

Teil 1 einer neuen vierteiligen Serie zum Digitalen Fernsehen

# Wie funktioniert digitales Fernsehen?

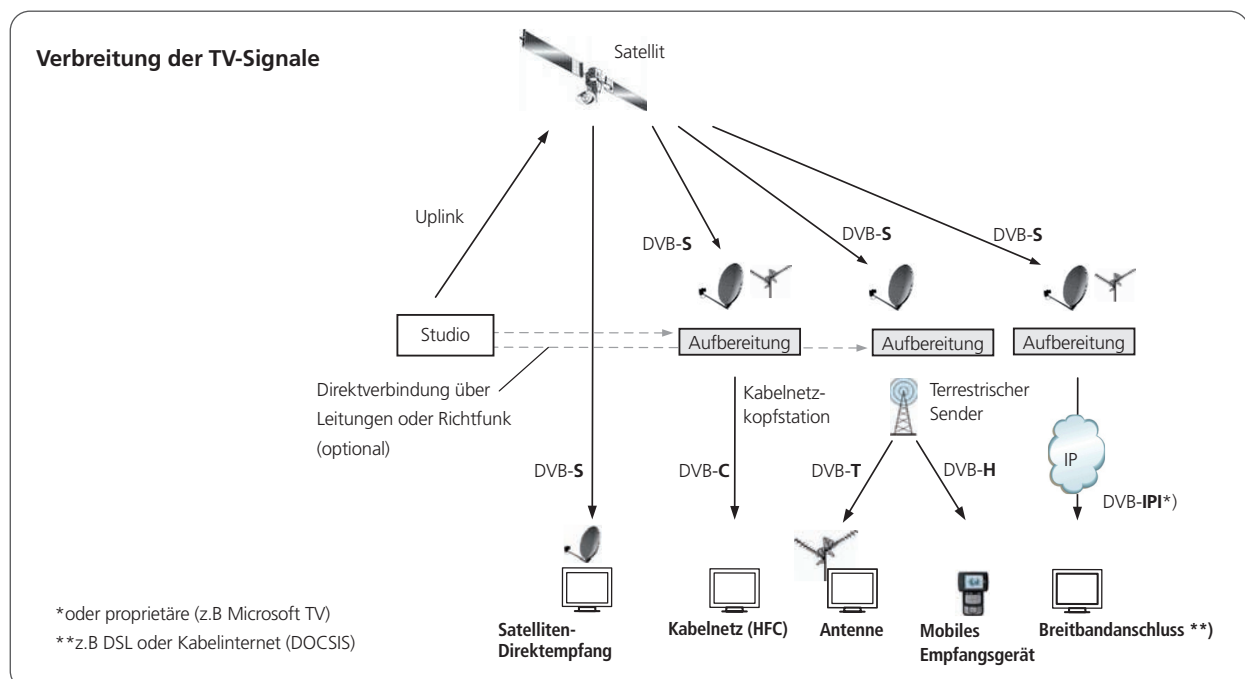
Das Swisscable Magazin lanciert eine neue technische Serie zum Digitalfernsehen. In vier Folgen werden die Grundlagen digitaler Fernsehetechnik nach dem DVB-Standard erklärt sowie Unterschiede und neue Möglichkeiten im Vergleich zur bestehenden analogen Fernsehetechnik aufgezeigt. Im ersten Teil geht es um Verbreitungswege, Standards und Übertragungsgrundlagen.

Der TV-Markt ist in Bewegung. Haupttreiber ist die laufende Digitalisierung des Fernsehens. So hat sich die EU zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2012 das analoge Fernsehen vollständig durch digitales Fernsehen zu ersetzen. Wie aber funktioniert das digitale Fernsehen überhaupt?

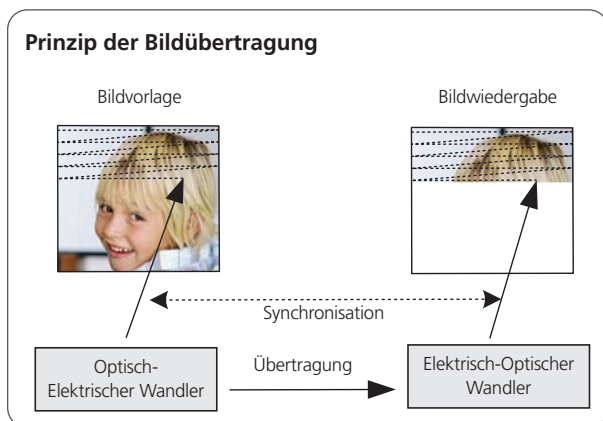
**Schrittweise Migration zum digitalen Fernsehen** Schon seit geraumer Zeit werden die Bild- und Tonsignale bei ihrer Herstellung und Verarbeitung in den Studios digitalisiert. Nun befinden wir uns in der Endphase dieser Entwicklung: bei der Digitalisierung der Verbreitungswege und der Endgeräte zu Hause. Den Ausschlag dazu gaben moderne Videokomprimierungstechnologien und effiziente digitale Modulationsverfahren. Diese ermöglichten es, dass digitales Fernsehen heute wirtschaftlich verbreitet werden kann. Zur Illustration: Ein digitales Fernsehbild in Standard-Definition-Qualität benö-

tigt in unkomprimierter Form Transportkapazitäten, welche etwa vier analogen TV-Kanälen oder 50 parallelen Breitbandanschlüssen entsprechen. Das Abspeichern eines zweistündigen Films auf einem Datenträger in diesem Rohdatenformat würde rund 150 Gigabyte – das entspricht etwa 32 DVDs – an Speicherkapazität benötigen. Für hochauflösende Formate (HDTV) sind die Datenraten nochmals um etwa das Fünffache höher.

**Verbreitungswege und Standards** Während in der Anfangszeit des Fernsehens die terrestrische Ausstrahlung via Sendemasten als bekanntester Verbreitungsweg galt, so steht heute die Erstverbreitung über geostationäre Satelliten wie Astra und Eutelsat und die Weiterverbreitung über Kabelnetze im Vordergrund. IPTV, die Verbreitung über Verbindungen, die auf dem Internetprotokoll basieren, gewinnt ebenfalls an Bedeutung.



In Europa hat sich für digitales Fernsehen der DVB-Standard etabliert, in den USA ATSC und in Japan ISDB. Je nach verwendetem Medium spezifiziert DVB in seinen Sub-Standards (DVB-C, DVB-S, etc.) die jeweils zur Anwendung kommenden Ausprägungen. Im Wesentlichen unterscheiden sich diese bei den verwendeten Modulationsverfahren und Fehlerkorrekturen. Allen gemeinsam sind die Quellencodierung und die Transportmechanismen nach MPEG (Motion Picture Experts Group). Im Gegensatz zum Broadcastbereich befindet sich die Verfügbarkeit von standardkonformer Infrastruktur bei IPTV erst in den Anfängen. Deshalb setzen die IPTV-Anbieter meist proprietäre Systeme wie beispielsweise Microsoft TV ein.



**Grundlagen der (Bewegt-)Bildübertragung** Das grundlegende Prinzip der Bildübertragung beim Fernsehen hat sich seit der Erfindung nicht geändert. Die Bildvorlage wird zeilenweise abgetastet, in elektrische Signale umgewandelt, über einen Kanal übertragen und schliesslich beim Empfänger wieder dargestellt. Um die zu übertragende Informationsmenge so gering wie möglich zu halten, wird dabei die begrenzte Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Auges ausgenutzt. Gearbeitet wird etwa mit beschränkter Bildwiederholfrequenz, weil bereits ab circa 20 Bildern pro Sekunde der Eindruck von flüssig bewegten Bildinhalten entsteht. Übertragen werden die Bilder zum Beispiel im so genannten Zwischenzeilenverfahren, wobei das menschliche Auge die Halbbilder wieder zu einem Gesamtbild zusammensetzt. Weil die Auflösung des menschlichen Auges beschränkt ist, können Farbinformation zudem mit nochmals geringerer Auflösung übertragen werden als die Helligkeitsinformation, ohne dass sichtbare Qualitätsverluste auftreten.

