Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 99 (2008)
Heft: 3

Artikel: Wie funktioniert digitales Fernsehen?
Autor: Volken, Martin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855822

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wie funktioniert digitales Fernsehen?

Von FBAS und PAL zu MPEG und digitaler Modulation

Der TV-Markt ist in Bewegung. Haupttreiber ist die laufende Digitalisierung des Fernsehens: Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2012 das analoge Fernsehen vollständig durch digitales zu ersetzen. Wie aber funktioniert das digitale Fernsehen überhaupt? Der vorliegende Beitrag erklärt die Grundlagen nach dem DVB-Standard und zeigt Unterschiede und neue Möglichkeiten im Vergleich zur bestehenden analogen Fernsehtechnik auf.

Nachdem Bild- und Tonsignale im Studio seit geraumer Zeit digital hergestellt und verarbeitet werden, befinden wir uns heute

Martin Volken

in der Endphase der Migration, bei der Digitalisierung der Verbreitungswege und der Endgeräte zu Hause.

Erst mit der fortschreitenden Entwicklung der Videokomprimierungstechnologien und effizienten digitalen Modulationsverfahren kann digitales Fernsehen wirtschaftlich verbreitet werden. Zur Illustration: Ein mit herkömmlicher PAL-Auflösung vergleichbares digitales Fernsehbild (SDTV[1]) benötigt in unkomprimierter Form Transportkapazitäten, die vergleichsweise 4 analoge TV-Kanäle oder 50 parallele Breitbandanschlüsse beanspruchen würden. Das Abspeichern eines 2-stündigen Films auf einen Datenträger in diesem Rohdatenformat würde etwa 150 Gigabyte Speicherkapazität benötigen, was 32 DVDs entspricht. Für hochauflösende Formate (HDTV[2]) sind die Datenraten nochmals um das 5-Fache höher.

Verbreitungswege und Standards

Während in der Anfangszeit des Fernsehens die Signale vor allem terrestrisch, also über auf dem Erdboden stehende Sendemasten ausgestrahlt wurden, steht heute die Erstverbreitung über geostationäre Satelliten, wie Astra oder Eutelsat, und die Weiterverbreitung über Kabelnetze im Vordergrund. Langsam an Bedeutung gewinnt IPTV[3], also die Verbreitung über Verbindungen, die auf dem Internetprotokoll basieren.

In Europa hat sich für digitales Fernsehen der DVB-Standard etabliert, in den USA ATSC und in Japan ISDB. DVB steht für Digital Video Broadcast. Je nach verwendetem Medium, das «C» in DVB-C steht beispielsweise für «Cable», spezifizieren die Substandards die jeweils speziellen Ausprägungen (Bild 1):

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

Im Wesentlichen unterscheiden sich die Substandards in den verwendeten Modulationsverfahren und Fehlerkorrekturen. Allen gemeinsam sind Quellencodierung und Transportmechanismen nach MPEG[4]. Im Gegensatz zum Broadcastbereich[5] befindet sich die Standardisierung respektive die Verfügbarkeit von standardkonformer Infrastruktur bei IPTV erst in den Anfängen. Deshalb setzen die IPTV-Anbieter (vorwiegend Telekommunikationsanbieter) meist proprietäre Systeme wie Microsoft TV ein.

Grundlagen der Bildübertragung

Das grundlegende Prinzip der Bildübertragung beim Fernsehen hat sich seit dessen Erfindung nicht geändert. Die Bildvorlage wird zeilenweise abgetastet, in elektrische Signale umgewandelt, über einen Kanal übertragen und schliesslich beim

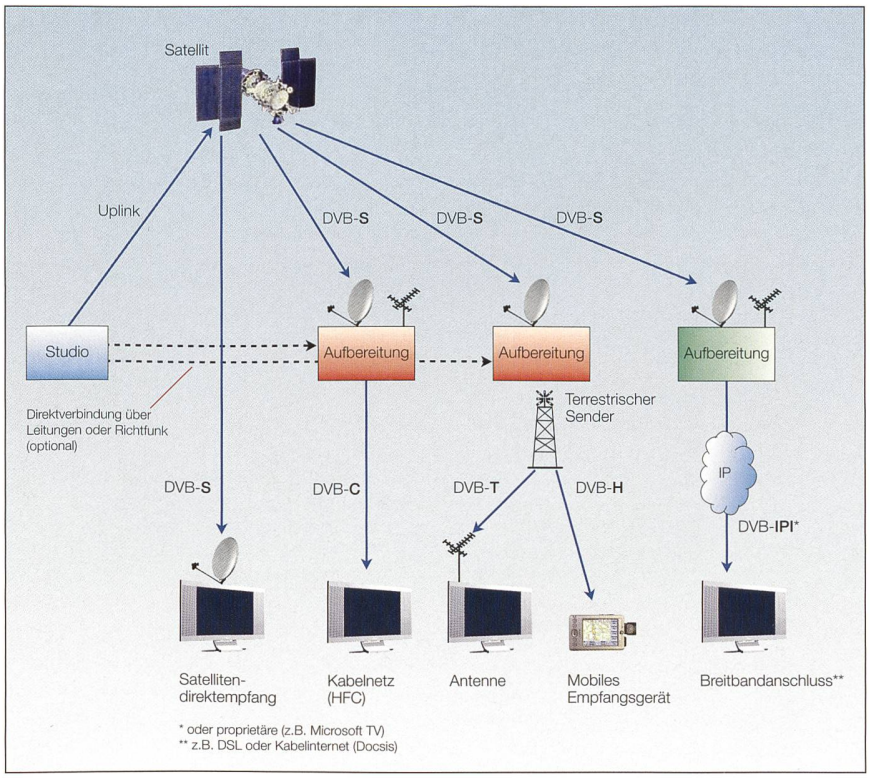


Bild 1 Verschiedene Verbreitungswege des Fernsehsignals.

