (R-Y)$ ,  $V = 0,493 \cdot (B-Y)$ , für NTSC:  $Q = 0,48 \cdot (R-Y) + 0,41 \cdot (B-Y)$ ,  $I = 0,74 \cdot (R-Y) - 0,27 \cdot (B-Y)$ ;
- Y,C-Signal: C = Chrominanz beschreibt ein *stark bandbegrenzt, trägerfrequentes* Farbsignal, das *beide* Farbdifferenzkomponenten enthält;
- FBAS-Signal: Y und C werden addiert, d.h. zu einem Signal zusammengefasst;

Die magnetische Aufzeichnung erfolgt auf Bandmaterialien unterschiedlichster Art:

- Dicke der Bänder: 25  $\mu\text{m}$  (bei 1 Zoll Breite ) bis 6  $\mu\text{m}$  für 1/4-Zoll-Aufzeichnung.
- magnetische Materialien: Chromdioxid  $\text{CrO}_2$ , Metall-Partikel-Band (MP), metallbedampfte Bänder (Metal Evaporated – ME).

Auf der Rückseite weisen die Bänder eine Gleitschicht auf, die zusätzlich elektrostatische Aufladungen verhindert. Bild A14.19 zeigt den Aufbau eines typischen Magnetbandes.

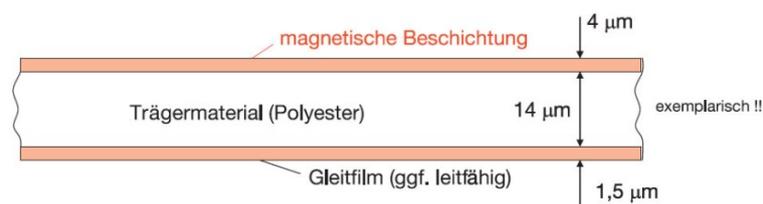


Bild A14.19 Aufbau eines typischen Magnetbandes

Die analogen Videoaufzeichnungsverfahren werden, sowohl in der professionellen Anwendung als auch im Heimbereich, zunehmend durch die digitalen Verfahren der (Magnet-) Aufzeichnung verdrängt. Viele der nachfolgend vorgestellten Formate sind inzwischen nur noch als Archivformate vorhanden.

#### A14.9.2.1 Analoge FBAS-Aufzeichnung

Die FBAS-Aufzeichnungsverfahren (Composite-Aufzeichnung) nach dem Schrägspurverfahren wurden ab 1975 in der professionellen Produktion eingesetzt und sind fast nur noch als Archivsysteme im Einsatz. Die als B- und C-Format bekannten Systeme zeichnen das FBAS-Signal in voller Bandbreite unter Verwendung offener Spulen (open reel) auf. Da es sich um aufwendige, große Maschinen handelte, waren diese nicht für den Heimgebrauch geeignet. Das B-Format wurde vor allem in Europa, das C-Format in den USA und Asien eingesetzt. Die Systeme sind inkompatibel und weisen hinsichtlich der Aufzeichnung Besonderheiten auf:

- Beim B-Format wird das Teilbild auf mehrere Schrägspuren aufgeteilt (segmented field), d.h., innerhalb eines Teilbildes wird die Aufzeichnung durch verschiedene Köpfe durchgeführt. Dieses stellt u.a. hohe Anforderungen an die Präzision der Kopftrommel, da sonst diese «Spurpakete» eines Kopfes sichtbar werden können. Der Umschlingungswinkel beträgt  $190^\circ$ .
- Beim C-Format erfolgt die Aufzeichnung des Teilbildes in einer Spur mit einem Kopf. Daher ist der Spurwinkel sehr klein und die Spur sehr lang, was zu mechanischen Toleranzproblemen bei der Spurfolge führt. Der Umschlingungswinkel beträgt ca.  $350^\circ$ .

Beide Formate schreiben die Schrägspuren nicht direkt nebeneinander, d.h., es existiert ein nicht beschriebener Spurzwischenraum, der als *Rasen* bezeichnet wird. Die wesentlichen Daten dieser Formate sind in Tabelle A14.1 zusammengefasst.

Für den Massenmarkt, d.h. den Heimbereich, waren diese System ungeeignet und zu teuer hinsichtlich Anschaffungspreis, Volumen, Wartung und Kosten für das Bandmaterial.

Ferner werden bei der FBAS-Aufzeichnung alle Bildinformationen in einem elektrischen Signal geführt (s. Kapitel 10). Dieses Aufzeichnungsverfahren enthält daher alle Fehler der Composite-Technik:

- geringere Detailauflösung des Farbanteils,
- Störstrukturen an vertikalen Kanten («Perlschnurstörungen»),
- farbige Störstrukturen bei feinen schwarzweißen Details («Cross-Color»),
- keine optimale Trennung zwischen Helligkeitsanteil und Farbanteil der Information möglich.

