

Beleg für Audio-/Videotechnik

Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T)

Thomas Bertow (001200928)

29. März 2005



Universität Rostock
Fachbereich für Elektrotechnik und Informatik
Insitut Nachrichtentechnik und Informationstechnik

Vorwort

Man schrieb das Jahr 1826. Da reichte dem Mensch das Malen auf Papier oder auf Höhlenwänden nicht mehr aus und Joseph Nicéphore Niépce macht das erste Foto. Die Bilder lernten mit Hilfe der Nipkowscheibe 1883 laufen. Diese mechanische Variante wurde durch Manfred von Ardenne 1931 durch das elektronische Fernsehen abgelöst. Die Bilder mit Ton wurden aufgeführt, man ging in Kinos. Lange Zeit noch war der sogenannte Fernseher ein nicht alltäglich Ding. Man traf sich in Lokalen, beim guten Bekannten und saß gemeinschaftlich vor einem Fernseher. Allmählich hielt er dann auch Einzug in jedermanns Stube. Mit steigendem Angebot wurde er ein fester Bestandteil im Leben. Mit wachsendem Fortschritt gewinnt der Mensch an Zeit. An Freizeit, die er nach seinem Interessen ausgestalten kann. Heute sitzt der Mensch in Deutschland durchschnittlich 3 Stunden vor dem Fernseher. Er weiß also seine Zeit gut und sinnvoll zu nutzen. Nun kommt da etwas daher, das will sich "Überallfernsehen" nennen. Wir haben also die Chance, unser Pensum weiter zu erhöhen und überall und jederzeit Fernsehen zu gucken?



DVB-T: DasÜberallFernsehen

dermanns Stube. Mit steigendem Angebot wurde er ein fester Bestandteil im Leben. Mit wachsendem Fortschritt gewinnt der Mensch an Zeit. An Freizeit, die er nach seinem Interessen ausgestalten kann. Heute sitzt der Mensch in Deutschland durchschnittlich 3 Stunden vor dem Fernseher. Er weiß also seine Zeit gut und sinnvoll zu nutzen. Nun kommt da etwas daher, das will sich "Überallfernsehen" nennen. Wir haben also die Chance, unser Pensum weiter zu erhöhen und überall und jederzeit Fernsehen zu gucken?

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Die Erwartungen	2
3. Initiative Digitaler Rundfunk	3
4. Die Technik	4
4.1. Die Voraussetzungen für DVB-T	4
4.2. Das Prinzip der DVB-T Übertragung	5
4.2.1. Die Videokompression: MPEG-2	8
4.2.2. Audiokomprimierung	9
4.2.3. Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)	9
4.2.4. Das Guard-Interval	10
4.3. Andere Digitale TV Broadcastsysteme	11
4.3.1. ATSC	11
4.3.2. ISDB-T	12
5. Die Praxis	14
5.1. Versorgte Gebiete	16
5.2. Presse	16
6. Produkte aus der Welt des DVB-T	20
6.1. DVB-T Chip aus Fernost	20
6.2. DAS DVB-T Paradeprodukt	21
A. Quellenverzeichnis	22

1. Einleitung

In vielen Bereichen der Telekommunikations- und Informationstechnik ist der Weg zur Digitalisierung vollzogen worden. Er hat sich dabei als qualitativ und quantitativ besserer Weg zur Nutzung der vorhandenen Ressourcen erwiesen. Mit DVB-C und DVB-S wurde dieser Wechsel schon für das Kabel und die Satellitenübertragung durchgeführt. Mit DVB-T wird dies auch für den Funk ermöglicht werden.

Die Digitalisierung bringt den Vorteil mit sich, das die Inhalte beliebig ausgetauscht werden können ohne die Art der Übertragung zu ändern. So ist es eben ohne weiteres möglich, mit der Übertragung von Bild und Ton auch weitere andere Daten bzw. Zusatzinformationen zu übertragen.

Auch wenn DVB-T noch nicht überall Einzug gehalten hat, steht mit DVB-H schon der nächste Standard in den Startlöchern, der das "Überallfernsehen" auf die Spitze treiben will. Er soll es ermöglichen selbst auf Handhelds oder anderen kompakten Empfangsgeräten wie auch Handys den Fernsehgenuß zu ermöglichen.

Besser, schöner und dass überall?!

Die folgenden Seiten sollen nun einen Einblick in die Technologie um DVB-T geben, Vergleiche zu ähnlichen Standards zeigen, die Möglichkeiten darstellen und die Praxis beleuchten.

2. Die Erwartungen

“Digital” ist ja mittlerweile eine Art Modewort, ein Allheilmittel. Man macht alles digital. Oft wird es mit besser gleichgesetzt und man bekommt den Eindruck, dass niemand mehr nach “Analog” schreit.

Der Übergang von analoger in die digitale Welt ist enorm beschleunigt worden und hat mittlerweile viele Bereiche erfaßt.

Die Vorteile beim Einsatz digitaler Technik und Verfahren liegen beispielsweise in der besseren Frequenzökonomie, optimierbarer Übertragungsqualität, multimedialer Anwendungen, geringerer Betriebskosten und in einer möglichen adressierbaren Verschlüsselung. Davon soll nun auch das terrestrische Fernsehen profitieren.

Durch Einsatz digitaler Technik sollen man statt der bisher 5 oder 6 an die 30 Sender frei empfangen können. Zur Zeit geht man davon aus, dass rund 10 Prozent aller Haushalte in Norddeutschland ihr Fernsehprogramm noch über Antenne empfangen. Man bekommt bessere Qualität ohne Schatten oder Rauschen auf den Bildschirm. Der DVB-Standard bietet gerade was die Weiterverarbeitung betrifft, einfachere Wege als mit dem bisherigen analogen Programm. Volldigitale Videorekorder oder auch das zeitversetzte Fernsehen sollen einfach realisierbar sein. “Überallfernsehen“ soll Programm sein. Mit Notebook und DVB-T-Empfänger kann man sich überall hinsetzen und sein Programm schauen. Aber nicht nur an einem bestimmten Ort soll man in diesen Genuß kommen, auch unterwegs soll der mobile Empfang bis zu einer Geschwindigkeit von 200 km/h gewährleistet sein. Zu den Bilder kommt aber auch mehr Sound hinzu. So ist es möglich mit dem DVB-T-Datenstrom auch Surround Sound zu übertragen. Mit der Tatsache, daß wie bei der DVD auch beim DVB-T ein MPEG-2 Strom verwendet wird, drängt sich die DVD als Medium für das Filmarchiv auf.

Obwohl es technisch ohne weiteres möglich wäre auch Radioprogramme auf dem gleichen Wege zu übertragen, ist es aus medienpolitischer Sicht nicht vorgesehen, da für diesen Zweck schon seit geraumer Zeit DAB (Digital Audio Broadcast) vorhanden ist.