articles spécialisés

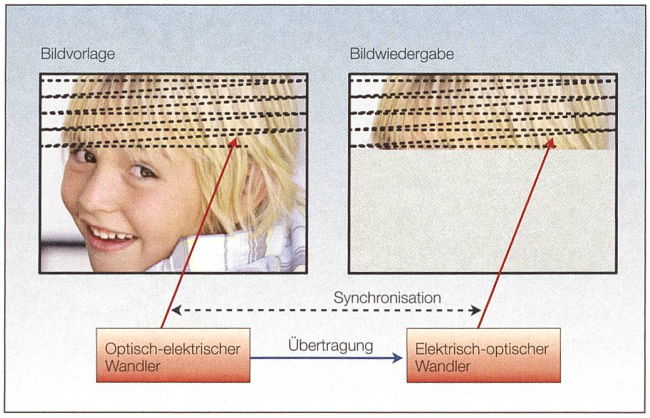


Bild 2 Übertragung von bewegten Bildern.

Empfänger wieder dargestellt (Bild 2). Um die zu übertragende Informationsmenge so gering wie möglich zu halten, wird seit den Anfängen der Fernsehgeschichte die begrenzte Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Auges ausgenützt, beispielsweise:

- Beschränkte Bildwiederholfrequenz: Ab 20 Bildern pro Sekunde entsteht der Eindruck von flüssig bewegten Bildinhalten.
- Zwischenzeilenverfahren: Das menschliche Auge integriert die Halbbilder wieder zu einem Gesamtbild.
- Auflösung: Die Auflösung des menschlichen Auges ist begrenzt. Zudem kann die Farbinformation mit nochmals geringerer Auflösung übertragen werden als die Helligkeitsinformation, ohne dass sichtbare Qualitätsverluste auftreten.

Beim Zwischenzeilenverfahren (Interlaced Scanning) wird ein Vollbild in zwei Halbbilder aufgespaltet. Im ersten Durchgang werden die ungeraden, im zweiten Durchgang die geraden Zeilen abgetastet. Bei der Reproduktion auf dem Empfangsgerät integriert das menschliche Auge dann die Zeilensprünge wieder zu einem Gesamtbild. Der Bildschirm leuchtet in der doppelten Frequenz der Bildwiederholrate auf, ohne dass sich deshalb die übertragene Informationsmenge ebenfalls verdoppelt. Dadurch wird der subjektive Flimmereindruck bei gleichzeitig verbesserter Bandbreitenausnutzung stark reduziert. Die Summe der Zeilenanzahl der beiden Halbbilder muss dabei nur etwa 70% der Zeilenzahl eines vergleichbaren progressiv abgetasteten Bildes (Progressiv Scanning) erreichen, um denselben subjektiven Bildeindruck zu hinterlassen (Kell-Faktor).

Die Welt des analogen Fernsehens

Bevor wir uns dem digitalen Fernsehen zuwenden, betrachten wir kurz die Funktionsweise des analogen Fernsehens (Bild 3): Das aufzunehmende Bild wird von der Kamera im Zwischenzeilenverfahren kontinuierlich abgetastet und dem Anteil der jeweiligen Farbkomponente (Rot, Grün, Blau) entsprechend in analoge Spannungen (U_{rot}, $U_{grün}$, U_{blau}) umgewandelt. Durch Addition und Subtraktion in einer Matrix werden daraus ein Signal für die Helligkeitsinformation (Y) sowie die beiden Farbdifferenzsignale R-Y und B-Y erzeugt. Die Farbdifferenzsignale werden nach dem PAL-Standard mit 4,43 MHz phasenmoduliert und zusammen mit den nötigen Synchronisationssignalen zum Helligkeitssignal (Y) addiert. Das so entstandene analoge Farb-/Bild-Austaststsignalgemisch (FBAS) erlaubt die vollständige Rekonstruktion der ursprünglichen Bildinformation beim TV-Empfänger (siehe Bild 4).

Zu Beginn des Fernsehens wurden nur Helligkeitswerte übertragen, d.h. Schwarz-Weiss und keine Farben. Die Farben kamen erst später hinzu. Damit die bereits vorhandenen Schwarz-Weiss-Empfänger 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. PAL feierte seine Geburtsstunde 1967 anlässlich der Internationalen Funkausstellung und wurde abgesehen von punktuellen Verbesserungen und wenigen Ergänzungen bis heute unverändert beibehalten. PAL steht für Phase Alternating Line. Dabei 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 aufeinanderfolgenden Zeilen beim Empfänger kompensiert respektive in Farbsättigungsfehler umgewandelt werden. Ein Fehler der Farbsättigung ist für den Menschen wesentlich schwerer wahrzunehmen als ein Farbtonfehler.

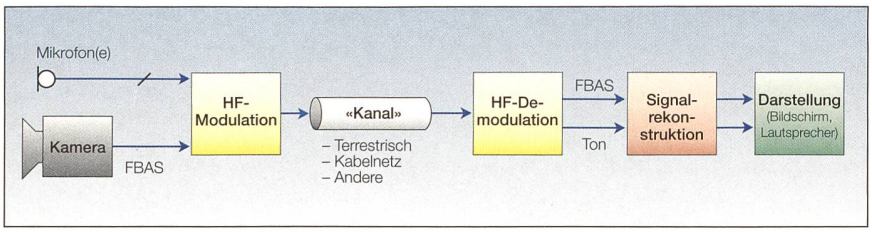


Bild 3 Analoge Fernsehübertragung.