	B-Format	C-Format
Einführungsjahr	1975	1975
Magnetbandbreite (mm)	25,4	25,4
Bandgeschw. (cm/s)	24,3	24
Relativ-Geschw. (m/s)	24	21,4
Videospurlänge (mm)	84	411,5
Videospurbreite (µm)	160	160
Spurzwischenraum «Rasen» (µm)	40	54
Spurwinkel (°)	14,3	2,5
Kopfraddurchmesser (mm)	50,3	134,6
Kopfraddrehzahl (1/s)	150	50
Störabstand (dB)	> 43	> 43
Frequenz für Schwarz (MHz)	7,4	7,68
FM-Hub (MHz)	2,14	1,74
Audiobandbreite (kHz @-3dB)	14	15

Tabelle A14.1 Kenndaten des B- und C-FBAS-Aufzeichnungsformates

Produktionsseitig war die Composite-Aufzeichnung preiswert und weit verbreitet, bot aber bezüglich der Weiterentwicklung der Bildqualität keine Möglichkeiten, da die mit der FBAS-Übertragung verbundenen Nachteile blieben. Die Aufzeichnung auf offene Spulen erschwerte darüber hinaus die Einführung eines automatisierten Sendeablaufs, der für den professionellen Betrieb eine große Rolle spielt.

#### A14.9.2.2 Analoge Videoaufzeichnungen für den Heimbereich

Videoaufzeichnungssysteme für den Heimbereich müssen die speziellen Anforderungen des Massenmarktes berücksichtigen, u.a.:

- Die Kosten für Gerätetechnik müssen gering gehalten werden;
- die Kosten des Betriebs müssen gering sein, z.B. für Bandmaterial;
- die Systeme müssen robust und bedienbar sein.

Diese Forderungen wurden durch verschiedene technische Systeme erfüllt, die stets eine Aufzeichnung auf Videokassetten durchführen: Zu nennen sind die Formate VHS, S-VHS, Betamax, Video2000, Video8 und Hi8. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen in der Wahl der technischen Parameter, was zu einer Inkompatibilität der verschiedenen Lösungsansätze führte. Daraus folgte ein Wettbewerb am Markt, aus dem letztlich die Systeme VHS / S-VHS und Video8 / Hi8 als Gewinner hervorgingen.

Folgende Eigenschaften haben die verschiedenen Systeme gemeinsam:

- Bei allen Heimvideosystemen wird – um Bandmaterial zu sparen – die Bandtransportgeschwindigkeit gegenüber den in Tabelle A14.1 dargestellten professionellen Verfahren deutlich reduziert.

- Da auch ein einfacheres Bandmaterial verwendet wird, ist der nutzbare Frequenzbereich nach Bild A14.17 deutlich geringer bzw. schmalbandiger.
- Eine Aufzeichnung des FBAS-Signals mit ca. 5,5 MHz Bandbreite als FM-Signal ist nicht möglich, da die dafür notwendige Bandbreite nicht zur Verfügung steht.
- In einer Spur erfolgt immer die Aufzeichnung der Information eines Teilbildes (nicht-segmentierte Aufzeichnung).
- Die Umschlingung beträgt ca. 190°, so dass mindestens 2 Videoköpfe erforderlich sind.
- Die Aufzeichnung bei Consumer-MAZ-Systemen erfolgt ohne Spurzwischenräume («rasenfreie» Aufzeichnung).
- Zur Vermeidung von Übersprechstörungen zwischen den Spuren werden die Kopfspalten der beiden Videoköpfe bezogen auf die Spurrichtung entgegengesetzt schräg gestellt (*Azimut-Aufzeichnung*; Bild A14.20).

**Color-Under-Verfahren**

Aufbauend auf ein semiprofessionelles Videoaufzeichnungssystem, das auf 2/3-Zoll-Bändern aufzeichnet (U-Matic), verwenden alle analogen Video-Heimaufzeichnungssysteme das Color-Under-Verfahren. Bei diesem Verfahren erfolgt zunächst eine Hochpass-/Tiefpassstrennung von Chrominanz- (C) und Luminanz-(Y)- Information. Das Luminanz-Signal wird dann in Frequenzmodulation aufgezeichnet, wobei – je nach System – die Luminanz-Bandbreite nur ca. 60% derjenigen des FBAS-Signals entspricht. Dieses hat (s. Kapitel 10) unmittelbar eine Reduktion der Schärfe zur Folge, d.h., Bilddetails in der Darstellung gehen verloren.

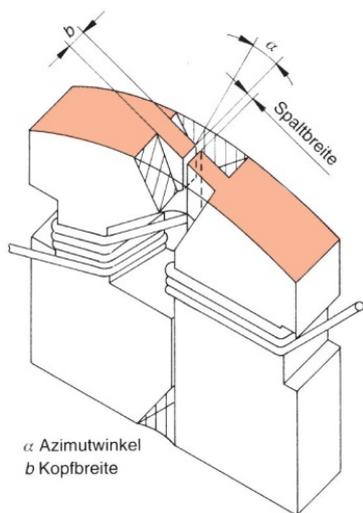
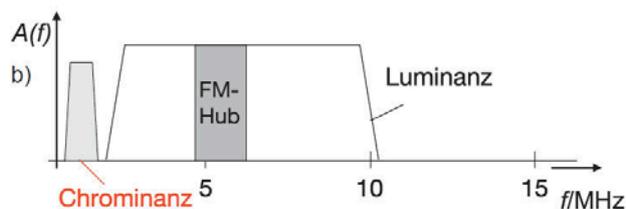
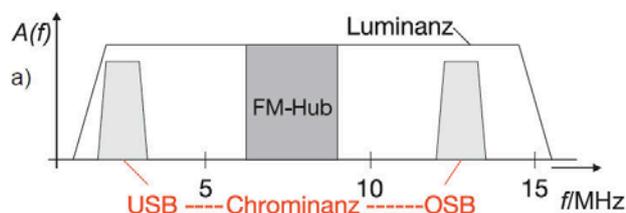