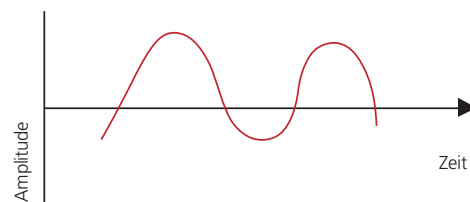
Zu Beginn des Fernsehens wurden nur Helligkeitswerte übertragen. Gesendet wurde also in Schwarzweiss. Die Farben kamen erst später hinzu. Damit Schwarzweiss-Fernseher weiterhin betrieben werden konnten, mussten rückwärtskompatible Systeme zur Farbübertragung entwickelt werden. Neben NTSC in den USA und SECAM in Frankreich und einigen osteuropäischen Ländern setzte sich in Westeuropa der PAL-

Farbfernsehstandard durch. Das PAL-Farbfernsehen feierte seine Geburtsstunde 1967 anlässlich der Internationalen Funkausstellung und wurde – abgesehen von punktuellen Verbesserungen und wenigen Ergänzungen – bis heute unverändert beibehalten.

Lesen Sie im nächsten Magazin über die Funktionsweise des analogen Fernsehens und über Neuerungen beim digitalen Fernsehen.

## Glossar

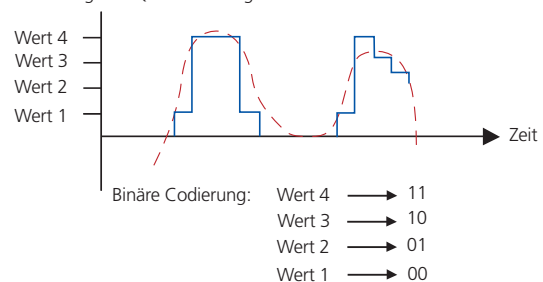
**Analoge und digitale Signale** Ein Analogsignal kann in seiner Stärke (Amplitude) kontinuierlich jeden Wert zwischen einem Minimum und einem Maximum annehmen.



Im Gegensatz zum analogen Signal ist ein Digitalsignal ein diskretes und quantifiziertes Signal. Das heisst, es nimmt nur (vor)bestimmte Werte an. Bei der digitalen Signalverarbeitung werden kontinuierliche Vorgänge, also eigentlich «analoge» Signale, mittels Abtastung und Kodierung in digitale Signale gewandelt und als Binärzahlen dargestellt, so dass ihre Quantifizierung in Bits gemessen wird.

Je höher die Anzahl der Quantifizierungsstufen und je höher die Abtastrate, desto genauer bildet das digitale Signal das ursprüngliche (Analog-) Signal ab und desto grösser werden die Anforderungen an Signalverarbeitung und Bandbreite bei der Datenübertragung.

### Abtastung und Quantifizierung:



### ... Glossar

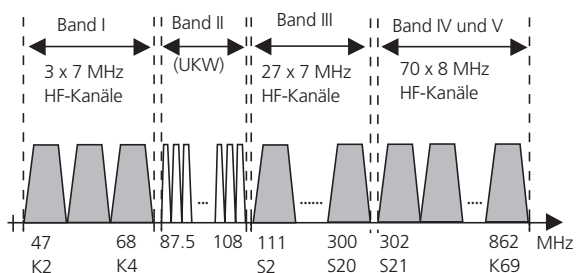
**DVB (Digital Video Broadcast)** DVB bezeichnet in technischer Hinsicht die standardisierten Verfahren zur Übertragung von digitalen Inhalten. Je nach verwendetem Übertragungsmedium kommen verschiedene Substandards zur Anwendung:

- DVB-C:** Cable
- DVB-S:** Satellit
- DVB-T:** Terrestrial (Antenne)
- DVB-H:** Handheld Applications
- DVB-IP:** DVB over IP

**IPTV** IPTV bezeichnet die Übertragung von Multimediadiensten (z.B. Fernsehen, Video, Audio, Texte, Bilder und Daten) via Internet Protokoll (IP). Die IP-Netze stellen dabei die benötigte Qualität (Quality of Service, Quality of Experience), Sicherheit, Interaktivität und Zuverlässigkeit bereit.

**Broadcast** Nach diesem Prinzip funktioniert die klassische Fernsehausstrahlung: Ein Sender versorgt gleichzeitig nahezu beliebig viele Empfänger mit demselben Signal. Ein Signalfluss vom einzelnen Empfänger zurück zum Sender ist nicht notwendig. Jeder Empfänger entscheidet autonom, ob und welche der empfangenen Signale und Nachrichten er weiterverarbeiten will.

#### Kanalraster



**Kanalraster** Der Kanalraster (Kanalbandbreite) bezeichnet den Abstand zwischen benachbarten Kanälen in einem Frequenzband. Innerhalb eines Frequenzbandes sind die Kanäle gleich breit. Beim analogen Fernsehen benötigt ein Programm jeweils exakt einen Hochfrequenzkanal (HF-Kanal) zur Übertragung. Beim digitalen Fernsehen finden pro HF-Kanal mehrere Programme Platz.

**Zwischenzeilenverfahren** Beim Zwischenzeilenverfahren (interlaced scanning) wird ein Vollbild in zwei Halbbilder aufgespalten. Im ersten Durchgang werden die ungeraden, im zweiten die geraden Zeilen abgetastet. Bei der Reproduktion auf dem Empfangsgerät setzt das menschliche Auge die Zeilensprünge wieder zu einem Gesamtbild zusammen. Der Bildschirm leuch-

tet in der doppelten Frequenz (50 Hz) der Bildwiederholrate (25 Hz) auf, ohne dass sich deshalb die übertragene Informationsmenge ebenfalls verdoppelt. Dadurch wird der subjektive Flimmereindruck stark reduziert. Gleichzeitig verbessert sich die Bandbreitenausnutzung. Die Summe der Zeilenanzahl der beiden Halbbilder muss dabei nur etwa 70% der Zeilenanzahl eines vergleichbaren progressiv abgetasteten Bildes (progressiv scanning) erreichen, um denselben subjektiven Bildeindruck zu hinterlassen (Kell-Faktor).

**PAL** (Phase Alternating Line) Beim PAL-Verfahren wird zeilenweise die Phasenlage des Farbdifferenzsignals (R-Y) um 180 Grad umgeschaltet. Da sich der Bildinhalt zwischen zwei Zeilen nicht wesentlich ändert, können auf der Übertragungsstrecke entstandene Farbtonfehler durch die Verrechnung zweier aufeinanderfolgender Zeilen beim Empfänger kompensiert, respektive in Farbsättigungsfehler umgewandelt werden. Ein Fehler der Farbsättigung ist für den Menschen wesentlich schwerer wahrzunehmen als ein Farbtonfehler. Die restlichen Parameter des PAL-Verfahrens lauten wie folgt:

Zeilen:	625 (sichtbar 576)
Vertikalfrequenz:	50 Hz
Horizontalfrequenz:	15625 Hz
Videobandbreite:	5 MHz
Kanalbandbreite:	7 / 8 MHz
Farbträger:	4.43 MHz
Tonträger:	5.5 MHz

## Teil 2 der vierteiligen Serie zum digitalen Fernsehen

# Wie funktioniert digitales Fernsehen?

Der zweite Teil der technischen Serie zum Digitalfernsehen blickt kurz auf die Funktionsweise des analogen Fernsehens zurück und zeigt die wesentlichen Neuerungen der digitalen Übertragung auf.