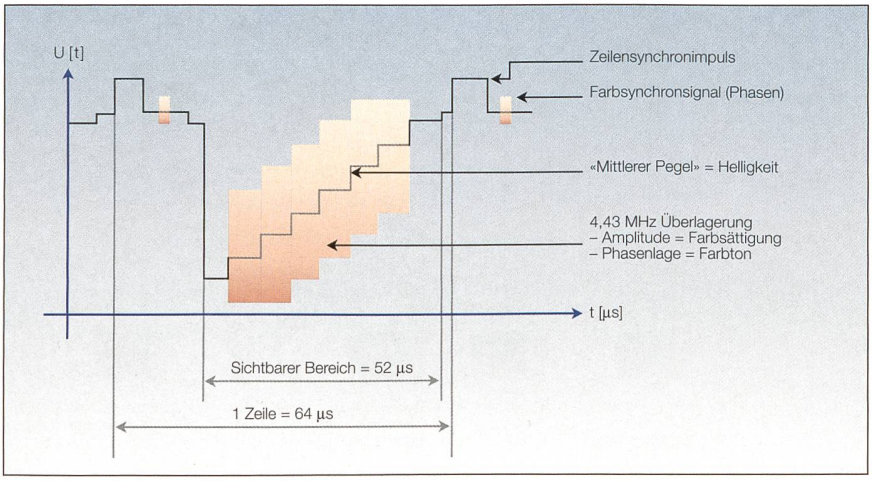


Bild 4 FBAS-Signal (Composite).
Farb-/Bild-Austaststsignalgemisch. Dieses analoge Videosignal erlaubt die vollständige Rekonstruktion der ursprünglichen Bildinformation beim TV-Empfänger.

Format	Seiten-verhältnis	Zeilen (vertikal)	Pixel (horizontal)
SDTV	4:3	576	720
	16:9	576	960
HDTV	16:9	1080	1920
	16:9	720*	1280*

* nur für progressive Abtastverfahren

Tabelle I Bildformate.

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

Die wichtigsten Parameter des analogen PAL-Fernsehens lauten zusammengefasst:

- 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

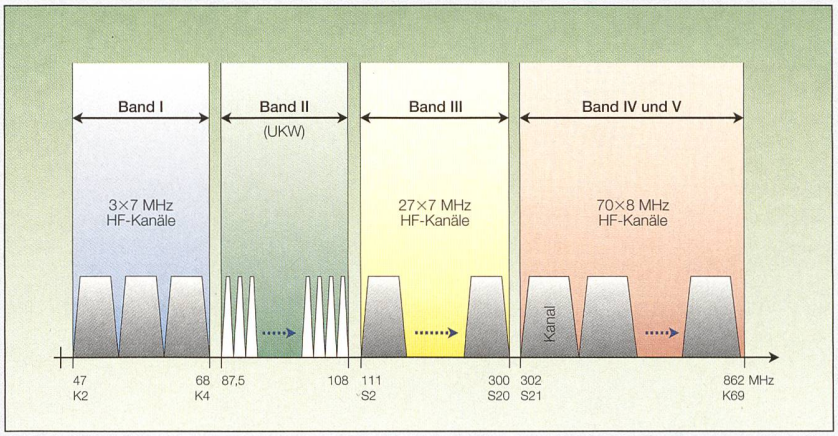
Digitales Fernsehen

Wie das analoge basiert das digitale Fernsehen auf der Übertragung von aufeinanderfolgenden Einzelbildern. Die wesentliche Neuerung liegt darin, dass die Bild- und Tonsignale vor der Verarbeitung und Verbreitung in digitale Signale umgewandelt werden (A/D-Wandler). Dies bildet die Basis für die anschliessenden Signalverarbeitungsalgorithmen wie die Datenreduktion nach MPEG für eine wirtschaftliche Verbreitung und/oder Archivierung (Bild 5).

Das Bildformat und die Auflösung eines Bildes werden bestimmt durch die Anzahl der vertikalen und horizontalen Bildpunkte. Der analoge PAL-Standard definiert die vertikale Auflösung mit 576 sichtbaren Zeilen. Die Anzahl der Bildpunkte pro Zeile (horizontale Auflösung) wird nicht durch eine diskrete Zahl bestimmt, sondern durch die Bandbreite der Kamera und die Signalverarbeitung. Im Zuge der Digitalisierung

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 zur Übertragung. Beim digitalen Fernsehen findet pro HF-Kanal ein Multiplex mit mehreren Programmen Platz.



Von RGB zu YC_bC_r

Während das RGB-Farbmodell eine bestimmte Farbe durch die additiven Grundfarben Rot, Grün, Blau ausdrückt, wird bei Hellligkeits-Farbigkeits-Modellen wie YC_bC_r der RGB-Farbwert in die Grundhelligkeit Y und zwei Farbkomponenten C_b und C_r aufgeteilt. Dabei ist C_b ein Mass für die Abweichung von Grau in Richtung Blau bzw. Gelb (Komplementärfarbe von Blau) und C_r die entsprechende Masszahl für die Abweichung in Richtung Rot bzw. Türkis.

Bestimmung von YC_bC_r 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, die Farbkomponenten C_b/C_r mit einer geringeren Auflösung zu übertragen als die Helligkeitswerte Y (Chromasubsampling).

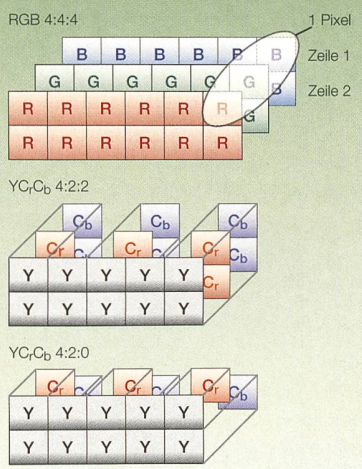
Abtastformate und Datenraten

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der wichtigsten Abtastformate und deren Rohdatenraten.