Bild A14.20 Aufbau eines Videokopfes mit Azimut-Stellung

Bild A14.21  
Frequenzspektren der Videoaufzeichnung  
a) FM-Aufzeichnung FBAS-FM (B-, C-Format)  
b) Color-Under-Verfahren  
(analoge Heimvideofomate)



USB: Unteres Seitenband      OSB: Oberes Seitenband

	U-Matic (LB /HB*)	Betamax	VHS / S-VHS	Video-8 / Hi8
Einführungsjahr	1969	1975	1976	1984
Magnetbandbreite (mm)	19 (2/3-Zoll)	12,7	12,7	8
Bandgeschw. (cm/s)	9,53	1,9	2,3	2
Relativ-Geschw. (m/s)	8,5	5,8	4,8	3,1
Videospurlänge (mm)	171	117	97	62
Videospurbreite (µm)	85	33	40	34
Spurzwischenraum «Rasen» (µm)	42	0	0	0
Spurwinkel (°)	4,93	5	6	5
Kopfraddurchmesser (mm)	110	74,5	62	40
Kopfraddrehzahl (s <sup>-1</sup> )	25	25	25	25
Videobandbreite Y (MHz @-3dB)	3,2	3	3/4	3/4
Videobandbreite C (MHz @-3dB)	0,6/1	0,5	0,5	0,5
Color-Under-Trägerfrequenz (kHz)	688 / 924	686	627	732
Störabstand (dB)	> 45/>46	>42	>45	>44/>45
Frequenz für Schwarz (MHz)	4,3/5,3	4,2	4,1 / 5,9	4,6 / 6,3
FM-Hub (MHz)	1,6	1,4	1 / 1,6	1,2 / 2

\*) LB: Low Band HB: High Band

Tabelle A14.2 Kenndaten von Heimvideosystemen

Das FM-Signal dient der Vormagnetisierung der Chrominanz-Aufzeichnung, die quadraturamplitudenmoduliert unterhalb des Luminanz-Spektrums aufgezeichnet wird. Da der zur Verfügung stehende Frequenzbereich sehr gering ist, wird die Chrominanz-Bandbreite stark eingeschränkt und beträgt gegenüber dem Chrominanz-Signal des PAL-Standards nur ca. 40% und bezogen auf das aufgezeichnete Luminanz-Signal nur ca. 12%. Die Farbdetailwiedergabe ist bei diesen Systemen daher sehr eingeschränkt. Ein typisches Frequenzspektrum des *Color-Under*-Verfahrens im Vergleich zur FM-FBAS-Aufzeichnung ist qualitativ in Bild A14.21 dargestellt.

Die wesentlichen Festlegungen einzelner Aufzeichnungsverfahren sind in Tabelle 14.2 im Vergleich zum semiprofessionellen U-Matic-System zusammengestellt. Nachfolgend wird auf einige Einzelheiten der Formate eingegangen.

### VHS (Video Home System) und S-VHS (Super Video Home System)

Bei diesen verbreiteten Systemen steht für die Tonaufzeichnung eine 1 mm breite Tonspur zur Verfügung, auf die das Tonsignal nach dem Längsspur-Verfahren aufgezeichnet wird. Das Spurbild von VHS zeigt Bild A14.22.

Da die Bandvorschubgeschwindigkeit bei VHS nur 2,3 cm/s beträgt, ist die Qualität des Tonsignals relativ schlecht. Bei einer Stereotonaufzeichnung wird die Tonspur noch aufgeteilt, so dass für *R*-Signal und *L*-Signal Spuren von jeweils nur 0,35 mm Breite mit 0,3 mm Abstand („Rasen“) zur Verfügung stehen.

An der unteren Kante des Magnetbandes ist eine Spur von 0,75 mm Breite vorgesehen, auf die Steuersignale zur Band- und Kopfsynchronisation aufgezeichnet werden. Der Aufbau eines Videokopfes mit einer Kopfspaltbreite von 0,3 µm ist in Bild A14.20 dargestellt. Da sich für VHS eine Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 4,8 m/s ergibt, tastet der Kopf in einer Stunde Spieldauer eine Strecke von 17,28 km ab. Die Anforderungen an die Verschleißfestigkeit sind daher sehr groß.

VHS-Recorder erlauben häufig einen *Langspielbetrieb* (LP – Long Play). Bei dieser Betriebsart ist der Bandverbrauch nur halb so groß. Dazu wird die Bandvorschubgeschwindigkeit halbiert. Die für Normalbetrieb verwendeten Videoköpfe müssen dabei abgeschaltet werden, da die Spurbreite sonst zu groß wäre. Man benötigt daher zwei zusätzliche Videoköpfe, deren Kopfbreite nur halb so groß ist (statt 48,6 µm jetzt 24,3 µm), um die Spurbreite zu halbieren.