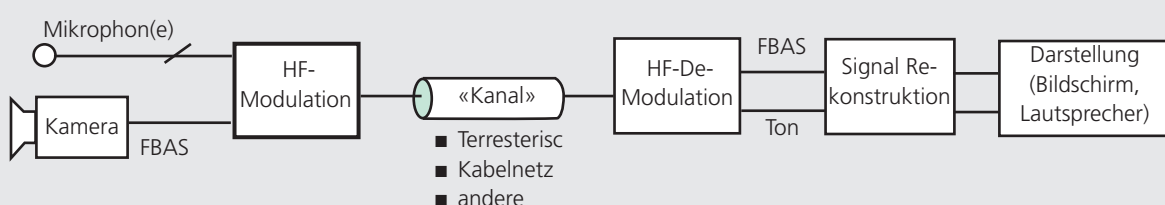
Beim analogen Fernsehen wird das aufzunehmende Bild von der Kamera im Zwischenzeilenverfahren kontinuierlich abgetastet. Die Farbkomponenten Rot, Grün und Blau werden dabei in entsprechende analoge Spannungen  $U_{\text{rot}}$ ,  $U_{\text{grün}}$  und  $U_{\text{blau}}$  umgewandelt. Daraus werden die beiden Farbdifferenzsignale R-Y und B-Y sowie ein Signal für die Helligkeitsinformation (Y) erzeugt. Die Farbdifferenzsignale werden nach dem PAL-Standard entsprechend mit 4.43 MHz phasenmoduliert und zusammen mit den nötigen Synchronisationssignalen zum Helligkeitssignal (Y) addiert. Das so entstandene analoge Farb-Bild-Austastungssignalgemisch (FBAS) erlaubt die vollständige Rekonstruktion der ursprünglichen Bildinformation beim TV-Empfänger.

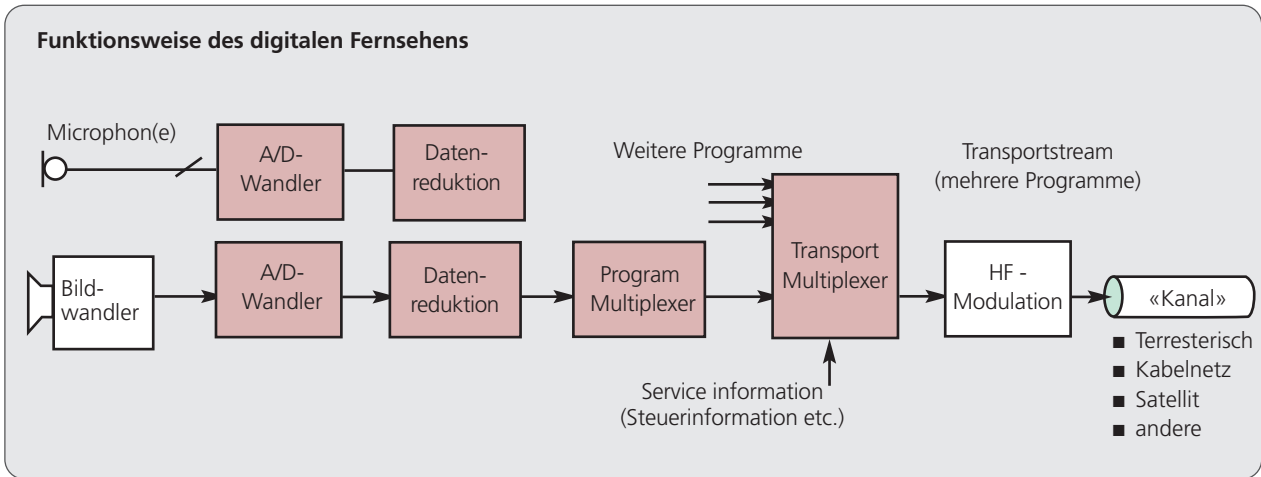
Zur Übertragung des analogen Signals werden die Basisbandsignale (FBAS und Audio) hochfrequenzmoduliert, addiert und über einen 7 oder 8 MHz breiten Hochfrequenzkanal zum Empfänger übertragen. Das Videosignalgemisch (FBAS)

wird dabei amplitudenmoduliert, das Stereotonsignal wird frequenzmoduliert. Im Empfänger wird der entsprechende Empfangskanal über den Tuner selektiert und das empfangene Signal wieder demoduliert. Aus den so gewonnenen FBAS- und Tonsignalen werden anschliessend die verschiedenen Einzelkomponenten (z.B. RGB-Videosignale, Synchronisationssignale, Ton links, rechts) rekonstruiert. Schliesslich werden diese Signale zum zeilenweisen Bildaufbau auf dem Bildschirm respektive zur Tonwiedergabe auf den Lautsprechern ausgegeben.

**Digital-TV: Umwandlung in digitale Signale** Wie das analoge Fernsehen basiert auch das digitale Fernsehen auf der Übertragung von aufeinanderfolgenden Einzelbildern. Die hauptsächliche Neuerung liegt darin, dass die Bild- und Tonsignale vor ihrer Verarbeitung und Verbreitung über den A/D-Wandler in digitale Signale umgewandelt werden. Diese Umwandlung bildet die Basis für die anschliessenden

### Funktionsweise des analogen Fernsehens





Signalverarbeitungsalgorithmen, beispielsweise die Datenreduktion nach MPEG. Sie ist zudem Voraussetzung für eine wirtschaftliche Verbreitung und Archivierung der Signale.

Die flexible Transporttechnologie (Programm- und Transportmultiplex) erlaubt zahlreiche Möglichkeiten zur Übertragung verschiedener Bild- und Tonformate sowie von Zusatzinformationen. In einem Hochfrequenzkanal können somit beispielsweise mehrere Programme gleichzeitig übertragen werden, während dies beim analogen TV auf ein Programm pro Kanal beschränkt ist. Aufgrund der digitalen Signalverbreitung können zudem Qualitätsverluste auf den Verbreitungswegen nahezu eliminiert werden.

Lesen Sie im nächsten Magazin über die Umwandlung der analogen in digitale Signale sowie über die Datenreduktion, welche zur wirtschaftlichen Verbreitung von digitalem Fernsehen nötig ist.

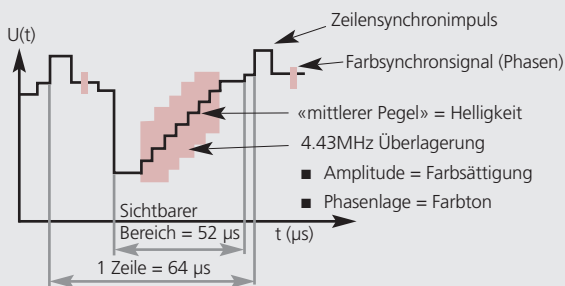
Das Glossar zum Artikel finden Sie auf Seite 17.

**Wichtige Unterschiede zwischen Analog- und Digital-TV aus Sicht des Anwenders**

<b>Neuerung (Digital-TV)</b>	<b>Bisher (Analog-TV)</b>
Nahezu beliebiges Hinzufügen von Zusatzinformationen (z.B. Elektronischer Programmführer)	Die Bandbreite für Zusatzinformation ist stark beschränkt (Teletext)
Unterstützt unterschiedliche Videoformate (z.B. SDTV 4:3, SDTV 16:9, HDTV sowie weitere zukünftige Formate)	Nur PAL 4:3; 16:9 nur durch Hinzufügen der «schwarzen Balken» (Letterbox) am oberen und unteren Bildrand (Reduktion der Auflösung)
Mehrere Stereo-Tonkanäle: Dolby Digital	Beschränkt auf zwei analoge Tonkanäle: Dolby Surround
Datenübertragung für beliebige zukünftige Anwendungen	Die Bandbreite für Daten ist stark beschränkt und für datenintensive Anwendungen nicht geeignet
Gleichzeitige Übertragung mehrerer Programme pro HF-Kanal (erlaubt grösseres Programmangebot)	1 Programm beansprucht jeweils einen ganzen HF-Kanal
Digitale Übertragung, Verluste auf der Übertragungstrecke können nahezu vollständig eliminiert werden	Auf dem Übertragungsweg «eingefangene» Störungen können nur schwer oder gar nicht mehr korrigiert werden (Rauschen, Geisterbilder, etc.)

## Glossar

**FBAS Signal (Composite)** Farb-Bild-Austastungssignalgemisch. Dieses analoge Videosignal erlaubt die vollständige Rekonstruktion der ursprünglichen Bildinformation beim TV-Empfänger.