Die Digitalisierung soll die Möglichkeit mit sich bringen, über den Weg von DVB-T auch multimediale Inhalte zur Verfügung zu stellen. So sind beispielsweise multimediale Stadtführer oder Landkarten und auch Mediendienste wie etwa sogenannte regionale “Buisness-Channels“ denkbar. Lassen wir uns überraschen, was die Zeit bringt.

3. Initiative Digitaler Rundfunk

1997 wurde die Initiative Digitaler Rundfunk (IDR) von der Bundesregierung mit dem Ziel eingerichtet, das digitale Fernsehen in Deutschland voranzutreiben. Dabei sollen Strategien und Rahmenbedingungen entwickelt und geschaffen werden, um so die Vernetzung von Informations- und Kommunikations- und Fernsehetechniken zu ermöglichen. Ziel ist es, ab 2010 die zur Verfügung stehenden Frequenzen dann nur noch digital zu nutzen.

Um das terrestrische Fernsehen neben der schon bestehenden digitalen Übertragung über Kabel (DVB-C) und Satellit (DVB-S) als dritten Übertragungsweg zu erhalten, sieht die Initiative auch auf diesem Gebiet eine schrittweise Digitalisierung vor. Damit sollen Voraussetzungen geschaffen werden, die weit über die Möglichkeiten des analogen Fernsehens hinausgehen.

Die Digitalisierung des Antennenfernsehens in Deutschland ist dabei nur ein Teilprozess eines globaleren Schrittes in ganz Europa (siehe Abbildung 4.5). So findet DVB-T in europäischen Ländern wie etwa Großbritannien oder auch Spanien breite Anwendung und ähnlich wie Deutschland sind weitere Länder bei der Umstellung.

Die Zukunft sieht DVB-T als einheitlichen Standard für ganz Europa vor.

4. Die Technik

Der Übergang vom analogen Fernsehen zum digitalen DVB-T scheint anwenderfreundlich. Auf Grund der häufig gleichen Senderstandorte und den gleichen Frequenzen und der eingesetzten modernen Sendetechnik ändert sich auf Empfängerseite für den Verbraucher wenig. Es können die gleichen Antennen benutzt werden und im Idealfall fügt man nur noch eine sogenannte Set-Top-Box hinzu, welche den digitalen Receiver enthält und die Signale für den alten Fernsehen aufbereitet.

4.1. Die Voraussetzungen für DVB-T

Funkwellen oberhalb von 80 MHz breiten sich wie das Licht geradlinig aus. Die zur Verfügung stehenden Frequenzen befinden sich im VHF-Bereich von 48 MHz bis 67 MHz, von 175 MHz bis 224 MHz und im UHF-Bereich von 471 MHz bis 860 MHz. Je größer die eingesetzte Frequenz ist, um so mehr verhalten sich die Funkwellen wie Licht. So kann es passieren, daß man im UHF-Bereich hinter einem Gebäude selbst mit größtem Antennenaufwand keinen Empfang mehr zu Stande bekommt. Durch die Reflexionen und den Mehrwegeempfang entstehen dann die bekannten Geisterbilder.

All diese Gesetze gelten natürlich auch für den den digitalen Kanal, da sich am Trägermedium nichts geändert hat. Lediglich die Modulation und damit der Nachrichteninhalt ist ein anderer.

Im Kabel oder auch über Satellit ist es schon länger möglich, analog viele Sender zu übertragen. Terrestrisch ist es wegen Rücksicht auf benachbarte Sendetürme nur möglich, einige wenige Sender zu übertragen. Mit DVB-T ist es machbar, gleiche mehrere Sender in den gleichen Frequenzbänder digital auszustrahlen. Dank des MPEG-2 Standards ist es bei allen DVB-Standards möglich, die TV-Signale mit einer Kompressionsrate von 1:40 bis auf 3 bis 4 Mbit/s zu reduzieren.

4.2. Das Prinzip der DVB-T Übertragung

Das analoge Video- und Audiomaterial wird als erstes separat in MPEG-2 Ströme umgewandelt. In den meisten Fällen wird der Ton mit 192 kBit/s im MPEG Layer II kodiert, möglich ist aber auch Dolby Digital (AC3) in Stereo oder auch 5.1. Diese Datenströme werden in Pakete unterteilt und wenn gewollt mit weiteren Daten zu einem Strom gemultiplext (Abb. 4.1). Die Pakete sind dabei 188 Bytes groß und beginnen mit einem 4 Byte

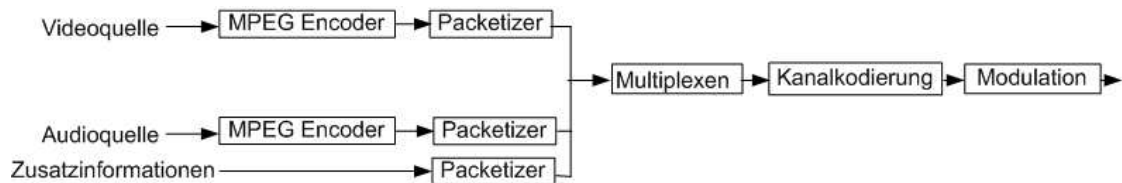


Abbildung 4.1.: Vom analogen Signal zum digital modulierten Signal

großen Header der unter anderem für die nötige Synchronisation eingesetzt wird. So ein einzelner Strom ist durch für ihn charakteristische Packet-IDs (PIDs) gekennzeichnet. In der Praxis ist es zur Zeit üblich, vier solcher Ströme wiederum zu einem zu multiplexen und sie dann an Hand der PIDs auseinanderzuhalten. So einen Strauß aus 4 Kanälen bezeichnet man dann als Bouquet. Man hat auch die Möglichkeit, statt vier gleichwertiger Kanäle auch nur einen mit entsprechend höherer Bitrate auszustrahlen. Die Zuteilung der Bitraten zu den einzelnen Kanälen des Bouquets ist dabei nicht fest, sondern erfolgt in gewissen Grenzen. Realisiert wird dies durch statistisches Multiplexen, wie es auch von der ATM-Technik bekannt ist. So ist es möglich, Sendern kurzfristig auf Kosten der anderen eine höherer Bitrate zur Verfügung zu stellen. Dadurch kann die Qualität erhöht werden und die Bandbreite effizienter genutzt werden. An dieser Stelle sei angemerkt, es wäre technisch möglich auch Radiosender über DVB-T zu verbreiten, wobei ein Bouquet über 60 Radiosender mit 192 kBit/s beinhalten könnte.