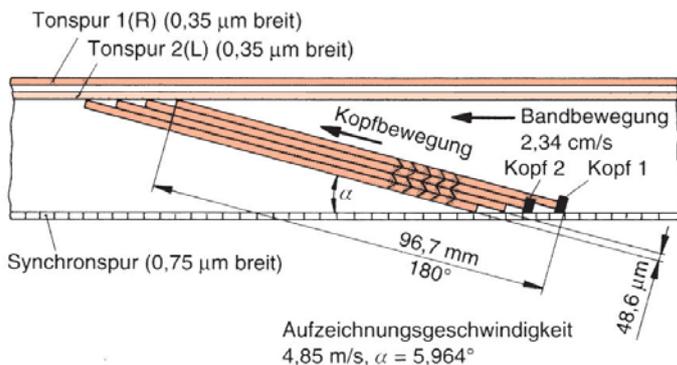


Bild A14.22 Spurbild von VHS

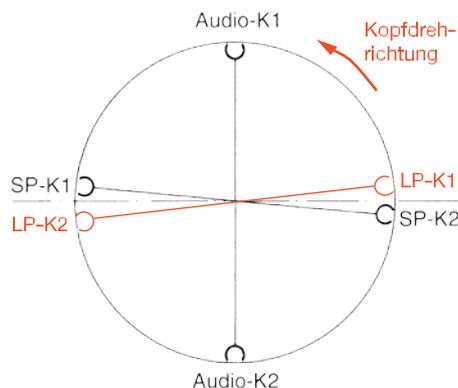
Videorecorder mit Long-Play-Funktion (LP) benötigen zwei zusätzliche Videoköpfe mit halber Kopfspaltlänge.

Der LP-Betrieb geht zu Lasten der Tonqualität, da die langsame Bandvorschubgeschwindigkeit bei der Längsspuraufzeichnung keine hohen Grenzfrequenzen mehr zulässt. Das *HiFi-Tonverfahren* nutzt ein Tiefenschrift-Verfahren zur Magnetisierung, wozu zwei zusätzliche Audioköpfe verwendet werden, die zusätzlich auf der Kopftrommel montiert sind. Deren Kopfspaltbreiten sind mit  $1,5\ \mu\text{m}$  etwa fünfmal so groß wie diejenigen der Videoköpfe. Die Anordnung auf der Kopftrommel ist in Bild A14.23 dargestellt.

Durch die Audioköpfe wird das Magnetband ca.  $0,8\ \mu\text{m}$  tief magnetisiert. Danach magnetisieren die Videoköpfe das Band in einer Tiefe von etwa  $0,3\ \mu\text{m}$ , wodurch ein kleiner Teil des aufgezeichneten Audiosignals gelöscht wird. Der größte Teil des Audiosignals bleibt aber erhalten. Das *HiFi-Tonverfahren* erlaubt hochqualitative Stereo-Aufzeichnungen, so dass der Videorecorder auch als hochwertiges Audioaufzeichnungsgerät genutzt werden kann. Die Tonsignale *R* (Trägerfrequenz  $1,8\ \text{MHz}$ ) und *L* (Trägerfrequenz  $1,4\ \text{MHz}$ ) werden mit einem Hub von maximal  $\pm 150\ \text{kHz}$  frequenzmoduliert aufgezeichnet. Die Summe beider FM-Signale wird verstärkt und den Audioköpfen zugeführt. Soll das *HiFi-Tonverfahren* auch im LP-Betrieb genutzt werden, muss die Spurbreite des *HiFi*-Signals der Spurbreite des Videosignals bei LP entsprechen, d.h., die Spaltlänge der Audioköpfe beträgt dann  $24,3\ \mu\text{m}$ . Um die gegenseitige Beeinflussung der Audiospuren untereinander und zu den Videospuren gering zu halten, nutzt man auch hier die Azimut-Aufzeichnung, wobei der Spaltwinkelversatz  $\pm 30^\circ$  beträgt.

Zusätzlich wird die Audio-Längsspur genutzt: Da durch Bandfehler Aussetzer beim *HiFi*-Ton auftreten können, ist dann immer noch das längs aufgezeichnete Audiosignal vorhanden. Beide Tonkanäle können gemeinsam wiedergegeben werden.

Bild A14.23  
Anordnung der Audioköpfe und der Videoköpfe auf der Kopftrommel



Eine Nachvertonung ist beim HiFi-Tonverfahren nicht möglich. Eine Nachvertonung kann nur über die Audio-Längsspur erfolgen.

Das Löschen einer Aufzeichnung erfolgt vor jeder Neuaufnahme, wozu getrennte, feststehende Löschköpfe für das Videosignal und die Steuerspur sowie das Audiosignal verwendet werden. Diese löschen das Band zusammen in der ganzen Breite. Bei getrennten Köpfen ist eine Nachvertonung auf den Audio-Längsspuren möglich.

Zur Wiedergabe eines Standbildes wird der Bandvorschub angehalten, und ein Videokopf tastet dann in etwa eine Videospur, der zweite Videokopf ungefähr die Nachbar-Videospur ab. Da bei stillstehendem Bandvorschub die Schräglage der Spurbastung von der Schräglage der Videospur abweicht, ergeben sich Bildstörungen. Ein Einsatz digitaler Bildspeicher erlaubt einen störungsfreien Standbild- betrieb ohne aufwendige Änderungen an der Mechanik.