Format / Bild (aktiv)	RGB **4:4:4** 10 Bit	YC_bC_r **4:2:2** 8 Bit	YC_bC_r **4:2:0** 8 Bit
720×576 fr = 25i fsy = 13,5	311	166	124
960×576 fr = 25i fsy = 18	415	221	166
1280×720 fr = 25p fsy = 74,5	1382	737	553
1920×1080 fr = 25i fsy = 74,5	1555	829	622

Nettodatenraten in Mbit/s

fr = Bildwechselfrequenz in MHz
i = interleaced
p = progressiv
fsy = Abtastfrequenz (Luminanz Y)



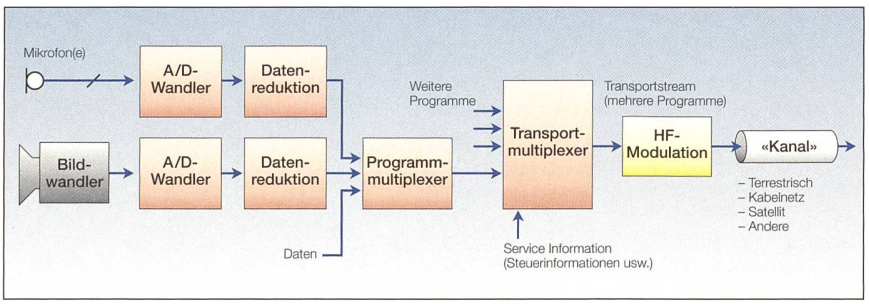


Bild 5 Digitale Fernsehübertragung.

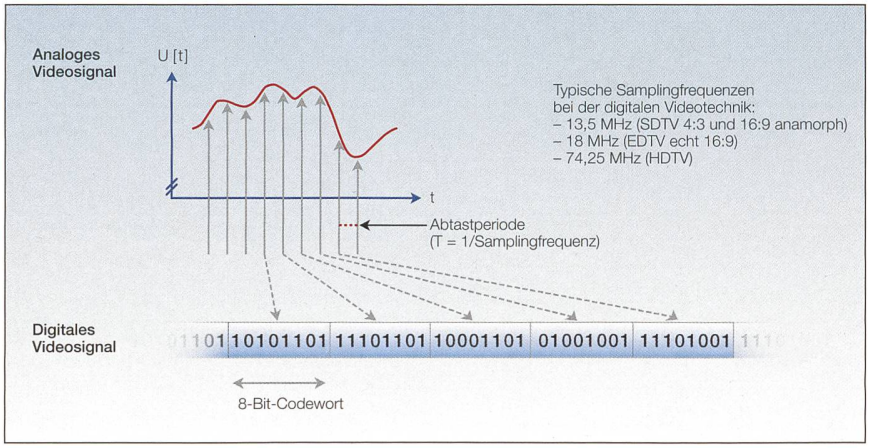


Bild 6 Umwandlung analog-digital.

wurde für ein digitalisiertes Bild mit PAL-vergleichbarer Auflösung eine horizontale Auflösung von 720 Pixeln definiert. Man spricht von SDTV (Standard Definition TV). Tabelle I zeigt die für den Broadcastbereich relevanten Formate.

Die flexible Transporttechnologie (Programm- und Transportmultiplex) bei DVB erlaubt eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Übertragung von verschiedenen Bild- und Tonformaten und Zusatzinformationen. In einen 8 MHz breiten Hochfrequenzkanal können somit beispielweise mehrere Programme gleichzeitig übertragen werden, während dies beim analogen TV auf ein Programm pro Hochfrequenzkanal beschränkt ist. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass aufgrund der digitalen Signalverbreitung Qualitätsverluste auf den Verbreitungswegen nahezu eliminiert werden können. Tabelle II fasst die wesentlichen Unterschiede zwischen analogem und digitalem Fernsehen aus Sicht des Anwenders zusammen.

Abtastung und Quantisierung

In einem ersten Schritt müssen die zeilenweise für jede Grundfarbe (R, G, B) vom Bildwandler erzeugten analogen Signale in digitale umgewandelt werden. Dazu wird das analoge Signal periodisch abgetastet (diskretisiert) und in einen definierten binären Wert umgewandelt (quantisiert). In der Videotechnik sind dabei Wortbreiten von 8–10 Bit üblich. Als Ergebnis entsteht eine unendliche Folge von Codewörtern, die das ursprüngliche analoge Signal repräsentiert (Bild 6).

Für die 3 Grundfarbsignale (RGB) fallen somit insgesamt mindestens $3 \times 8 = 24$ Bit pro Bildpunkt an. Für eine mit PAL vergleichbare Auflösung (SDTV) würde somit alle 40 ms eine Datenmenge von rund 1,25 MB anstehen, für HDTV sogar bis zum 5-Fachen davon. Dieses Rohdatenformat wird auch als 4:4:4-RGB-Format bezeichnet und ausser für Spezialanwendungen aufgrund seiner hohen Datenraten nicht weiter verwendet. Bei der Fernsehtechnik macht man sich zunutze, dass das menschliche Auge Farbänderungen von benachbarten Pixeln 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).

Im Studiobereich heute üblich ist das 4:2:2-YC_bC_r-Format. Dabei werden für jeden Abtastpunkt ein 8-Bit-Helligkeitswert (Y) und nur noch für jeden zweiten Abtastpunkt je zwei 8-Bit-Farbdifferenzwerte (C_b, C_r) verwendet (Horizontal-Chromasubsampling). Im Broadcastbereich durchgesetzt hat sich das 4:2:0-YC_bC_r-Format. 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_b oder C_r übertragen (Horizontal- und Vertikal-Chromasubsampling). Die resultierende Datenmenge wird damit gegenüber dem Rohdatenformat halbiert, ohne dass merkliche Qualitätseinbussen festgestellt werden können (Bild im Kasten unten auf Seite 29).