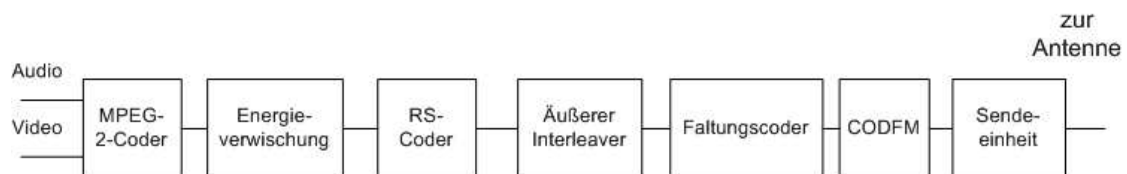


Abbildung 4.2.: Struktur eines DVB-T-Senders

Im weiteren gilt es, den Datenstrom für den Kanal und die eigentliche Übertragung aufzubereiten. Im Rahmen der Kanalkodierung (Abb. 4.2, Blöcke 2 bis 5) fügt man

4. Die Technik

eine Forward Error Correction (FEC) als Fehlerschutzmaßnahme hinzu. Der Empfänger bekommt so die Möglichkeit eingeräumt, die beim Empfang detektierten Fehler zu korrigieren. Dazu dient DVB-T die Faltungskodierung als innerer Fehlerschutz, eine Byteverschachtelung gegen Burstfehler und eine Blockkodierung der Datenpakete (Reed-Solomon-Coder, Interleaver, Viterbi-Faltungscoder). So ist der DVB-T-Decoder in der Lage, bis zu einer Bitfehlerrate (BER) von 10^{-3} das digitale Signal fehlerfrei zu decodieren. Steigt die Fehlerrate an, treten Blockartefakte und ganze komplette falsche Zeilen im Bild auf und sehr schnell bricht das Bild dann auch komplett zusammen oder bleibt einfach stehen. Die Coderate als Verhältnis von Nutzkapazität zur gesamten eingesetzten Kapazität beträgt bei DVB-T meist $2/3$. Es müssen also 3 Bruttobits aufgewendet werden, um 2 Nutzbits zu übertragen. Ist die Coderate höher, sinkt der Fehlerschutz, wird sie niedriger ist auch der Fehlerschutz höher. Die angedeutete Enrgieverwischung (energy dispersal, Abb. 4.2) wird durch eine Verwürfelung (srambling) des Bitstroms mit einer Zufallszahl realisiert.

Nun gilt es, die erhaltenen Datenströme für die Übertragung entsprechend den Erfordernissen zu modulieren. DVB-T bedient sich dabei sowohl der Amplitudenumtastung (ASK) wie auch der Phasenumtastung (PSK). Diese Kombination bezeichnet man dann als Quadratur-Amplitudenmodulation (QAM). Dabei können entweder die 16-QAM oder auch die 64-QAM eingesetzt werden (bzw. auch QPSK). Bei der gebräuchlichen 16-QAM setzt man pro Träger jeweils 4 unterschiedliche Amplituden- und Phasenwerte ein um 16 Symbole (4 Bit) darstellen zu können. Bei der 64-QAM wären es dann je acht Amplituden- und Phasenwerte für die 6 Bit pro Träger. (Abbildung 4.3)

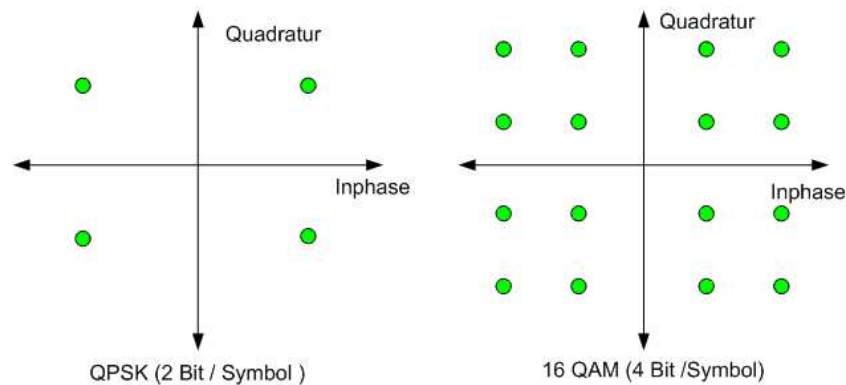


Abbildung 4.3.: QPSK / QAM Modulation

Dank des Prinzips der angewandten Datencontainer, die beliebig gefüllt werden können, ist es möglich in einem Bouquet von vier Programmen unterschiedliche Modula-

4. Die Technik

tionsformen anzuwenden. So könnte man eins mit einer robusteren QPSK-Modulation ausstatten und einer übrigen mit einer weniger robusten QAM.

Anders als beispielsweise bei DVB-C, muß man bei der terrestrischen Übertragung mit einer Vielzahl von Störungen rechnen, die den Empfang beeinflussen. Der vielleicht stärkste negative Einfluß ist der Mehrwegeempfang. So empfängt die Antenne nicht nur die Signale, welche den kürzesten Weg zurück gelegt haben, sondern auch solche, die durch Reflexionen an Gebäuden, Bergen oder sonstigen Hindernissen leicht verzögert am Empfänger eintreffen. Es treten dadurch zwar keine Geisterbilder auf, wie sie beim analogen Empfang durch zwei Sendeanstalten durch das Aussenden im gleichen Frequenzband entstehen würden. Aber es würde ohne weitere Maßnahmen zu Eigeninterferenzstörungen (ISI) kommen, wodurch sich aufeinanderfolgende DVB-T Pakete gegenseitig stören würden. Bei DVB-T versucht man, den Mehrwegeempfang für sich auszunutzen, um so sogar eine Signalverstärkung zu erreichen. Es lassen sich bei entsprechenden Maßnahmen Gleichwellennetze (SFN: Single Frequency Network) nutzen. Benachbarte Sendeanlagen strahlen so zu gleichen Zeiten auf gleichen Frequenzen das gleiche Programm aus. Möglich wird dies durch Schutzintervalle (Guard Interval), die zu Beginn eines jeden Paketes ausgesendet werden. Das bringt zwar nochmals eine Verringerung der Nutzdatenrate, stellt aber sicher, daß nur überlappende Signalanteile zwischen zwei Schutzintervallen genutzt werden. (siehe auch: 4.2.4 Guard-Interval)