**PAL (Phase Alternating Line)** Beim PAL-Verfahren wird zeilenweise die Phasenlage des Farbdifferenzsignals (R-Y) um 180 Grad umgeschaltet. Da sich der Bildinhalt zwischen zwei Zeilen nicht wesentlich ändert, können auf der Übertragungstrecke entstandene Farbtonfehler durch die Verrechnung zweier aufeinanderfolgender Zeilen beim Empfänger kompensiert, respektive in Farbsättigungsfehler umgewandelt werden. Ein Fehler der Farbsättigung ist für den Menschen wesentlich schwerer wahrzunehmen als ein Farbtonfehler. Die restlichen Parameter des PAL-Verfahrens lauten wie folgt:

- Zeilen: 625 (sichtbar 576)
- Vertikalfrequenz: 50 Hz
- Horizontalfrequenz: 15625 Hz
- Videobandbreite: 5 MHz
- Kanalbandbreite: 7 / 8 MHz
- Farbträger: 4.43 MHz
- Tonträger: 5.5 MHz

**Amplitudenmodulation (AM)** Übertragungsmethode, bei der die Nutzsignalinformationen auf einer hochfrequenten Trägerwelle durch Variieren der Amplitude aufmoduliert werden. Die Amplitude der Trägerfrequenz ändert sich also in Abhängigkeit des Pegel und der Frequenz des Modulationssignals.

**Frequenzmodulation (FM)** Modulation einer hochfrequenten Trägerwelle durch Veränderung ihrer Frequenz im Rhythmus der niederfrequenten Nutzsignalfrequenz. Die Frequenzmodulation ermöglicht gegenüber der Amplitudenmodulation einen höheren Dynamikumfang und ist weniger störanfällig.

**Auflösung und Pixelraster** Die Auflösung eines Bildes wird definiert durch die Anzahl der vertikalen und horizontalen

Unterteilung der einzelnen Bildpunkte. Der PAL-Standard definiert die vertikale Auflösung mit 576 sichtbaren Zeilen. Die Anzahl der Bildpunkte pro Zeile (horizontale Auflösung) ist nicht definiert durch eine diskrete Zahl, sondern durch die Bandbreite der Kamera und der Signalverarbeitung. Im Zuge der Digitalisierung wurde für ein digitalisiertes Bild mit einer mit PAL vergleichbaren Auflösung eine resultierende diskrete horizontale Auflösung von 720 Pixel definiert. Man spricht hierbei von SDTV (Standard Definition TV). Die digitale TV-Technologie erlaubt grundsätzlich verschiedene Formate. Relevant für den Broadcastbereich sind dabei folgende:

		Zeilen vertikal	Pixel horizontal
SDTV	4:3	576	720
	16:9	576	960
HDTV	16:9	1080	1920
	16:9	720 <sup>*)</sup>	1280 <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> nur für progressive Abtastverfahren

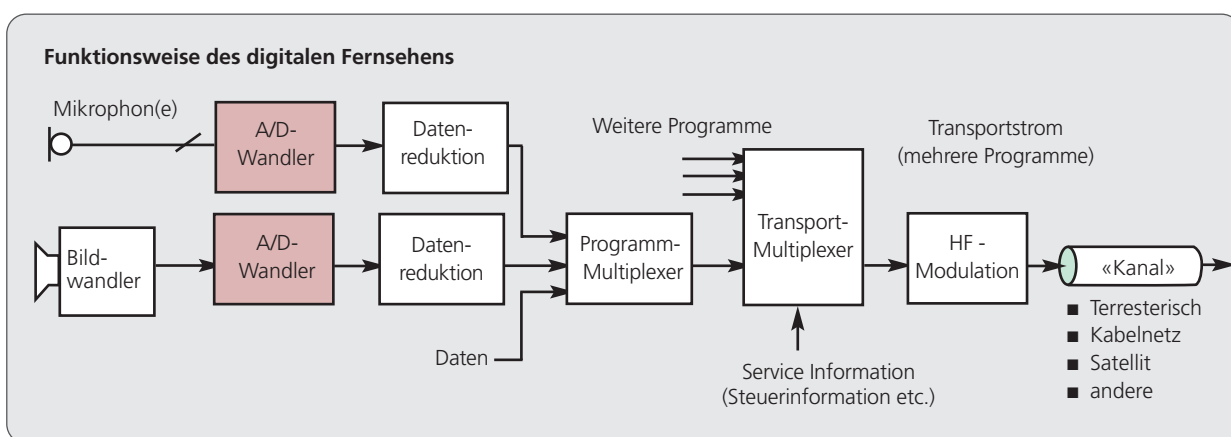
**Dolby Surround** Dolby Surround ist ein analoges Mehrkanaltonverfahren. Mit Hilfe einer speziellen Matrixkodierung werden vier Tonkanäle auf zwei Kanäle verteilt und können über die herkömmlichen Stereokanäle beim analogen TV verbreitet werden. Ein entsprechender Decoder (z.B. HiFi-Anlage) gewinnt die vier Tonkanäle (Left, Right, Center, Surround) wieder aus dem 2-Kanal-Signal zurück. Empfängerseitige Weiterentwicklungen wie beispielsweise Dolby Prologic II haben zwar inzwischen den Raumklangeindruck laufend verbessert, dennoch bleiben Raumklangeindrücke eher auf «Einzel-Effekte» beschränkt.

**Dolby Digital (DD)** Als digitale Weiterentwicklung bietet Dolby Digital (AC-3) die Möglichkeit, bis zu sechs unabhängige digitale Tonkanäle zu übertragen. Beispielsweise handelt es sich beim Format DD 2.0 um ein Stereosignal und bei DD 5.1 um ein Signal mit fünf Kanälen plus einem Subwoofer-Signal (Tiefst-Frequenzen-Effekte). Je nach Format werden zur Übertragung Bitraten von 64 bis 448 Kbit/s benötigt. Typisch sind 384 Kbit/s.

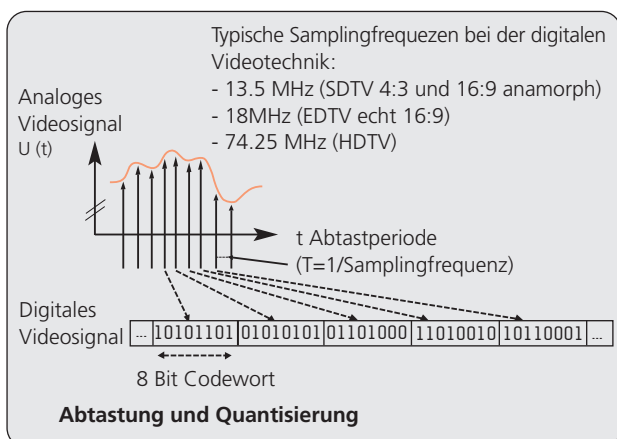
Teil 3 der vierteiligen Serie zum digitalen Fernsehen

# Wie funktioniert digitales Fernsehen?

Der dritte Teil der technischen Serie zum Digitalfernsehen befasst sich mit der Umwandlung der analogen in digitale Signale und erläutert die Hintergründe und Funktionsweise der Datenreduktion.



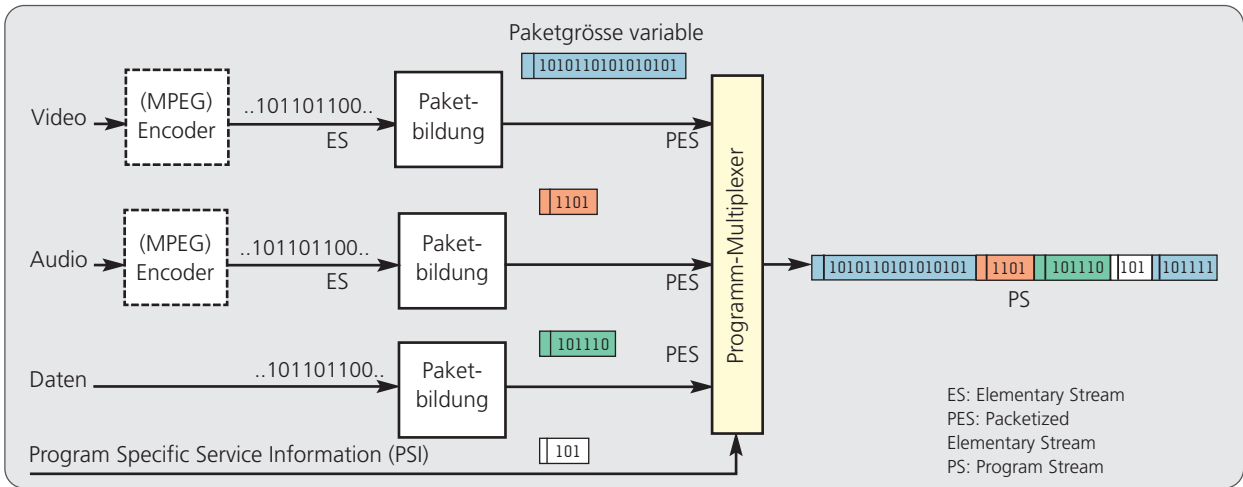
**Abtastung und Quantisierung** Zur Verbreitung von digitalen TV-Signalen müssen in einem ersten Schritt die analogen Signale, welche zeilenweise für jede Grundfarbe (Rot, Grün, Blau: RGB) vom Bildwandler erzeugt werden, in digitale Signale umgewandelt werden. Dazu wird das analoge Signal periodisch abgetastet (Diskretisierung) und in einen definierten binären Wert umgewandelt (Quantisierung). In der Videotechnik sind dabei Wortbreiten von 8–10 Bit üblich. Als Ergebnis entsteht eine unendliche Folge von Codewörtern, welche das ursprüngliche analoge Signal repräsentieren.