Auf Basis eines anderen Bandmaterials erfolgte die Entwicklung von S-VHS, wodurch der Frequenzbereich nach Bild A14.21b erweitert werden konnte. Wie Tabelle A14.2 zu entnehmen, ist insbesondere die aufgezeichnete Luminanz-Bandbreite größer, was zu einem deutlichen Schärfegegewinn gegenüber VHS führt. Im Hinblick auf die Kompatibilität zu VHS wurde das Color-Under-Verfahren mit sehr geringer Chrominanz-Bandbreite beibehalten, so dass diesbezüglich keine Verbesserung auftritt: S-VHS-Geräte können daher VHS-Signale abspielen und VHS- Kassetten im VHS-Format bespielen. Eine Wiedergabe von S-VHS-bespielten Kassetten in VHS-Recordern ist nicht möglich.

Die Weiterentwicklung des VHS-Verfahrens wurde inzwischen eingestellt. Die Entwicklung einer kleineren Kassettenform für den Betrieb in Camcordern (VHS- C und S-VHS-C) konnte sich für einen relativ kurzen Zeitraum am Markt etablieren. Vorteil dieses Systems war die Möglichkeit, die kleineren Kassetten mittels eines batteriegetriebenen, mechanischen Adapters in Standard-VHS-Geräten abzuspielen. Kompakte Camcorder konnten allerdings nur durch eine Verringerung des Kopftrommeldurchmessers, einer Erhöhung der Kopfzahl und Kopfraddrehzahl und eine Veränderung des Umschlingungswinkels realisiert werden. [21]

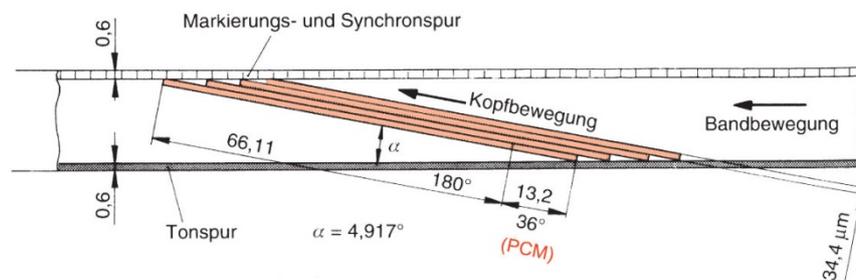


Bild A14.24 Spurbild von Video-8

### Video-8 und Hi8-System

Das Video-8-System wurde speziell für Camcorder entwickelt. Im Vordergrund stand die Schaffung einer kleinen Kassette deren Größe ungefähr der Compact-Kassette für Tonbandgeräte entspricht. Verwendet wird 8 mm breites hochwertiges Magnet- band (Reineisenband), auf das ein Spurbild nach Bild A14.24 geschrieben wird.

An der oberen Kante des Bandes ist Platz für eine 0,6 mm breite Markierungs- und Synchronspur, die der Bandlauf- und Kopfsynchronisation dient. Am unteren Bandrand ist eine 0,6 mm breite Tonspur vorgesehen, die jedoch aus Qualitätsgründen kaum Verwendung findet. Beim Video-8-System wird der Mono-Ton als frequenzmoduliertes Signal (Trägerfrequenz 1,5 MHz) zusammen mit dem FM-modulierten Y-Signal und dem AM-modulierten Farbartsignal auf den

Video-Schrägspuren aufgezeichnet. Hinzu kommen noch vier weitere Frequenzen (101,02 kHz; 117,19 kHz; 146,48 kHz; 162,76 kHz), die als ATF-Frequenzen bezeichnet werden und der Spurststeuerung dienen.

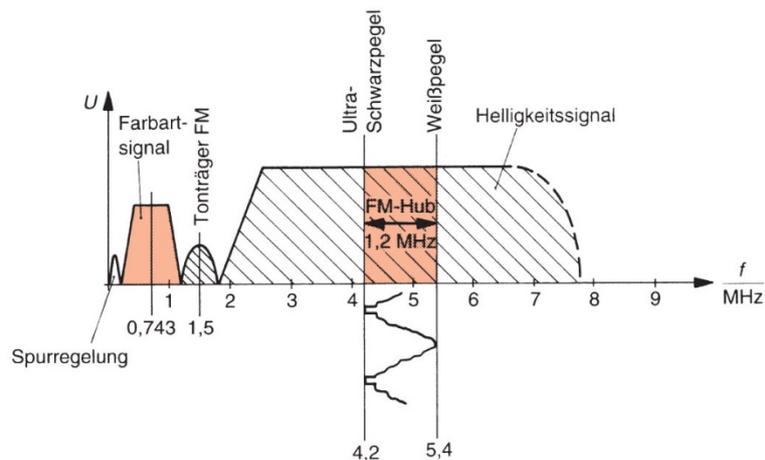


Bild A14.25 Video-8-Frequenzspektrum

Die verschiedenen Signalanteile führen zu dem in Bild A14.25 dargestellten Frequenzspektrum. Eine Nachvertonung ist beim FM-Tonverfahren nicht möglich, da der FM-Ton in der Schrägspur übertragen wird.