Datenreduktion

Die nach der Digitalisierung vorliegenden Datenraten sind immer noch zu hoch, um

Neuerung (digitales TV)	*Bisher (analoges TV)*
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» am oberen und unteren Bildrand, sog. Letterbox, d.h. Reduktion der Auflösung)
Mehrere Stereo-Tonkanäle, Dolby Digital[8]	Beschränkt auf zwei analoge Tonkanäle (Dolby Surround)[9]
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.)

Tabelle II Neuerungen beim digitalen Fernsehen.

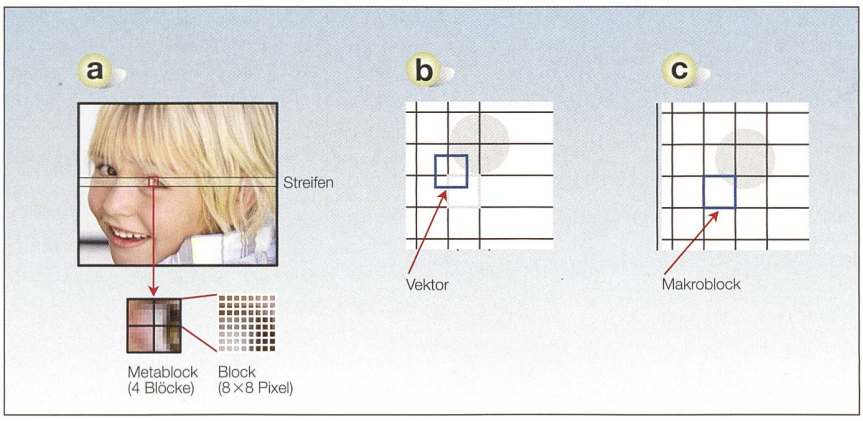


Bild 7 MPEG-Videocodierung.

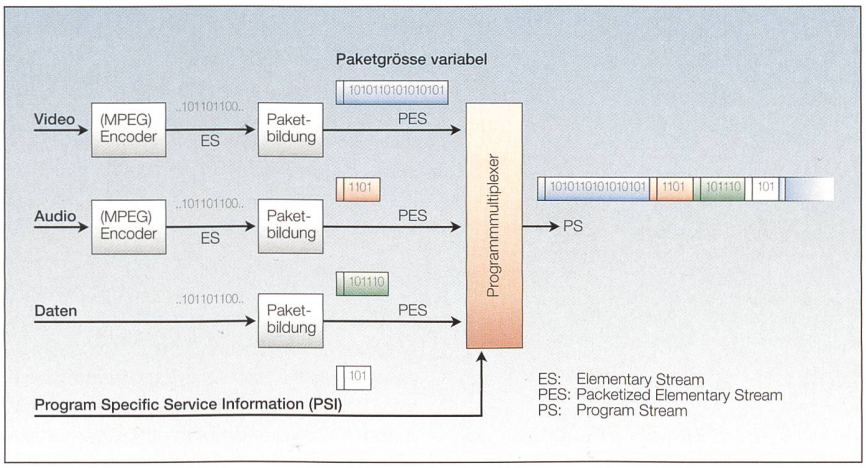


Bild 8 Aus den Elementarströmen wird der Programmstrom zusammengesetzt.

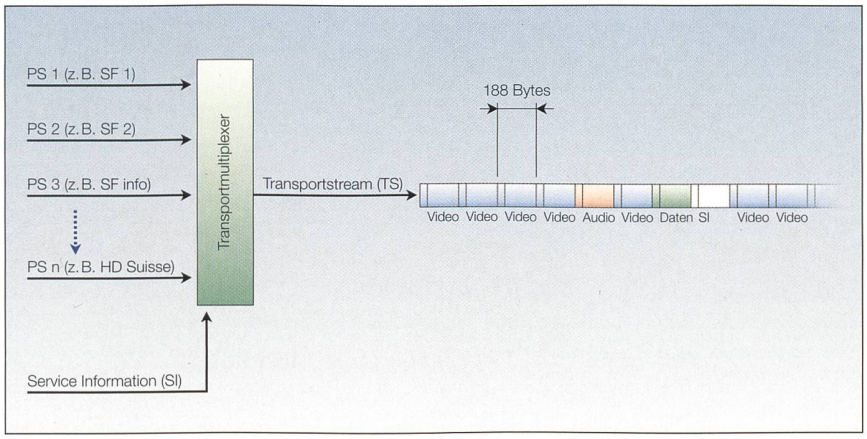


Bild 9 Mehrere Programmströme werden zu einem Transportstrom zusammengesetzt.

diese wirtschaftlich übertragen zu können. Die Datenrate muss reduziert werden (Bild 5). Dazu werden hauptsächlich die von MPEG spezifizierten Verfahren zur Videocodierung eingesetzt. Im Unterschied zum analogen Fernsehen werden dabei nur noch sporadisch vollständige Bilder (sogenannte I-Frames) und in der Zwischenzeit die sich ändernden Bildanteile (P- und B-Frames) übertragen. Bildanteile, die im gleichen Bild mehrfach identisch vorkommen, werden nur einmal übertragen. Generell werden schnelle örtliche Bildänderungen, die das menschliche Auge nur schwer erkennt, ab einen gewissen Grad nicht mehr übertragen.