**Rohdatenformat mit grossen Datenmengen** Für alle drei Grundfarbsignale (RGB) fallen somit insgesamt mindestens  $3 \times 8 = 24$  Bit pro Bildpunkt an. Für eine mit herkömmlichem PAL vergleichbare Auflösung (SDTV) würde somit alle 40ms eine Datenmenge von rund 1.25 MByte anstehen, für HDTV sogar bis zum Fünffachen mehr. Dieses Rohdatenformat wird auch als 4:4:4 RGB Format bezeichnet und mit Ausnahme von Spezialanwendungen aufgrund seiner hohen Datenraten nicht weiter verwendet.

Die Fernsehtechnik macht sich zunutze, dass das menschliche Auge Farbänderungen von benachbarten Pixel weniger stark wahrnimmt als Helligkeitsänderungen, und dass sein Auflösungsvermögen in vertikaler Richtung stärker ausgeprägt ist als in der Horizontalen. Dies erlaubt, die Farbinformation mit geringerer Auflösung zu verarbeiten als die Helligkeitsinformation (Chromasubsampling).

**Datenreduktion ohne Qualitätseinbusse möglich** Im Studiobereich ist heute das 4:2:2  $YCbCr$  Format üblich. Dabei wird für jeden Abtastpunkt ein 8-Bit Helligkeitswert (Y) und für jeden zweiten Abtastpunkt je zwei 8-Bit Farbdifferenzwerte ( $C_b$ ,  $C_r$ ) verwendet (Horizontal Chromasubsampling). Im Broad-



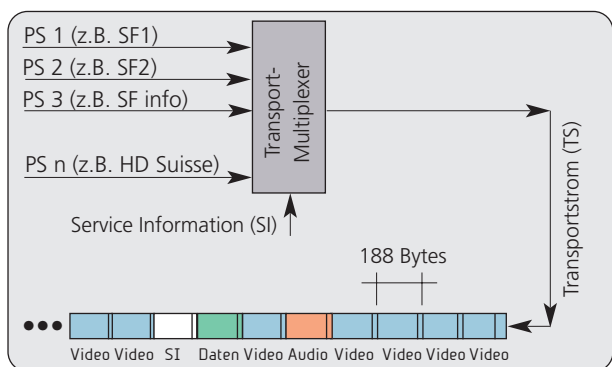
castbereich hat sich das 4:2:0 YC<sub>b</sub>C<sub>r</sub> Format durchgesetzt. Dabei werden wie beim 4:2:2 Format immer noch für jeden Abtastpunkt ein 8-Bit Helligkeitswert (Y), jedoch nur noch zeilenweise alternierend ein Farbdifferenzwert C<sub>b</sub> oder C<sub>r</sub> übertragen. (Horizontal & Vertikal Chromasubsampling). Die resultierende Datenmenge wird damit gegenüber dem Rohdatenformat halbiert, ohne dass merkliche Qualitätseinbussen festgestellt werden können.

**Weitere Datenreduktion nötig** Die nach der Digitalisierung vorliegenden Datenraten sind immer noch zu hoch, um sie wirtschaftlich übertragen zu können. Aus diesem Grund muss die Datenrate weiter reduziert werden. Dazu werden hauptsächlich die von MPEG spezifizierten Verfahren zur Videocodierung eingesetzt. Im Unterschied zum analogen Fernsehen werden dabei nur noch sporadisch vollständige Bilder (I-Frames) übertragen; ansonsten werden nur die sich ändernden Bildanteile (P- und B-Frames) übertragen. Bildanteile, welche im gleichen Bild mehrfach identisch vorkommen, werden nur einmal übertragen. Generell werden schnelle örtliche Bildänderungen, welche das menschliche Auge nur schwer erkennen kann, ab einem gewissen Grad nicht mehr übertragen. Die Effizienz der Komprimieralgorithmen befindet sich in ständiger Entwicklung. Beim heutigen Stand der Technik werden für SDTV Datenraten im Bereich von 4–7 MBit/s (MPEG-2) und für HDTV solche von 8–16 MBit/s (MPEG-4/AVC) erreicht. Der Kompressionsgrad hängt wesentlich vom Bildinhalt ab. Stark bewegte Bilder lassen sich weniger stark komprimieren.

**Datenströme werden zum Programmstrom zusammengefasst** Die einzelnen Video- und Audiodatenströme (Elementary Stream ES), welche nach der Kodierung am Ausgang des MPEG-Encoders bereitstehen, müssen zur weiteren Verbreitung zusammengefasst werden (siehe Abbildung oben). Dabei werden sie zunächst in Pakete unterteilt. Jedes Paket wird mit zusätzlichen Informationen über seinen Inhalt und seine Grösse versehen. Anschliessend werden die Audio- und

Videopakete, ergänzt mit zusätzlichen Paketen für Daten und Signalisierung (Service Information, Elektronischer Programmführer, Teletext, etc.) im Programm-Multiplexer zusammengefasst. Es entsteht der so genannte Programmstrom (PS), der nun alle notwendigen Informationen eines Programms enthält.

**Transportstrom bis zum Empfänger** Je nach verwendetem Verbreitungsweg, typischerweise bei DVB, werden mehrere solcher Programmströme zu einem Transportstrom zusammengefasst. Zudem werden die vergleichsweise grossen, variablen Pakete des Programmstroms in viele kleine Pakete mit einer konstanten Grösse von 188 Bytes unterteilt. Jedes Paket besteht aus einem Kopf (Header) und einem Nutzdatenteil (Payload). Der Header enthält unter anderem Informationen über den Inhalt und die Zugehörigkeit des Pakets, damit beim Empfänger die jeweiligen Elementarströme wiederhergestellt werden können.



Die Anzahl der Programme pro Transportstrom ist abhängig von den Datenraten der einzelnen Programme und den Eigenschaften des anschliessend verwendeten Verbreitungsweges.