Auch beim Video-8-System gibt es einen Long-Play-Betrieb, bei dem die Bandvorschubgeschwindigkeit sowie die Spurbreite halbiert und zwei zusätzliche LP- Videoköpfe auf der Kopftrommel erforderlich werden. Da das Tonsignal frequenz-moduliert aufgezeichnet wird, ist auch im LP-Betrieb die Tonqualität sehr gut. Beim Video-8-System ist zusätzlich eine digitale Stereotonaufzeichnung nach dem PCM-Verfahren vorgesehen. Aufgrund einer Bandumschlingung von  $221^\circ$  ergibt sich nach Bild A14.24 eine Video-Spurlänge von 79,31 mm, von der für die Bildaufzeichnung nur ca. 66 mm (entsprechend  $\sim 180^\circ$ ) benötigt werden.

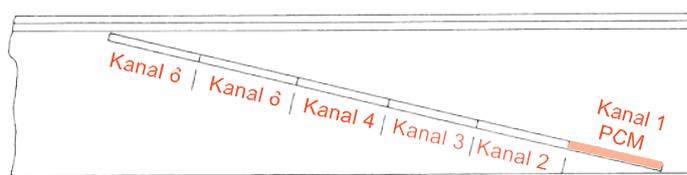


Bild A14.26 Video-8-Schrägspur, unterteilt in 6 PCM-Bereiche

Für den PCM-Ton steht dann noch eine Schrägspurlänge von 13,2 mm zur Verfügung. Die Abtastfrequenz für das Audiosignal beträgt 31,25 kHz, das mit einer nichtlinearen 8-Bit-Kennlinie quantisiert wird. Zuzüglich einer digitalen Fehlerkorrektur (FEC) ergibt sich dann eine Datenrate von 5,75 Mbit/s bei der Übertragung von 2 Kanälen (Stereo). Aufgrund der räumlichen Trennung zu den anderen Signalen der Schrägspur ist auch eine Nachvertonung mit PCM-Ton möglich. Das Video-8-Verfahren erlaubt es, auf der Schrägspur *mehrere* PCM-Signale unterzubringen. Die für das Bildsignal verwendete Schrägspur wird dazu in 5 zusätzliche Bereiche zu je 13,2 mm Länge unterteilt (Bild A14.26).

Der Video-8-Recorder wird in dieser gewählten Betriebsart nur als Aufnahme- und Wiedergabegerät für hochwertige Tonsignale verwendet. Dieser *Multi-PCM-Ton*-Betriebszustand kann bei gleicher Qualität auch im LP-Modus verwendet werden. Jeder der 6 Kanäle kann ein Stereotonsignal aufnehmen, so dass im LP-Modus und bei Verwendung einer 90-Minuten-Kassette auf

einem Kanal 3 Stunden Stereo-Tonsignal digital gespeichert werden können bzw. insgesamt 18 Stunden hochwertige Tonaufzeichnung auf einer Kassette erfolgen kann. Ein Vorteil der digitalen Aufzeichnung ist, dass jeder einzelne Kanal beliebig oft gelöscht und neu bespielt werden kann, ohne dass die Signale auf den anderen Kanälen beeinträchtigt werden.

Zum Löschen wird beim Video-8-System ein rotierender Löschkopf verwendet. Der Löschkopf fährt vor den Videoköpfen über die Doppelschrägsur und stellt sicher, dass für die Neuaufnahmen stets gelöschte Spuren zur Verfügung stehen. Das Anfügen von Bildszenen, der so genannte *Assemble-Schnitt*, und das Einfügen von Bildszenen, das *Insert-Verfahren*, sind daher ebenfalls störungsfrei möglich.

Tabelle A14.2 ist zu entnehmen, dass das *Hi8-System* eine direkte Weiterentwicklung des Video-8-Systems ist. Wie beim Übergang von VHS auf S-VHS wurde die Bandbreite des Aufzeichnungskanals erhöht (Bild A14.27).