Zur Bearbeitung werden die Bilder in einzelne Blöcke unterteilt (Bild 7). Diese Blöcke werden mit einer mathematischen Operation, der diskreten Cosinustransformation (DCT), bearbeitet. Dabei werden die Helligkeits- beziehungsweise Farbwerte in Frequenzen umgewandelt. Da das menschliche Auge höhere Frequenzen schlechter wahrnimmt als tiefere, werden diese bei der anschliessenden Quantisierung tiefer gewichtet, womit die Datenmenge reduziert wird. Durch eine anschliessende Codeoptimierung (Run Length Encoding und Huffmancodierung) lassen sich weitere redundante Informationen einsparen. Das grundlegende Verfahren der MPEG-Codierung besteht nun darin, möglichst viele Bildteile nur durch die Differenz des Bildinhaltes zum vorherig codierten Bild zu beschreiben. Bei dieser Bewegungskompensation wird die Verschiebung von Bildteilen ermittelt, wie sie bei Kameraschwenks oder sich bewegenden Objekten entstehen. Die Bewegung von Bildteilen wird in Form von einfachen Verschiebungsvektoren ausgedrückt. So kommt beispielsweise ein langsamer Kameraschwenk fast ohne die Codierung und Übertragung von eigentlichen Bildinformationen aus. Will man beispielsweise den fett markierten Makroblock des Bildes 7c codieren, wird im Bild 7b innerhalb eines bestimmten Suchbereichs ein möglichst ähnlicher Block gesucht, und nur die Differenz beider Blöcke (= geringerer Informationsgehalt) sowie der Verschiebungsvektor werden codiert und 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 8–16 Mbit/s (MPEG-4/AVC, auch als H.264 bezeichnet) erreicht. Der Kompressionsgrad hängt wesentlich vom Bildinhalt ab. Stark bewegte Bilder lassen sich schlechter komprimieren.

Transportströme und Multiplexing

Die nach der Codierung am Ausgang des MPEG-Encoders bereitstehenden Video- und Audiodatenströme (Elementary Stream, ES genannt), müssen zur weiteren Verbreitung zusammengefasst werden. Dazu werden diese 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 EPG, Teletext etc.), im Programmmultiplexer zusammengefasst. Es entsteht der sogenannte Programmstrom (PS), dieser enthält nun alle notwendigen Informationen eines einzelnen Programms (Bild 8).

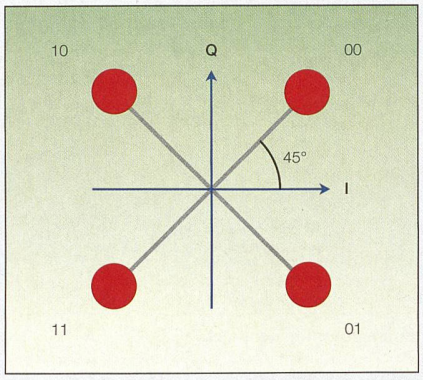
Je nach verwendetem Verbreitungsweg, typischerweise bei DVB, werden mehrere solcher Programmströme zu einem Transportstrom[6] zusammengefasst. Zudem wer-

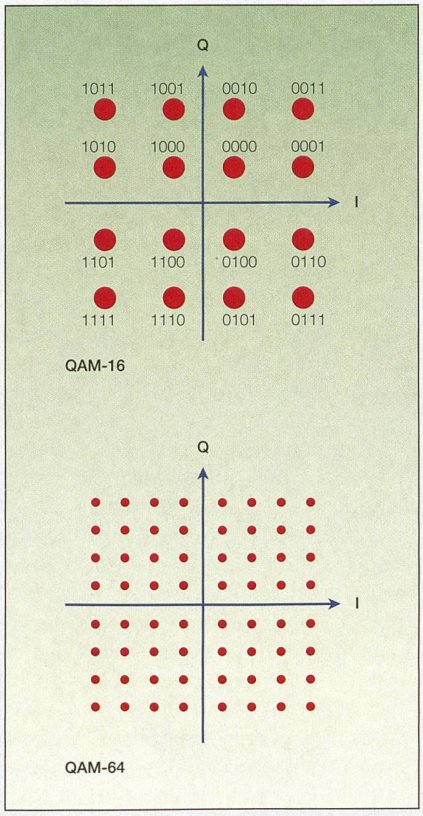
Simulcrypt/Multicrypt

Der DVB-Standard erlaubt das gleichzeitige Verwenden von verschiedenen Conditional-Access-Systemen (CA). Dabei wird zwischen Multicrypt und Simulcrypt unterschieden. Beim Multicrypt-Verfahren werden die verschlüsselten Nutzdaten sowie die CA-Meldungen (CA Service Information) der verschiedenen Programmpakete (Transportströme) unabhängig voneinander 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 mit dem (für alle Systeme identischen) Codewort verwürfelte Nutzsignal wird nur einmal übertragen. Der Empfänger filtert die für sein System passende CA-Meldung zur Rekonstruktion des Codeworts heraus. Simulcrypt erlaubt den gleichzeitigen Betrieb von verschiedenen CA-Systemen oder -Versionen, ohne dass das identische Nutzsignal mehrfach übertragen werden muss.

QPSK

Vierphasenmodulation (englisch Quaternary Phase Shift Keying). Die QPSK ist ein digitales Modulationsverfahren, bei dem pro Sendetakt 2 Bits übertragen werden. Die Information wird dabei in der Phasenlage des Trägersignals übertragen. Die Amplitude ist ohne Bedeutung. Daher sind QPSK-Signale robust gegenüber Störungen.