Lesen Sie im nächsten Magazin wie die digitalen Signale moduliert und schliesslich bis zu den Anschlussdosen in den Wohnzimmern der Kunden weiterverbreitet werden. (Glossar Seite 17)



**Von RGB zu YCbCr** Während das RGB-Farbmodell eine bestimmte Farbe durch die additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau ausdrückt, wird bei «Helligkeits-Farbigkeits»-Modellen wie z.B. YCbCr, der RGB-Farbwert in die Grundhelligkeit Y und zwei Farbkomponenten C<sub>b</sub> und C<sub>r</sub> aufgeteilt. Dabei ist C<sub>b</sub> ein Mass für die Abweichung von Grau in Richtung Blau bzw. Gelb (Komplementärfarbe von Blau) und C<sub>r</sub> ist die entsprechende Masszahl für die Abweichung in Richtung Rot bzw. Türkis. Bestimmung von YCbCr aus RGB:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

$$C_r = 0.6 \cdot R - 0.28 \cdot G - 0.32 \cdot B$$

$$C_b = 0.21 \cdot R - 0.52 \cdot G + 0.31 \cdot B$$

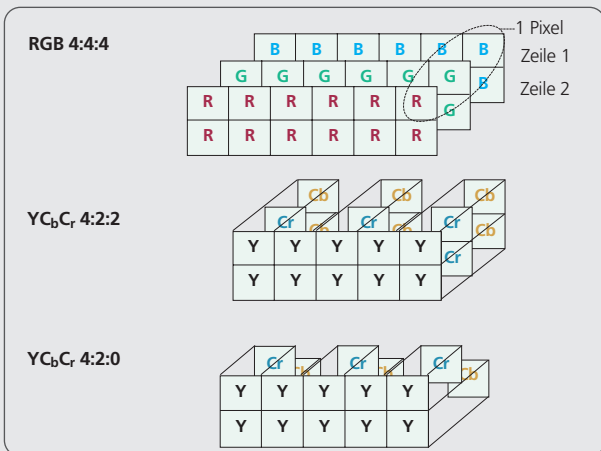
Dieses Modell bildet somit die Grundlage dafür, die Farbkomponenten C<sub>b</sub>/C<sub>r</sub> mit einer geringeren Auflösung übertragen zu können als die Helligkeitswerte Y (Chromasubsampling).

**Abtastformate und Datenraten** Die folgende Tabelle liefert eine Übersicht der wichtigsten Abtastformate und deren Rohdatenraten.

Format Bild (aktiv)	RGB 4:4:4 10 Bit	YCbCr 4:2:2 8 Bit	YCbCr 4:2:0 8 Bit
720x576 fr = 25i fsy = 13.5	311	166	<b>124</b>
960x576 fr = 25i fsy = 18	415	221	<b>166</b>
1280x720 fr = 25p fsy = 74.5	1382	737	<b>553</b>
1920x1080 fr = 25i fsy = 74.5	1555	829	<b>622</b>

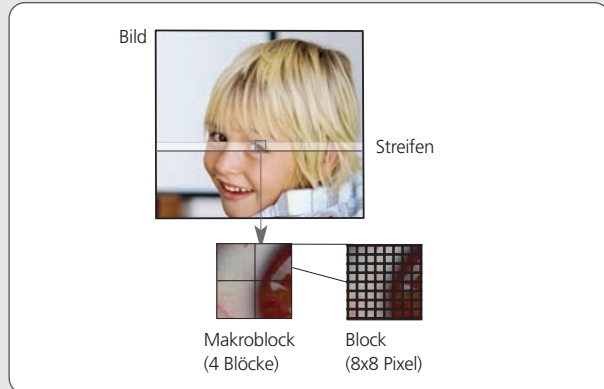
Nettodatenraten in MBit/s

fr = Bildwechselfrequenz in MHz,  
i = interlaced, p = progressive  
fsy = Abtastfrequenz (Luminanz Y)

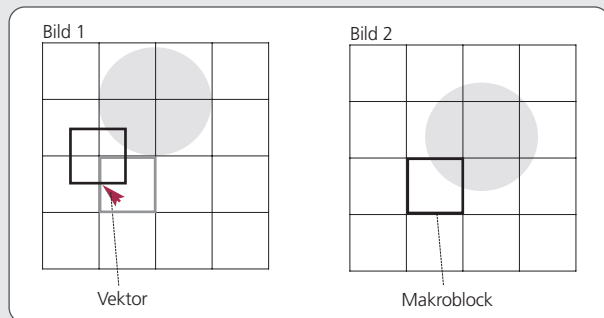


**MPEG-Videokodierung** Zur Bearbeitung werden die Bilder in einzelne Blöcke unterteilt. Diese Blöcke werden mit einer mathematischen Operation, der Diskreten Cosinus Transformation (DCT), bearbeitet. Dabei werden die Helligkeits- beziehungsweise Farbwerte in Frequenzen umgewandelt. Da das mensch-

liche Auge höhere Frequenzen schlechter wahrnimmt als tiefere, werden diese bei der anschliessenden Quantifizierung tiefer gewichtet und somit die Datenmenge reduziert. Durch eine anschliessende Codeoptimierung (Run Length Encoding und Huffmancodierung) lassen sich weitere redundante Informationseinheiten einsparen.



Das grundlegende Verfahren der MPEG-Kodierung besteht darin, möglichst viele Bildteile nur durch die Differenz des Bildinhaltes zum vorherig kodierten Bild zu beschreiben. Bei dieser so genannten Bewegungskompensation wird die Verschiebung von Bildteilen ermittelt, wie sie bei Kameraschwenks oder sich bewegenden Objekten entsteht. Die Bewegung von diesen Bildteilen wird in Form von einfachen Verschiebungsvektoren ausgedrückt. So kann beispielsweise ein langsamer Kameraschwenk fast ohne die Kodierung und Übertragung von direkten Bildinformationen auskommen. Will man z.B. den fett markierten Makroblock des Bildes 2 codieren, wird im Bild 1 innerhalb eines bestimmten Suchbereichs ein möglichst ähnlicher Block gesucht und nur die Differenz beider Blöcke (= geringerer Informationsgehalt) sowie der Verschiebungsvektor codiert und übertragen.

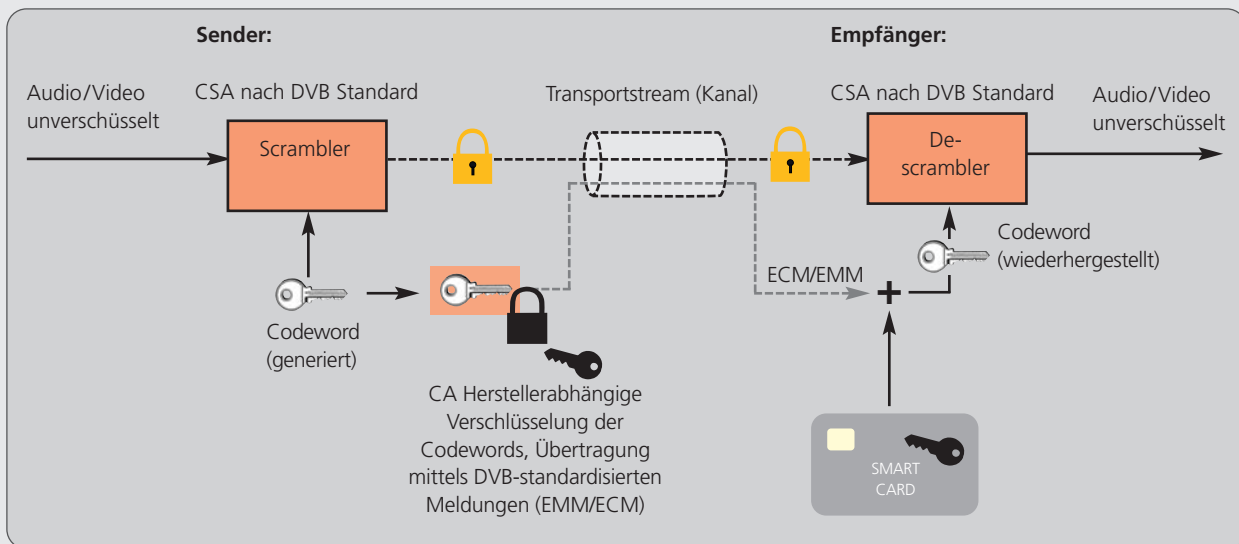


**Transport Stream TS** Beim digitalen Fernsehen bezeichnet ein Transport Stream einen Datenstrom, welcher alle notwendigen Informationen (Audio, Video, Data, Signalisierung) zur Übertragung und Darstellung beim Empfänger beinhaltet. Man unterscheidet zwischen SPTS (Single Program Transport Stream) und MPTS (Multiple Program Transport Stream). Ein SPTS beinhaltet Informationen von genau einem Programm (z.B. zum Abspeichern auf DVD oder zur IP-basierten Weiterverbreitung). Der MPTS hingegen beinhaltet die Informationen mehrerer Programme und kommt typischerweise bei der DVB-basierten Verbreitung zur Anwendung.