Um das zu übertragende Signal robuster gegen Störeinflüsse zu machen, wird bei DVB-T eine Mehrträgerechnik eingesetzt. Die zu übertragenden Symbole werden auf eine Vielzahl von Subträgern aufmoduliert (FDM: Frequency Division Multiplex). Man sendet also nicht mehrere kurze Symbole hintereinander, sondern mehrere Symbole mit langer Symboldauer gleichzeitig. Damit gelingt es, die Robustheit gegen Laufzeitunterschiede erheblich zu erhöhen. Die Subträger haben dabei die spektrale Form eines si-Impulses, welche man im Abstand $1/\text{Symboldauer}$ anordnet. Diese Anordnung bezeichnet man als orthogonal. Dieses Verfahren findet sowohl bei Digital Radio Mondial (DRM) als auch bei DVB-T seine Anwendung und wird als Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM) bezeichnet wird. Auf den Zusatz "Coded" wird später eingegangen. (siehe auch: 4.2.3 OFDM)

Bei DVB-T hat man die Wahl zwischen zwei Modi. Auf der einen Seite den 2k-Modus mit effektiv 1705 (von theoretisch 2048 möglichen Trägern), von welchem 1512 für Nutzdaten zur Verfügung stehen und auf der anderen Seite der 8k-Modus mit 6048 Trägern für die Nutzdaten (effektiv 6817, theoretisch 8192). Dabei ist der 2k-Modus für mobile Anwendung vorgesehen. Sind im 8k-Modus bei 200 km/h auf Grund von Dopplerverschiebungen dem Empfang Grenzen gesetzt, ist der 2k-Modus schon mit einem Airbus bei 800

km/h erfolgreich getestet worden. Allerdings wäre es bei solchen hohen Geschwindigkeiten beim mobilen Empfang nötig, die Sendestationen nur 17 km voneinander entfernt aufzubauen, was hohe Kosten verursachen würde. Es spielt zwar für den Konsumenten keine Rolle, welcher Modus verwendet wird, beide werden von DVB-T-Tuner unterstützt, wird in der Praxis häufig der 8k-Modus angewendet.

4.2.1. Die Videokompression: MPEG-2

In der Videokodierung ist die Kompression der Datenmenge von enormer Bedeutung und eine große Hilfe für die sich anschließende Übertragung. Der Bildbereich ist dabei in Pixel unterteilt und jeder Pixel bekommt einen Luminanzwert (Helligkeit) Y und zwei Chrominanzwerte (Farbdifferenzsignale) R-Y und B-Y. Setzt man eine PCM-Codierung an, ergibt sich für ein PAL-Signal mit 720 Pixeln pro Zeile und 576 sichtbaren Zeilen und einer Framerate von 25 Hz eine Datenrate von 166 Mbit/s für den Bitstrom.

Um nun eine Kompression der Daten durchzuführen, setzt man auf Entfernung von Redundanz und "Unwichtigem". Dabei kann man einerseits den Bildinhalt zu Rate ziehen, aber auch die Eigenschaften des menschlichen Auges. Dabei untersucht man bei der Redundanzreduzierung die aufeinanderfolgenden Bilder und deren Beziehung zueinander, während man bei der Berücksichtigung der Grenzen der Aufnahmefähigkeit des Auges Dinge betrachtet und entfernt, die sowieso nicht wahrgenommen werden können. Das Ergebnisbild bzw. die Ergebnisbildfolge unterscheidet sich vom Original. Der Vorgang ist dabei irreversibel. Wobei der Unterschied subjektiv kaum ins Gewicht fällt.

Die Idee bei der Ausnutzung der Schwächen des menschlichen Auges ist es, höherfrequente Anteile wegzulassen, da das Auge dafür weniger empfänglich ist und eher auf die Information im niederfrequenten Bereich erregbar ist. Dabei nutzt man die Diskrete Kosinustransformation (DCT), bei welcher der Großteil der relevanten Information in wenigen reellen Koeffizienten steckt und man die restlichen Koeffizienten, welche nur noch einen geringen Wert ungleich Null besitzen und die höherfrequente Information im Bild tragen, ganz Null setzt.

Die weitere Reduktion der Daten erreicht man, indem man nur Änderungen des Bildes überträgt und nicht immer das ganze Bild komplett.

Die Motion Expert Group (MPEG) wurde Ende der 80iger zur Festlegung eines digitalen Standards für Bewegbilddarstellung ins Leben gerufen.

Kernpunkt der MPEG-Standards ist die sogenannte Bewegungskompensation (Motion Compensation). Wird in dem neuesten Standard MPEG-4 ein Objekt als ganzes innerhalb eines Bildes betrachtet, erfolgt bei den älteren Standards (MPEG-1 und MPEG-2) die Betrachtung von Makroblöcken, die das Referenzbild in 16 x 16 Pixel große Teilbe-

4. Die Technik

reiche unterteilt. Im Folgebild schaut man nun, auf welche Position diese Makroblöcke verschoben wurden. Dadurch ist es möglich ausgehend vom Referenzbild das Folgebild durch ein Verschiebevektor zu beschreiben. Es ergeben sich 3 unterschiedliche Bildtypen innerhalb der Bildfolge:

- I-Bilder (Intra): erstellt aus einem einzigen digitalisiertem Bild
- P-Bilder (Predicted): errechnet durch Bewegungsabschätzung aus zurückliegenden I- oder P-Bildern
- B-Bilder (Bidirectional predicted): abgeleitet aus früheren oder späteren P- bzw. I-Bildern oder sogar auf Basis von Nachbarbildern interpoliert

Die grundlegenden Verfahren von MPEG-1 und MPEG-2 sind dabei ähnlich. Die zur Kompression verwendeten Verfahren wie Bewegungskompensation, Diskrete Kosinustransformation, Quantisierung und Huffmann-Codierung sind gleich. MPEG-2 wurde im Hinblick auf das digitale Fernsehen definiert und ermöglicht beispielsweise auch das Zeilensprungverfahren (Interlace).

4.2.2. Audiokomprimierung

Ähnlich wie auch schon zuvor, reduziert man die Irrelevanz um so die anfallende Datenmenge zu reduzieren. Dafür nutzt man bei jeder Art von Audiokomprimierung die Erkenntnisse aus der Psychoakustik. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Maskierung. Als Maskierung bezeichnet man die Beeinflussung der Hörbarkeit eines Schalls durch die Überlagerung eines oder mehrerer Störschalle. D.h., das ein auf das Gehör wirkender Reiz gleichzeitig die Empfindlichkeit für andere Reize herabsetzt. Die Maskierung kann dabei durch unterschiedliche Laustärkepegel oder durch die spektrale Zusammensetzung hervorgerufen werden. Dabei ist ein Schall tiefer Frequenz nur mit einem ausreichend hohen Schallpegel in der Lage einen höherfrequenten Schall zu überdecken. Anders herum ist ein Schall höherer Frequenz in der Lage einen niederfrequenten abzudecken, wenn der Frequenzabstand beider zueinander ausreichend klein genug ist.

Alle Audio-Kompressionsverfahren beruhen darauf, die wichtigen, maskierenden, tonalen Frequenzkomponenten innerhalb bestimmter Bereiche zu extrahieren, digitalisieren und abzuspeichern, da alle anderen sich unter der Hörschwelle des Ohres befinden.