QAM

Quadraturamplitudenmodulation (englisch: Quadrature Amplitude Modulation). QAM kombiniert die Amplituden- und Phasenmodulation. Das heisst, die Information wird in der Phasenlage (wie bei QPSK) und zusätzlich in der Amplitude übertragen. Somit können pro Sendesymbol mehr 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 wieder voneinander zu unterscheiden und den binären Ursprungswert richtig zu rekonstruieren. Deshalb sind höherwertige Verfahren vergleichsweise empfindlich gegen Störungen und können nur auf entsprechend guten (Kabel-)Verbindungen eingesetzt werden.

den die vergleichsweise grossen, variablen Pakete des Programmstroms auf viele kleine Pakete mit konstanter Grösse von 188 Bytes angepasst. 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 Elementarströme wieder hergestellt werden können. (Bild 9)

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

Conditional Access

Bei Bedarf können die Pakete im Transportstrom verschlüsselt werden (Bild 10). Dies erlaubt, sämtliche oder einzelne Programme eines Transportstroms (TS) nur berechtigten Empfängern zugänglich zu machen (bedingter Zugriff: engl. Conditional Access). Das Scrambling (dt. Verwürfelung) erfolgt mit einem standardisierten Algorithmus (DVB Common Scrambling Algorithm). Dieser berechnet aus dem Eingangssignal und einem sich ständig ändernden Codewort das chiffrierte Ausgangssignal. Zum Descrambling im Empfänger muss das aktuelle Codewort 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 (Nagravision, Conax, ViaAccess, NDS etc.). Aus naheliegenden Gründen der Sicherheit kann und soll hier kein Standard existieren.

Digitale Modulation

Wie schon beim analogen Fernsehen das FBAS-Signal und die beiden Tonsignale, 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 (Bild 5). Dazu bedient man sich der für digitale Signale optimierten Modulationsverfahren wie QPSK oder QAM.

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

Medium	Standard	Verfahren	Modulation	FEC	Kanalbreite [MHz]	Nutzbare Datenrate pro Kanal [Mbit/s]
Satellit	DVB-S	Single Carrier	QPSK	2/3	33	33,8
			QPSK	7/8	33	44,4
	DVB-S2		QPSK	3/4	33	46,0
			8-PSK	2/3	33	58,8
Kabel	DVB-C	Single Carrier	QAM-64	–	8	38,45
			QAM-256	–	8	51,28
	DVB-C2*		QAM-1024	–	8	65,8
Terrestrisch	DVB-T	COFDM	QAM-16	5/6	8	18,43
			QAM-64	7/8	8	31,67

* in Vorbereitung

Tabelle III Gebräuchliche Konfigurationen des DVB-Standards.

Empfänger, während der Übertragung entstandene Fehler bis zu einem bestimmten Grad wieder zu eliminieren. Neben einer konstanten Anzahl von 6 Bytes (Reed-Solomon-Code) werden zusätzlich eine durch die Qualität der Übertragungsstrecke bedingte Anzahl Bytes hinzugefügt (FEC[7]). FEC 2/3 bedeutet beispielsweise, dass auf 2 Nutz-Bytes noch 1 Byte für die Fehlerkorrektur hinzukommt. Bei der Verbreitung über Kabelnetze entfällt die FEC aufgrund der weitaus geringeren Störanfälligkeit.

Tabelle III zeigt einen Auszug der gebräuchlichsten bei DVB spezifizierten Konfigurationen. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Verfahren bei den verwendeten Modulationsgraden und Fehlerkorrekturen. Aufgrund der verschiedenen Verfahren stehen deshalb für jedes Medium unterschiedliche Transportkapazitäten (Nettodatenraten) pro Kanal zur Übertragung von digitalen Programmen und Zusatzdaten 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 von den verschiedenen Programmveranstaltern via Satellit, Glasfaserleitungen oder über Richtfunkverbindungen. In der Kopfstation (Headend) werden die Signale den Kundenbedürfnissen entsprechend aufbereitet und nach DVB-C-Standard über Kabelnetze zu den Anschlussdosen in den Wohnungen übertragen (Bild 11).

Die Aufbereitung in der Kopfstation besteht im einfachsten Fall aus einer einfachen Transmodulation. Die via Satellit empfangenen, QPSK-modulierten Transportströme werden demoduliert, die Signalisierungsinformationen angepasst und QAM-moduliert auf den entsprechenden Kanälen (typischerweise im Band IV und V) auf das Kabelnetzwerk ausgegeben. Aufwendigere Kopfstationen öffnen die Transportströme, setzen die darin enthaltenen Programme neu zusammen, passen bei Bedarf die Datenrate an (Remultiplexing) und fügen Daten für Zusatzdienste hinzu (z.B. einheitlicher, alle Programme umfassender EPG).

Heutige Kabelnetze basieren auf der HFC-Technologie. Hybrid Fibre Coax bezeichnet die leitungsgebundene 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 versorgt ein Koaxialkabel mehrere Haushalte. HFC-Netze werden gewöhnlich für Kabelfernsehen verwendet und sind in der Regel mit einem Rückkanal ausgestattet, um Datendienste und interaktives Fernsehen anzubieten. Je nach Netzausbau (und fortgeschrittener Abschaltung der analogen TV-Verbreitung) verfügen die HFC-Netze über 70 bis 100 HF-Kanäle, die zur Übertragung von digitalen Fernsehprogrammen genutzt werden können. Pro Kanal können mit heutigen Modulations- und Videokomprimierungstechnologien bis zu 12 SDTV- oder 5 HDTV-Programme übertragen werden. Der in Entwicklung stehende DVB-C2-Standard verspricht eine Kapazitätszunahme von bis zu 80%.