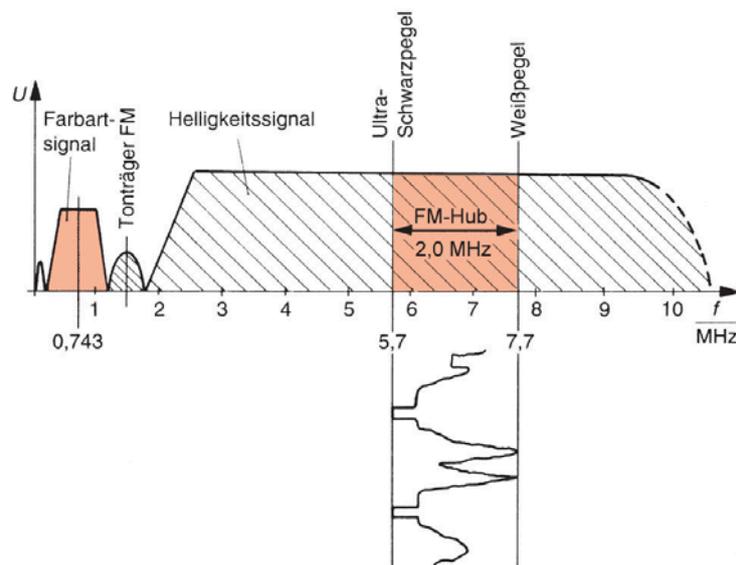


Bild A14.27 Hi8-Frequenzspektrum

Untereinander weisen die Systeme eine begrenzte Kompatibilität auf: Eine Video-8-Kassette kann in einem Hi8-Recorder oder Hi8-Camcorder abgespielt werden. Dagegen ist es nicht möglich, eine Hi8-Kassette mit einer Hi8-Aufzeichnung auf einem Video-8-Recorder bzw. -Camcorder wiederzugeben. Alle weiteren Systemparameter z.B. hinsichtlich der Tonaufzeichnung wurden übernommen.

### A14.9.2.3 Analoge Aufzeichnung in Komponententechnik

Die erreichbare Bildqualität bei der FBAS-FM-Aufzeichnung und beim Color-Under-Verfahren ist eingeschränkt: Die FBAS-Aufzeichnung enthält die Fehler der Composite-Verarbeitung, insbesondere Cross-Color- und Cross-Luminanz-Fehler, während die Color-Under-Aufzeichnung eine für hohe Ansprüche unzureichende Chrominanz-Bandbreite aufweist. Ab Mitte der 1980er Jahre wurden Komponenten- Aufzeichnungsverfahren entwickelt, bei denen eine *getrennte* Aufzeichnung der Luminanz- und zweier Farbdifferenzsignale erfolgt. Erreicht wird dieses dadurch, dass *Spurpaare* statt Einzelspuren geschrieben werden: Eine Spur enthält dabei die Luminanz-Information (Y), die zweite die Information beider Farbdifferenzsignale,  $C_R$  und  $C_B$ , die häufig mit  $P_R$  und  $P_B$  bezeichnet werden und sich nur durch den Vorfaktor unterscheiden:

$$P_R = 0,951 \cdot (R - Y), P_B = 0,752 \cdot (B - Y)$$

Bei Komponentenaufzeichnungssystemen erfolgt eine getrennte Signalverarbeitung für Y,  $C_R$  und  $C_B$ . Die Signale werden über getrennte Köpfe in getrennte, parallele Spuren (Spurpaare) geschrieben.

Die Köpfe eines Spurpaares haben einen Seiten- und Höhenversatz. In Bild A14.28 sind die Anordnung der Köpfe auf dem Kopfrad sowie die Entstehung der doppelten Schrägspur dargestellt.

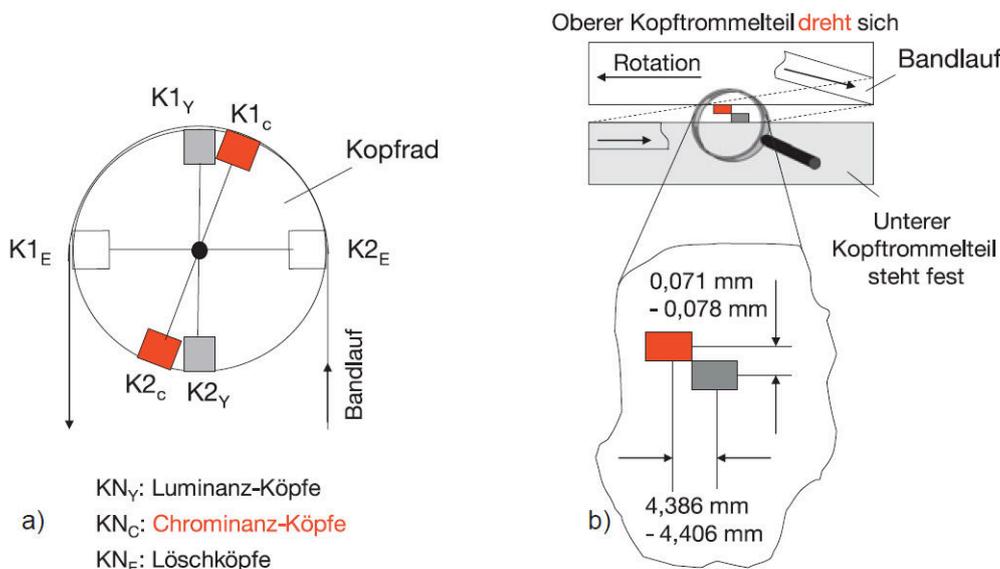


Bild A14.28 Komponentenaufzeichnung von Videosignalen

- a.) Anordnung der Köpfe auf dem Kopfrad
- b.) Entstehung der Doppelspur

Um beide Farbdifferenzsignale in einer Spur aufzeichnen zu können, wird die Bandbreite dieser Signale gegenüber dem Luminanz-Signal begrenzt. Theoretisch könnte die halbe Bandbreite des Luminanz-Signals zugelassen werden, tatsächlich ist die Bandbreite der Farbdifferenzsignale etwas geringer. Anschließend erfolgt eine zeitliche Kompression um den Faktor 2: Die Aufzeichnung einer Signalkomponente, z.B. C<sub>R</sub>, benötigt damit nur in etwa die halbe Spurlänge, so dass die Spurlänge insgesamt ausreicht, um die beiden Signale hintereinander in dieselbe Spur schreiben zu können. Dieses Verfahren wird auch CTDM (Compressed Time Division Multiplex) oder CTCM (Chroma Time Compressed Multiplex) genannt. Typische Vertreter dieses Verfahrens sind Betacam bzw. die kompatible Weiterentwicklung Betacam SP sowie das dazu im Wettbewerb stehende, technisch inkompatible MII-Verfahren. In Tabelle A14.3 sind die wesentlichen Daten zusammengefasst. Eine umfangreiche Abhandlung analoger Aufzeichnungssysteme findet sich in [33].