4.2.3. Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

Die Idee von OFDM ist schon recht alt. Patentiert wurde es 1970 in den USA. Das grundlegende Prinzip einen Datenstrom in mehrere einzelne kleinere Bitströme zu un-

4. Die Technik

terteilen, jedem mit einer geringeren Datenrate und für diese jeweils eigene Träger zu verwenden, ist schon durch das Militär in den späten 50igern verwendet worden.

OFDM ist eine Mehrträgertechnik bei welcher die Träger dicht nebeneinander innerhalb eines Frequenzbandes liegen. Dadurch wird der Kanal in mehrere sich überlappende Teilbänder unterteilt.

Orthogonal bedeutet dabei, daß das Intergral über das Produkt eines Trägers im Zeitbereich mit einem beliebigen anderen Träger im Zeitbereich idealerweise Null ergibt. Dies stellt sicher, daß die Teilbänder sich in der Weise überlappen, dass es beim Empfang zu keiner nennenswerten Intersymbolstörung zwischen ihnen kommt.

Man geht nun noch einen Schritt weiter und verwendet eine leicht abgewandelte Form des OFDM, nämlich Coded OFDM (COFDM). Bei OFDM legen die Symbole zeitlich hintereinander und im Frequenzbereich dabei chronologisch nebeneinander. Um sie noch störfester zu gestalten bedient man sich einer Art Frequenzinterleaving. Sind sonst bei selektiven Schwund zusammengehörige Symbole gleichermaßen betroffen werden die Symbole nach einer festen Zuordnungsvorschrift über die Subträger verteilt. Damit stört ein frequenzselektiver Schwund nicht gleich zusammengehörige Symbole. Diese Zuordnung der Symbole zu verschiedenen Subträgern kann man dann als eine Art Codierung ansehen.

4.2.4. Das Guard-Intervall

OFDM alleine ist allerdings noch nicht in der Lage die Intersymbol-Interferenzen vollständig zu beseitigen. Es können immer noch Echosignale nach der eigentlichen Symboldauer eintreffen, die den Empfang beeinflussen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, fügt man nun noch ein Schutzintervall (Guard-Intervall) ein. So wird eine informationsfreie Zeitspanne vor jedem Symbol realisiert und so eine gegenseitige Beeinflussung vermieden. Für die Wahl der Dauer des Schutzintervalls ist wie sooft in der Technik ein Kompromiss von Nöten. Diese zusätzliche eingefügte Zeitspanne verringert die nutzbare Übertragungskapazität, deshalb sollte sie so klein wie möglich gewählt werden. Muß auf der anderen Seite aber auch wenigstens so groß (bzw. größer) wie die zu erwartende maximale Laufzeit der Echokomponenten sein. Gleichzeitig beeinflußt die Wahl der Länge auch den Abstand der Subträger. Letztlich spielt die Wahl auch eine Rolle in der Sendernetzplanung, weil es Einfluß auf den möglichen Abstand der Sendestation nimmt. Es darf nicht kleiner sein als die Laufzeit des Signals zwischen benachbarten Sendern des Gleichwellennetzes sein. Abbildung 4.4 stellt das Prinzip der Übertragung zwischen Playout-Centern, den Sendetürmen der Gleichwellennetze und dem Empfänger dar.

4. Die Technik

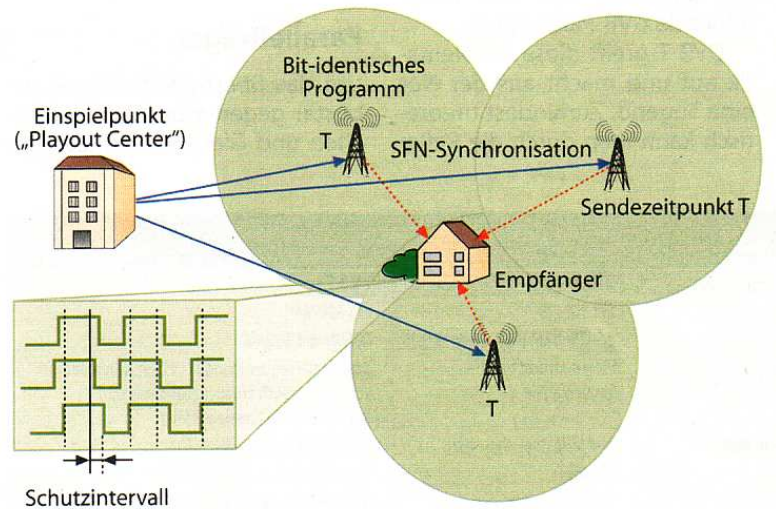


Abbildung 4.4.: Prinzip der Aussendung des DVB-T-Signals

Tabelle 4.1 faßt noch einmal die mögliche Parameter zusammen.

Parameter	Modus							
	2k				8k			
Symboldauer T_S [μs]	224				896			
Trägerabstand [kHz]	4,4643				1,116			
Anzahl der genutzten Träger	1705				6815			
Belegte Bandbreite [MHz]	7,605				7,612			
Gesamtsymboldauer ($T_S + T_G$) [μs]	280	262	238	231	1120	1008	952	924
Schutzintervall T_G [μs]	56	28	14	7	224	112	56	28
T_G/T_S	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
zulässiger Senderabstand [km]	16,8	8,4	4,2	2,1	67,2	33,6	16,8	8,4

Tabelle 4.1.: Übertragungsparameter für DVB-T im 8 MHz-Kanal

4.3. Andere Digitale TV Broadcastsysteme

4.3.1. ATSC

Der von der ATSC (Advanced Television System Committee) terrestrische Übertragungsstandard wurde durch das U.S. Federal Communication Commission (FCC), Kanada und Südkorea entwickelt und angenommen. Es beschreibt ein System, welches in der Lage ist, digitale Audio- und Videodaten und andere digitale Daten über die existierenden 6 MHz

4. Die Technik

Kanäle zu übertragen. Dabei ist es für eine Datenrate von 19 MBit/s ausgelegt. Als Eingang für das Übertragungssystem dient ein 19,39 MBit/s Datenstrom der in 187-Byte Pakete plus ein Synchronisationsbyte aufgeteilt wird. Der Payload ist bei dem seriellen Datenstrom 19,2895 MBit/s groß.

Auch hier nutzt man MPEG-2 zu Komprimierung, setzt aber zur Übertragung ein 8-Level-VSB Signal (vestigial sideband, Restseitenbandmodulation) ein.