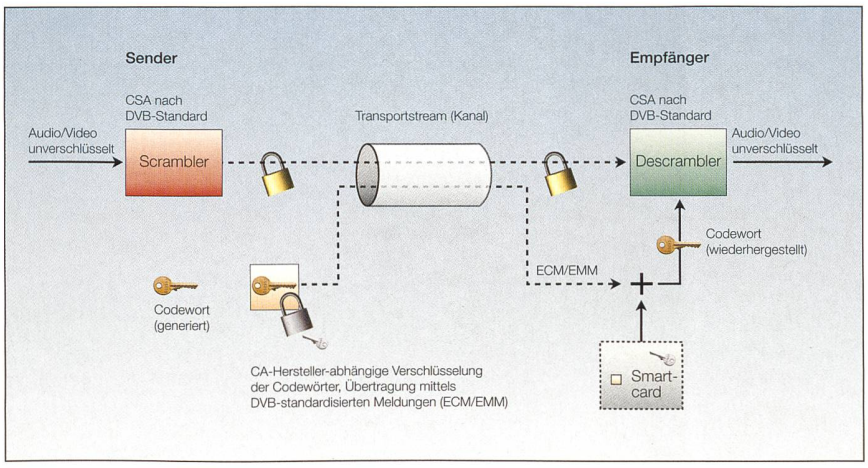
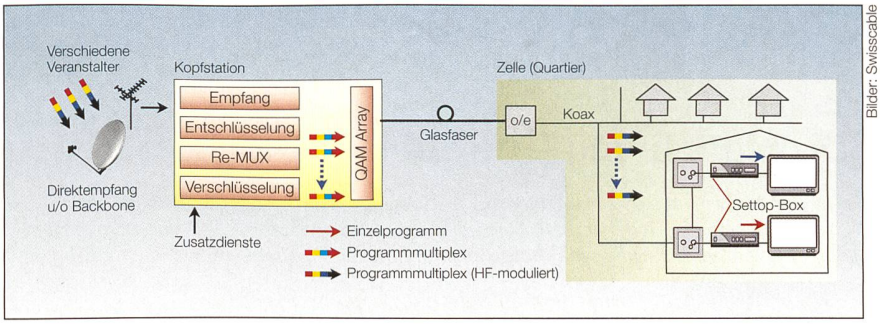


Bild 10 Verschlüsselte Übertragung.



Bilder: Swisscable

Bild 11 Der digitale Weg bis in die Wohnung.

Weiterführende Literatur

U. Reimers: Digitale Fernsehtechnik, Springer Verlag
P. Zastrow: Fernsehempfangstechnik, Frankfurter Verlag

Links

www.itu.int
www.dvb.org
www.etsi.org
www.swisscable.ch

Angaben zum Autor

Martin Volken ist Leiter Technik von Swisscable. Swisscable ist der Verband der Schweizer Kabelnetzbetreiber.
Swisscable, 3011 Bern, martin.volken@swisscable.ch

[1] Standard Definition TV.
[2] High Definition TV.
[3] IPTV: Übertragung von Multimediadiensten (Fernsehen, Video, Audio, Texte, Bilder und Daten) über IP-basierende Netze, die das benötigte Mass an Qualität (QoS, QoE), Sicherheit, Interaktivität und Zuverlässigkeit bereitstellen.
[4] Motion Picture Experts Group.
[5] 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 oder nicht.
[6] Transportstream TS: Beim digitalen Fernsehen bezeichnet ein Transportstream einen Datenstrom, der 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.
[7] Forward Error Correction.
[8] Dolby Digital (DD): Als digitale Weiterentwicklung bietet Dolby Digital (AC-3) die Möglichkeit, bis zu 6 unabhängige digitale Tonkanäle zu übertragen. Beispielsweise handelt es sich beim Format DD 2.0 um ein Stereosignal und bei DD 5.1 um ein 5 Kanal- und 1 Subwoofer-Signal (Tiefstfrequenzeneffekte). Je nach Format werden zur Übertragung Bitraten von 64 bis 448 kbit/s (typ. 384 kbit/s) benötigt.
[9] Dolby Surround: Dolby Surround ist ein analoges Mehrkanaltonverfahren. Mithilfe einer speziellen Matrixcodierung werden 4 Tonkanäle auf 2 Kanäle verteilt und über die herkömmlichen Stereokanäle beim analogen TV verbreitet. Ein entsprechender Decoder (z.B. Hi-Fi-Anlage) gewinnt die 4 Tonkanäle (Left, Right, Center, Surround) wieder aus dem 2-Kanal-Signal zurück. Empfängerseitige Weiterentwicklungen wie Dolby Prologic II haben zwar inzwischen den Raumklangeindruck verbessert, dennoch bleiben die Eindrücke auf «Einzeleffekte» beschränkt.

Résumé

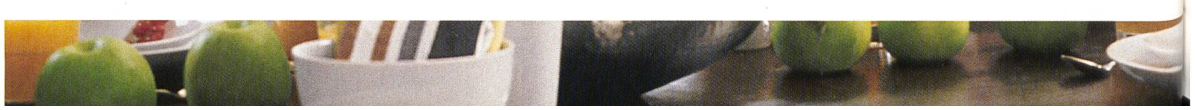
Comment fonctionne la télévision numérique?

De FBAS et PAL à MPEG et à la modulation numérique. Le marché de la télévision est en mouvement. Ce qui le fait bouger, c'est essentiellement la numérisation ou digitalisation actuelle de la télévision: l'Union européenne s'est fixé pour but de remplacer intégralement la télévision analogique par la numérique d'ici 2012. Mais comment la télévision numérique fonctionne-t-elle? Le présent article explique les bases selon la norme DVB et expose les différences et les nouvelles possibilités en comparaison de la technique analogique actuelle.

Synco™ living – flexibel wohnen mit Herz und Verstand

Das Leben wandelt sich und wandelt Sie. Sie sollten sich die Reaktionen darauf nicht all zu schwer machen. Werden Arbeitsräume zu Kinderzimmern, ändern sich die Anforderungen an Temperatur-, Luft- und Lichtverhältnisse. Ein intelligentes Home Automation System wie Synco™ living schafft das Klima für Ihre Veränderungen, passt Ihr Wohnen Ihrem Leben schnell und einfach an.

Synco™ living – Wohnen mit Herz und Verstand.
Noch Fragen? Tel: +41 (0)585 579 221, E-Mail: syncoliving.ch@siemens.com

www.siemens.ch/syncoliving

SIEMENS