Letzter Teil der vierteiligen Serie zum digitalen Fernsehen

# Wie funktioniert digitales Fernsehen?

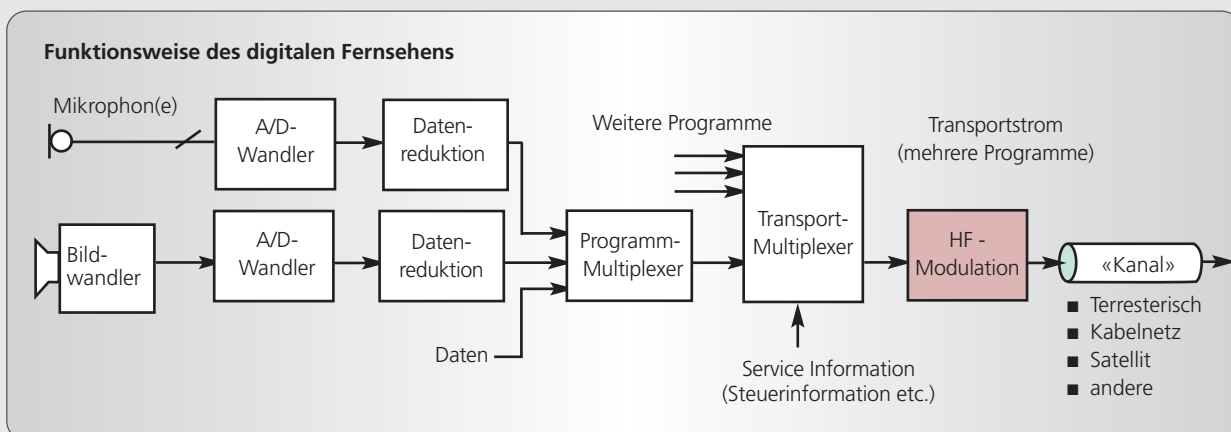
Der letzte Teil der technischen Serie zum digitalen Fernsehen zeigt, wie die digitalen Signale verschlüsselt, moduliert und schliesslich bis zu den Anschlussdosen in den Wohnzimmern der Kunden weiterverbreitet werden.



Wie in Ausgabe Nr. 3/2008 gezeigt, besteht der Transportstrom aus vielen kleinen Paketen mit einer konstanten Grösse von 188 Bytes. Bei Bedarf können diese Pakete verschlüsselt werden. Dadurch lassen sich alle oder einzelne Programme eines Transportstroms nur berechtigten Empfängern zugänglich machen. Man spricht in diesem Fall von bedingtem Zugriff (engl. Conditional Access CA).

Das Scrambling (engl. Verwülfelung) erfolgt mit Hilfe eines standardisierten Algorithmus (DVB Common Scrambling Algorithm). Dieser berechnet aus dem Eingangssignal und

einem sich ständig ändernden Codeword das chiffrierte Ausgangssignal. Zum Descrambling im Empfänger muss das jeweils aktuelle Codeword bekannt sein. Die dazu notwendige Information wird dem Transportstrom in standardisierten Meldungen (CA Service Information) hinzugefügt (MUX). Zusammen mit den auf den Smartcards gespeicherten Schlüsseln kann der Empfänger die notwendigen Codewörter wiederherstellen. Die genauen Mechanismen und Verfahren sind abhängig vom jeweiligen Hersteller, beispielsweise NagraVision, Conax und ViaAccess. Aus Sicherheitsgründen kann und soll hier kein Standard existieren. →



**Digitale Modulation** Wie das FBAS-Signal und die beiden Tonsignale beim analogen Fernsehen müssen auch beim digitalen Fernsehen die Basisbandsignale – in diesem Fall die digitalen Transportdatenströme – auf einen Kanal gebracht werden, damit diese über das entsprechende Verbreitungsmedium (Satellitenstrecke, Kabelnetz, etc.) transportiert werden können. Dazu kommen die für digitale Signale optimierten Modulationsverfahren QPSK oder QAM zum Einsatz. Da auf der Übertragungsstrecke Störungen auftreten können, werden den einzelnen, 188 Bytes grossen Datenpaketen vor der Modulation zusätzliche Bytes zur Fehlerkorrektur hinzugefügt. Dies

erlaubt dem Empfänger, während der Übertragung entstandene Fehler bis zu einem bestimmten Grad zu eliminieren. Neben einer konstanten Anzahl von 6 Bytes (Reed-Solomon-Code) wird zusätzlich eine durch die Qualität der Übertragungsstrecke bedingte Anzahl Bytes hinzugefügt (FEC: Forward Error Correction). FEC 2/3 bedeutet beispielsweise, dass auf 2 Nutz-Bytes 1 Byte für die Fehlerkorrektur hinzukommt. Bei der Verbreitung über Kabelnetze entfällt die FEC aufgrund der weitaus geringeren Störanfälligkeit.

Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug der gebräuchlichsten, bei DVB spezifizierten Konfigurationen:

Medium	Standard	Verfahren	Modulation	FEC	Kanalbreite [MHz]	nutzbare Datenrate pro Kanal (Mbits/s)
Satellit	DVB-S	Single Carrier	QPSK	2/3	33	<b>33.8</b>
			QPSK	7/8	33	<b>44.4</b>
	DVB-S2		QPSK	3/4	33	<b>46</b>
			8-PSK	2/3	33	<b>58.8</b>
Kabel	DVB-C	Single Carrier	QAM-64	-	8	<b>38.45</b>
			QAM-256	-	8	<b>51.28</b>
	DVB-C2*		QAM-1024	-	8	<b>65.8</b>
Terrestrisch	DVB-T	COFDM	QAM16	5/6	8	<b>18.43</b>
			QAM64	7/8	8	<b>31.67</b>

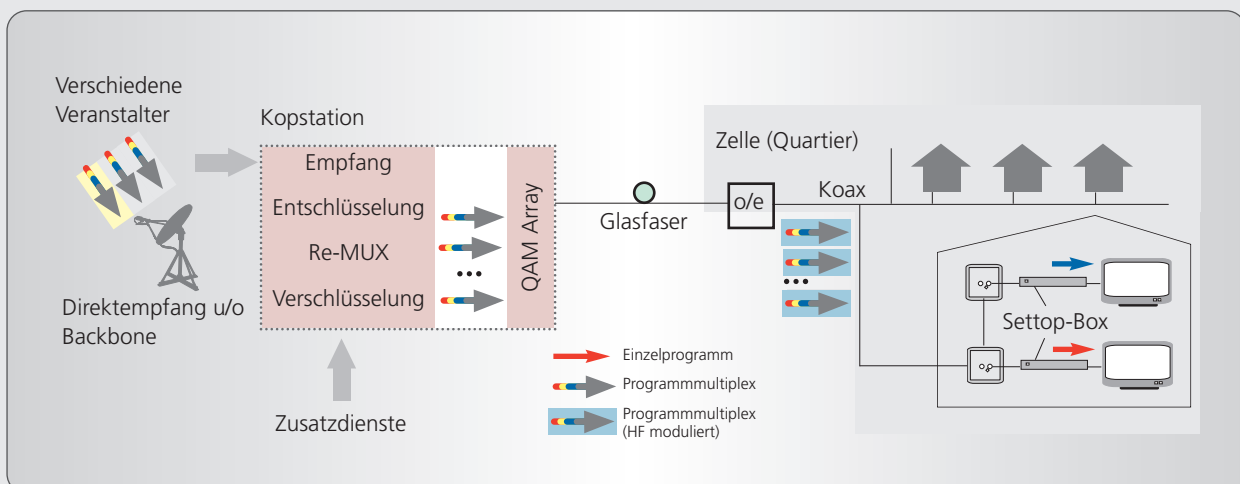
\* in Vorbereitung

## Glossar

Im Wesentlichen unterscheiden sich die Verfahren in Bezug auf die verwendeten Modulationsgrade und Fehlerkorrekturen. Aufgrund der verschiedenen Verfahren stehen deshalb zur Übertragung von digitalen TV-Programmen für jedes Medium unterschiedliche Transportkapazitäten (Nettodatenraten) pro Kanal bereit.