Die Eckdaten sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

Modulation	8-VSB
Bandbreite	6 MHz
FEC (Inner Code)	Trellis Code (2/3)
FEC (Outer Code)	Reed Salomon Code (207,187)
Datenrate	19,28 MHz
Videoformat	MPEG-2 Video
Audioformat	Dolby AC3

Tabelle 4.2.: Eckdaten des ATSC Standards

4.3.2. ISDB-T

Japan's Digital Broadcast Experts Group (DiBEG) wiederum geht einen eigenen Weg. Sie entwickelten für die Übertragung von Musik, Fernsehen und Daten die Standards um die Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB). Ähnlich wie auch in Deutschland gibt es verschiedene Techniken für Satellit, das Kabel und den terrestrische Übertragung. Das ISDB-T ist dabei der bei DVB-T eingesetzten Verfahren recht ähnlich. Ein wichtiger Unterschied liegt in der Anwendung des OFDM-Verfahrens, welches hier bandsegmentiert ist (BST-OFDM).

Der ISDB-T Standard beschreibt ein System, um auf 6, 7 oder 8 MHz Kanälen zu übertragen. Dabei liegen die Datenraten zwischen 3,561 und 30,98 MBit/s. Wie auch bei allen anderen Standards dient dem System zu allererst ein MPEG-2 Datenstrom als Grundlage. Auch dieser kontinuierliche Strom wird in Pakete (187 Bytes) segmentiert und mit einem Synchronisationsbyte versehen. Im Gegensatz zu DVB-T werden die Daten in Datengruppen eingeteilt. Nach der Kanalkodierung werden diese Datengruppen den OFDM-Segmenten zugeteilt. Dabei belegt jedes OFDM-Segment $\frac{1}{14}$ der Kanalbandbreite.

Zusammenfassend sind beispielhaft die Kenndaten des ISDB-T Standards für den 6-MHz Kanal in der Tabelle 4.3 aufgeführt.

Abbildung 4.5 stellt die Anwendungsgebiete der verschiedenen Standards auf der Welt dar.

4. Die Technik

ISDB-T Mode	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Anzahl der OFDM-Segmente	13		
Nutzbare Bandbreite	5,575 MHz	5,573	5,572 MHz
Anzahl der Träger	1405	2809	4992
Art der Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, DQPSK		
Reine Symboldauer (T_S) [μs]	252	504	1,008
Schutzintervaldauer	1/4, 1/8, 1/16 oder 1/32 von T_S		
Nutzbare Bitrate	3,61 Mbps - 23,234 Mbps		
Videoformat	MPEG-2 Video		
Audio Format	MPEG-2 Audio (AAC)		

Tabelle 4.3.: Parameter of ISDB-T (6 MHz Bandbreite)

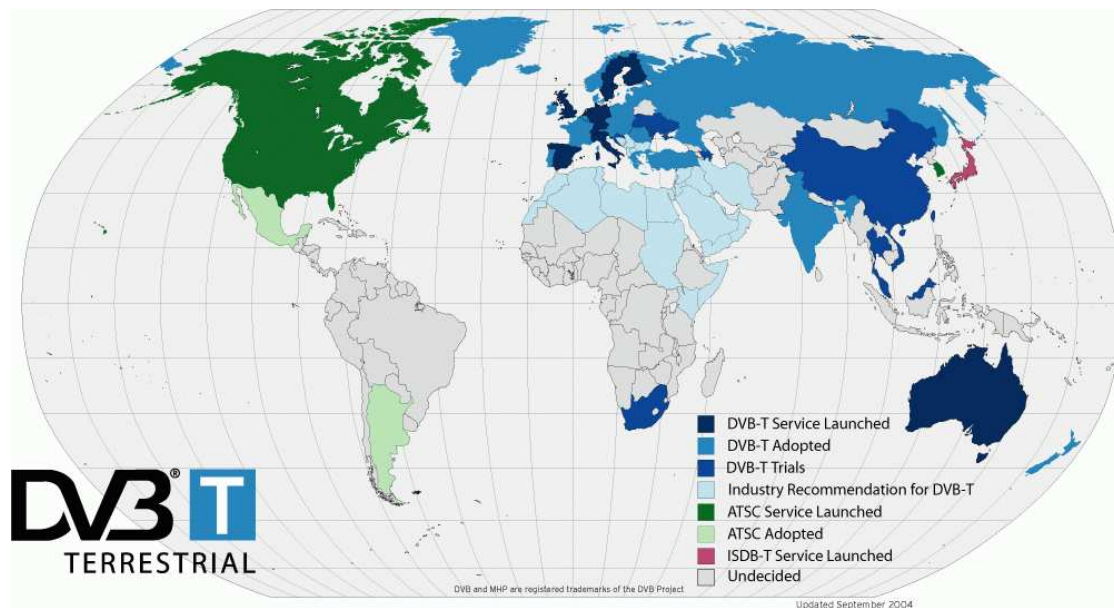


Abbildung 4.5.: Anwendung der verschiedenen digitalen terrestrischen Fernsehstandards

5. Die Praxis

Ein interessanter Aspekt, der mit DVB-T aufkommt, ist natürlich die Konkurrenz, die damit zum "normalen" Kabelfernsehen entsteht. Da die GEZ-Gebühren so oder so anfallen, ist DVB-T mit dem bislang kostenlosen Angebot (bis auf die einmalig anfallenden Anschaffungskosten) eine echte Alternative. Nicht ohne Grund kann man sich über verstärkt auftretende Werbespots der Kabelbetreiber für neue "attraktive" Angebote wundern.

Anders als bei der analogen Technik muss man mit einer kleinen Pause beim Umschalten der Sender rechnen, d.h. der neue Sender ist nicht sofort da. In Abhängigkeit, ob der neu eingestellte Sender im gleichen Bouquet liegt oder nicht, können es schon mal mehr als eine Sekunde sein. Hat man beim analogen Empfang das gesendete Bild quasi sofort auf seinem Fernsehbildschirm vor Augen, entsteht beim Empfang durch DVB-T eine Verzögerung der ausgestrahlten Sender von bis zu 5 Sekunden. Dieser Versatz entsteht durch die Verarbeitung der Signale auf dem Übertragungsweg. Man stelle sich vor, dass DVB-T-Fernsehgucker zur Fussballweltmeisterschaft 5 Sekunden später jubeln, als andere.

Es ist schon zuvor mal angeklungen. Beim analogen Empfang ist es durchaus möglich auch bei schlechtem Empfang das gesendete Programm mit Rauschen zu betrachten, wenn man es für zumutbar hält. Beim digitalem Empfang nimmt das System einem die Frage ab. Wird der Empfang zu stark aus Sicht des System verschlechtert, steigt die Fehlerrate und das Bild verschwindet ganz. Entweder man hat ein Bild, dann in optimaler Qualität, oder man hat keins. Es gilt also die einfache Gleichung: "Empfangsqualität = Sendequalität".