	Betacam (SP))	M II
Einführungsjahr	1988	1988
Magnetbandbreite (mm)	12,65	12,65
Bandgeschw. (cm/s)	101,5	66,29
Relativ-Geschw. (m/s)	5,75	5,9
Videospurlänge (mm)	115	118
Videospurbreite (Y/C in µm)	86 / 73	56 / 36
Spurzwischenraum «Rasen» (µm)	7,5	3
Spurwinkel (°)	4,68	4,68
Kopfraddurchmesser (mm)	74,5	76
Azimet (°)	+/- 6°	+/- 15°
Kopfraddrehzahl (1/s)	25	25
Videobandbreite (Y @-3dB)	5,5	5,5
Videobandbreite (C @-3dB)	2 2	
Störabstand (dB)	> 48	> 48
Frequenz für Schwarz (MHz)	7,47,4	
FM-Hub (MHz)	2/1	2,57
Audiobandbreite (kHz)	15 (20*)	15 (20*)
	* bei PCM oder AFM	* bei PCM oder AFM

Tabelle A14.3 Kenndaten der Komponentenaufzeichnungssysteme

Die Aufzeichnung in Komponententechnik stellt, sieht man von eher experimentellen analogen Aufzeichnungssystemen für HDTV-Signale ab, die letzte Entwicklungsstufe der analogen Videoaufzeichnung dar. Die erreichbare Bildqualität lag damit lange Zeit über derjenigen, die bis zum Endkunden mittels der analogen Übertragungstechnik (z.B. PAL, NTSC) transportiert werden konnte. Für die Verfahren Betacam bzw. BetacamSP und MII wurden komplette Systeme, d.h. Camcorder, Schnittplätze und Nachverarbeitungssysteme entwickelt, so dass insbesondere das Betacam SP-Format international nahezu überall als Produktionsmedium eingesetzt wurde und bis heute ein erheblicher Archivbestand dieses Formates vorhanden ist.

Die Einordnung der verschiedenen Aufzeichnungssysteme hinsichtlich der Videosignalwege in Bild A14.18 ist zusammenfassend Bild A14.29 dargestellt.

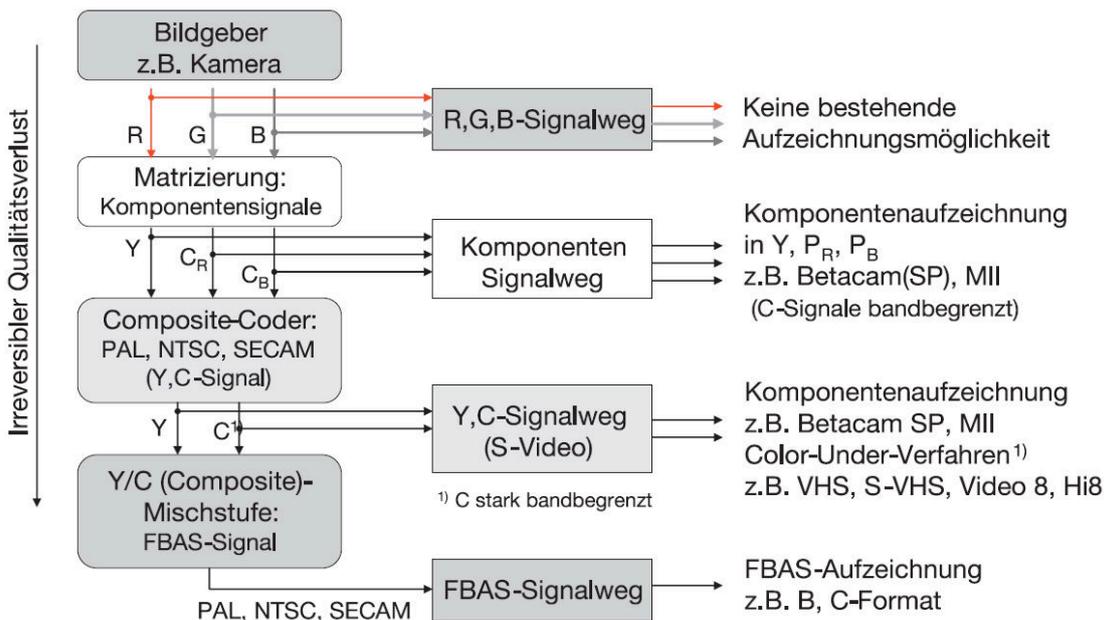


Bild A14.29 Analoge Aufzeichnung der Videosignalwege