**Weiterverbreitung** Aufgrund der hohen Verkabelungsdichte spielt die Weiterverbreitung über Kabelnetze in der Schweiz die wichtigste Rolle. Mehr als 2,8 Mio. Haushalte beziehen ihr Fernsehsignal via Kabelnetz. Die Kabelnetzbetreiber empfangen die digitalen TV- und Radioprogramme der Programmveranstalter via Satellit, Glasfaserleitungen oder über Richtfunkverbindungen. In der Kopfstation (Headend) werden die Signale den Kundenbedürfnissen entsprechend aufbereitet und nach DVB-C-Standard über HFC-Netze zu den Anschlüssen in den Wohnungen übertragen.

**Transport Stream TS** Beim digitalen Fernsehen bezeichnet ein Transport Stream einen Datenstrom, welcher alle notwendigen Informationen (Audio, Video, Data, Signalisierung) zur Übertragung und Darstellung beim Empfänger beinhaltet. Man unterscheidet zwischen SPTS (Single Program Transport Stream) und MPTS (Multiple Program Transport Stream). Ein SPTS beinhaltet Informationen von genau einem Programm (z.B. zum Abspeichern auf DVD oder zur IP-basierten Weiterverbreitung). Der MPTS hingegen beinhaltet die Informationen mehrerer Programme und kommt typischerweise bei der DVB-basierten Verbreitung zur Anwendung.



Die Aufbereitung in der Kopfstation besteht im einfachsten Fall aus einer einfachen Transmodulation. Dabei werden die via Satellit empfangenen, QPSK-modulierten Transportströme demoduliert, die Signalisierungsinformationen angepasst und QAM-moduliert auf entsprechenden Kanälen – typischerweise im Band IV und V – auf das HFC-Netzwerk ausgegeben. Aufwändigere Kopfstationen öffnen ebenfalls die Transportströme, setzen die darin enthaltenen Programme neu zusammen, passen bei Bedarf die Datenrate an (Re-multiplexing) und fügen Daten für Zusatzdienste hinzu, beispielsweise ein einheitlicher, alle Programme umfassender elektronischer Programmführer.

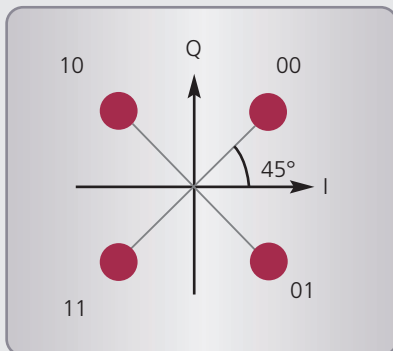
**Simulcrypt/Multicrypt** Der DVB-Standard erlaubt das gleichzeitige Verwenden verschiedener Conditional-Access-Systeme (CA). Man unterscheidet zwischen Multicrypt und Simulcrypt.

Beim Multicrypt-Verfahren werden die verschlüsselten Nutzdaten sowie die CA-Meldungen (CA Service Information) der verschiedenen Programmpakete (Transportströme) unabhängig voneinander

der mit dem jeweils verwendeten CA-System übertragen. Multicrypt-Verfahren erlauben das Empfangen von Programmpaketen verschiedener Veranstalter ohne eine übergreifende vertragliche Vereinbarung (gemeinsamer Schlüssel).

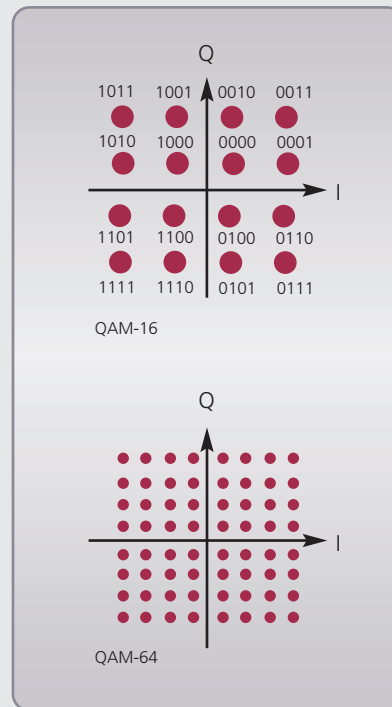
Beim Simulcrypt-Verfahren werden nur die verschiedenen CA-Meldungen (CA Service Information) mehrfach übertragen. Das Nutzsignal, welches mit dem für alle Systeme identischen Codeword verwürfelt wird, wird nur einmal übertragen. Der Empfänger filtert die für sein System passende CA-Meldung zur Rekonstruktion des Codewords heraus. Simulcrypt erlaubt den gleichzeitigen Betrieb von verschiedenen CA-Systemen oder Versionen, ohne dass das identische Nutzsignal mehrfach übertragen werden muss.

**QPSK** QPSK steht für Vierphasen-Modulation (engl. Quaternary Phase Shift Keying). Die QPSK ist ein digitales Modulationsverfahren, bei welchem pro Sendetakt zwei Bits übertragen werden. Die Information wird dabei in der Phasenlage des Trägersignals übertragen. Die Amplitude ist ohne Bedeutung. Daher sind QPSK-Signale sehr robust gegenüber Störungen.



**QAM** QAM steht für Quadraturamplitudenmodulation (engl. Quadrature Amplitude Modulation). Die QAM kombiniert die Amplitudenmodulation mit der Phasenmodulation. Das heisst, die Information wird in der Phasenlage (wie bei QPSK) und zusätzlich in der Amplitude übertragen. Somit können pro Sendesymbol mehr verschiedene Zustände

übertragen werden. QAM-16 erlaubt 16 verschiedene Zustände (4 Bit), QAM-64 sinngemäss deren 64 (6 Bit) etc.

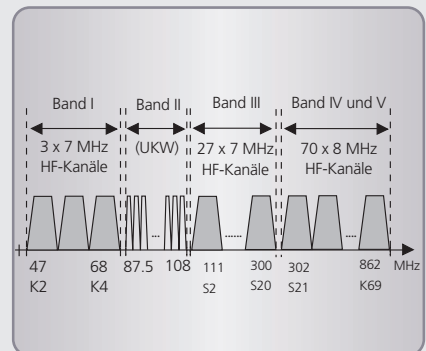


Je höher der Modulationsgrad, desto schwieriger wird es für den Empfänger, die einzelnen Zustände voneinander zu unterscheiden und den binären Ursprungswert richtig zu rekonstruieren. Deshalb sind höherwertige Verfahren vergleichsweise empfindlicher gegen Störungen und können nur auf entsprechend guten (Kabel-)Verbindungen eingesetzt werden.

**HFC-Netze** Hybrid Fibre Coax (HFC) bezeichnet eine Technologie zur leitungsgebundenen Übertragung von analogen und digitalen Signalen grosser Bandbreite. Dabei werden zur Verteilung der Signale bis in die Quartiere Glasfaserleitungen verwendet (FTTC, Fibre to the Curb). An den Endpunkten der Glasfasern werden die optischen Signale in elektrische gewandelt, die dann über Koaxialkabel in die einzelnen Haushalte geführt werden. Meist werden von einem Koaxialkabel mehrere Haushalte versorgt. HFC-Netze werden gewöhnlich für Kabelfernsehen verwendet und sind in der Regel mit einem Rückkanal

ausgestattet, welcher die Grundlage für Datendienste und interaktives Fernsehen bildet. Je nach Netzausbau und fortgeschrittener Abschaltung der analogen TV-Verbreitung verfügen die HFC-Netze über 70 bis 100 HF-Kanäle, welche zur Übertragung von digitalen Fernsehprogrammen genutzt werden können. Pro Kanal können mit heutigen Modulations- und Videokomprimierungstechnologien bis zu 12 SDTV- oder bis zu 5 HDTV-Programme übertragen werden. Der in Entwicklung stehende DVB-C2-Standard verspricht eine Kapazitätzunahme von bis zu 80 Prozent.

**Kanalraster** Mit Kanalraster (Kanalbandbreite) wird der Abstand zwischen benachbarten Kanälen in einem Frequenzband bezeichnet. Innerhalb eines Frequenzbandes sind die Kanäle gleich breit.



Beim analogen Fernsehen benötigt ein Programm jeweils exakt einen Hochfrequenzkanal (HF-Kanal) zur Übertragung. Beim digitalen Fernsehen finden pro HF-Kanal mehrere Programme Platz.