+



=



Trotzdem, man ist bemüht dem Kunden den Umstieg so einfach und so schmackhaft wie möglich zu machen. Für den Empfang reicht die schon vorhandene Dachantenne aus. In Ballungsräumen soll eine Zimmerantenne oder eine kleine portable Antenne genügen. Ein DVB-T-Decoder (DVB-Empfangsgerät) sorgt dafür, dass auch der "alte" Fernseher weiter genutzt werden kann und bereitet das Signal entsprechend auf und führt dem Fernseher ein analoges zu. Es sind aber auch schon erste Fernseher mit integriertem DVB-T-Tuner zu bekommen.

Man will auch Kunden, die eigentlich schon durch das Kabel oder Satellit versorgt

5. Die Praxis

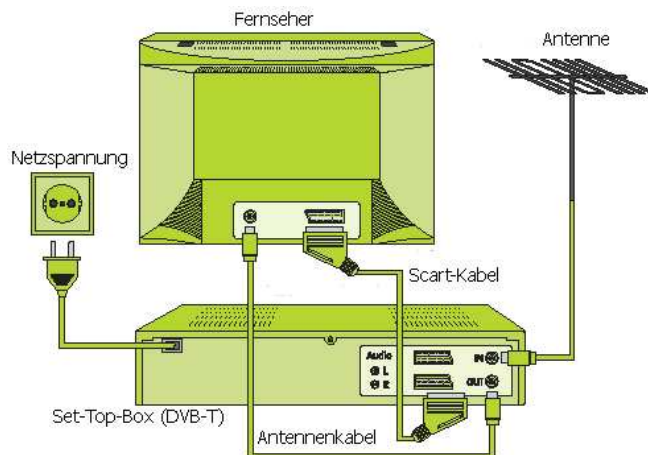


Abbildung 5.1.: Nutzung von DVB-T mit Set-Top-Box und Scart-Kabel

sind, die Sache schmackhaft machen, in dem sie DVB-T hervorragend für Zweitgeräte nutzen können, ohne lästige Verkabelung, flexibel eben. Allerdings ist, mal abgesehen von sogenannten "Twin-Receivern", für jedes einzelne Gerät jeweils eine Set-Top-Box nötig. Also sogar, wenn man mit dem Videorekorder ein Programm aufnehmen möchte und ein anderes schauen möchte. Ob das zur Attraktivität von DVB-T beiträgt, darf bezweifelt werden.

Die Angst, ob DVB-T möglicherweise mehr Elektrosmog verursacht, kann genommen werden. Die digitale Übertragung benötigt geringere Sendeleistungen, so daß, obwohl mehr Programme empfangen werden können, sich die Gesamtbelastung nicht erhöht. Messungen im Testbetrieb haben sogar gezeigt, daß die gesetzlich festgelegten Grenzwerte sogar noch weiter unterschritten werden.

Auf die Funktionalität des Videotextes braucht nicht verzichtet zu werden. Er wird zwar immer noch weiter verarbeitet und durch die Set-Top-Box wieder in das analoge Signal gespeißt, wird aber auf kurz oder lang durch einen leistungsfähigeren Dienst, dem elektronischen Programmeguide (EPG), ersetzt werden. Da es möglich ist mit dem Signal auch Bilder, Texte und sonstige Zusatzinformationen zu übertragen, ist so einiges zu erwarten. Es besteht allerdings die Gefahr, daß man so auch mit Hilfe des EPGs gestalterisch Einfluß auf die Wahl des Programms durch den Zuschauer nehmen kann.

Bleibt nur noch die Frage, was aus dem lieb gewonnenen Video Programming Service (VPS) wird. Es kam als externes Steuersignal vom Sender initiiert über die 16. Videozeile. Derzeit existiert noch keine adäquate Lösung für DVB-T, obwohl es Ideen gibt. Es muß lediglich das VPS-Signal passend im DVB-T-Datenstrom untergebracht werden, vom Endgerät entsprechend ausgewertet werden, welches dann beispielsweise über eine

Schaltspannung am Scart-Ausgang den externen Rekorder steuert oder eben auch selbst ein VPS-Signal in der erwähnten 16. Videozeile generiert. Bis Ideen als Lösungen für die Praxis umgesetzt sind, bleibt nur die Möglichkeit, per EPG mit einem Knopfdruck die gewünschte Ausnahmezeit zu programmieren, wird aber überzogen, hilft auch das beste EPG nichts.

5.1. Versorgte Gebiete

Es sollen mittlerweile rund 24 Millionen Leute in Deutschland im von DVB-T versorgten Gebiet wohnen. Mit der Versorgung durch DVB-T begann man Berlin/Brandenburg im November 2002. Von den Ballungsgebieten ausgehend soll dann die gesamte Bundesrepublik mehr und mehr abgedeckt werden. Die Verantwortung liegt dabei bei den jeweiligen Landesmedienanstalten und den beteiligten Programmanbietern. In Rostock und Schwerin ist DVB-T ab 2007 geplant. (Abb. 5.2)

5.2. Presse

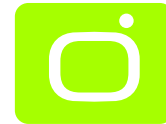
Stellvertretend für die überschwingliche, größtenteils optimistische Berichterstattung über DVB-T folgt nun eine Pressemitteilung im O-Ton:

Die terrestrische Fernsehübertragung feiert in Norddeutschland eine echte Renaissance

Immer mehr Fernsehzuschauer in Norddeutschland nutzen das digitale Antennenfernsehen. Nach Schätzungen des Projektbüros sind bis Ende des Jahres 2004 mehr als 800.000 DVB-T-Empfangsgeräte in den Handel gegangen. Die ungebrochen hohe Nachfrage nach Empfangsgeräten sowie die Zuschauerakzeptanz belegen die erfolgreiche Einführung des digitalen Antennenfernsehens in Norddeutschland.

Etwas mehr als 50 Jahre nach der Einführung des analogen terrestrischen Fernsehens ist dieses System in weiten Teilen Norddeutschlands durch die neue digitale Technologie DVB-T, das digitale Antennenfernsehen, ersetzt worden. Die Zuschauerresonanz auf die Einführung des digitalen Antennenfernsehens, das den Empfang von derzeit bis zu 24 Programmen ermöglicht, übersteigt alle Erwartungen. Nach vorliegenden Ergebnissen über die Zuschauerreichweiten auf Basis der Erhebungen der AGF/ GfK (Arbeitsgemeinschaft Fernsehforschung/ Gesellschaft für Konsumforschung) empfangen immer mehr Menschen in Norddeutschland ihre Fernsehprogramme über DVB-T. In der Region Bremen etwa liegt der Anteil der Fernsehhaushalte, die primär DVB-T nutzen, bei 16,1 Prozent. Demgegenüber hatte der Anteil der analogen Antennenhaushalte Anfang des

DVB-T-Empfangsbereiche deutschlandweit



Stand: 6. Dezember 2004

DVB-T: DasÜberallFernsehen



Abbildung 5.2.: Übersicht über aktuell abgedeckte Gebiete und die derzeitige Planung

5. Die Praxis

Jahres 2004 bei 13 Prozent gelegen. Ein ähnliches Bild zeichnet sich auch in den anderen Startregionen Norddeutschlands ab. So empfangen in Niedersachsen 6,5 Prozent der Haushalte ihre Programme über DVB-T, in Schleswig-Holstein und Hamburg, wo DVB-T am 8. November 2004 startete, sind es bereits 7,5 bzw. 5,1 Prozent der Haushalte. Diese Zuschauerreichweiten zeigen, dass sich DVB-T bereits jetzt als dritter Übertragungsweg neben Kabel und Satellit etabliert hat.

Steigende Absatzzahlen bei den Empfangsgeräten

Auch Händlerberichten zu Folge ist die Resonanz bei den Kunden und die Nachfrage nach DVB-T Empfangsgeräten ungewöhnlich groß. Entsprechend bietet der Fachhandel eine Vielzahl von DVB-T-Empfangsgeräten für die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten an. Von Set-Top-Boxen über Empfangskarten für PC's, PCMCIA Einsteckkarten für Notebooks bis hin zu kleinen, tragbaren TV-Geräten mit digitaler Technik und Empfangsanlagen für Fahrzeuge reicht die Angebotspalette. Große Handelsketten brachten sogar ein „Überall-Notebook“ mit passender Einsteckkarte auf den Markt.

Nach Erhebungen des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) sind bis zum Jahresende 2004 bundesweit ca. 2,1 Mio. DVB-T Empfänger in den Handel gegangen. Auf der Grundlage vorliegender Reichweitendaten schätzt das Projektbüro Norddeutschland, dass davon mehr als 800.000 Endgeräte in die norddeutschen Startregionen gegangen sind.

Die umfassende Information der Öffentlichkeit, vor allem des Fachhandels durch das DVB-T Projekt Norddeutschland, letztere in Zusammenarbeit mit Handels- und Handwerkskammern hat einen wichtigen Beitrag zu dieser unerwartet positiven Entwicklung des Endgerätemarktes beigetragen.

DVB-T deutschlandweit

Nach der Einführung in Berlin/ Brandenburg haben neben Norddeutschland auch Nordrhein-Westfalen und das Rhein-Main-Gebiet DVB-T erfolgreich eingeführt. Im Mai 2005 wird das digitale Antennenfernsehen in den Startregionen München/ Südbayern und Nürnberg eingeführt, ebenfalls im Mai 2005 startet DVB-T in Mitteldeutschland. In weiteren Regionen wie Rostock, Schwerin, aber auch der Ballungsraum Stuttgart wird die Einführung von DVB-T vorbereitet. Sowohl in Mitteldeutschland als auch in Mecklenburg-Vorpommern werden nur öffentlich-rechtliche Programme zu empfangen sein.

Die große Zuschauerresonanz hat verschiedene Gründe: das einfache Handling, die Empfangbarkeit zu Hause und unterwegs ohne allzu komplizierte Technik und umständliche Sendereinstellungen sowie die große Programmvielfalt und die gute Bildqualität über die Antenne. All dies trägt zum großen Erfolg von DVB-T in Norddeutschland bei.

5. Die Praxis

Gelegentliche Anlaufschwierigkeiten

Bei einer technologischen Innovation dieser Größenordnung lassen sich anfängliche technische Probleme nicht gänzlich ausschließen: So gab es im Zuge der Einführung vereinzelt Empfangsprobleme, die verschiedene Ursachen hatten. Fehlschaltungen in den Playout-Centern konnten aber ebenso schnell behoben werden wie Probleme mit der Software bei einigen Endgeräten. In den meisten Fällen war eine Optimierung der Empfangsanlage die Lösung des Problems. So mussten mancherorts die Hausantennen anders ausgerichtet oder erweitert werden, bei den Zimmerantennen genügte es zumeist, verschiedene Modelle zu testen oder einen anderen Standort im Raum zu suchen. Wer dennoch Empfangsprobleme hat, kann sich täglich von 10:00 Uhr bis 22:00 Uhr an die Hotline des Projektes wenden.

Quelle: INFOSAT (21.01.2005)

6. Produkte aus der Welt des DVB-T

6.1. DVB-T Chip aus Fernost

Selbst China hat den Markt schon für sich entdeckt und entwickelte unlängst einen Empfangschip der neben DVB-T auch in der Lage ist, Signale nach dem US-Standard ATSC verarbeiten kann. Mit seinen 20 Millionen Transistoren und 2 Millionen Gattern soll er mit schwachen Signalen besser umgehen können, als vergleichbare Produkte aus westlichen Industrienationen. Längerfristig wird das Ziel angepeilt nicht nur die internationale Nachfrage zu bedienen, sondern auch die für die Zukunft erhoffte Binnennachfrage. Die 2008 in Peking stattfindenden Olympischen Spiele sollen im Land über Digitalfernsehen übertragen werden und bis zum Jahr 2015 soll es dann nach Regierungsplänen landesweit verfügbar sein.

6.2. DAS DVB-T Paradeprodukt

TechniSat DigiPal LCD

6,8 Zoll kleines, portables LCD Fernsehgerät mit integriertem DVB-T Empfänger
Originalwerbetext: "Mit dem TechniSat DigiPal LCD wird DVB-T buchstäblich zum Überall-Fernsehen. Das 6,8 Zoll kleine Gerät verfügt über einen klaren LCD Monitor, einen integrierten DVB-T Empfänger und eine Antenne. Durch den eingebauten Hochleistungsakku wird der TechniSat DigiPal LCD netzunabhängig und kann dadurch portabel eingesetzt werden. Mit einem speziellen Adapterkabel lässt sich der DigiPal LCD auch über das 12-Volt Bordnetz eines PKW, LKW oder eines Bootes betreiben."



Merkmale:

VHF Kanäle: 2-12, UHF Kanäle: 21-69

1000 Programmspeicherplätze

Komfortables Bildschirmmenü (OSD) in deutsch und englisch

EPG (Elektronischer Programmführer)

6,8" LCD-Color-Bildschirm

Videotext Decoder mit 50 Seitenspeicher, Untertitel

Automatischer Programmsuchlauf

Stromversorgung: 12 V-Netzteil

Akkuleistung ca. 2 Stunden

Autoinstall (TechniSat Software zur automatischen und einfachen Geräteinstallation)

Abmessungen (BxHxT): 212 x 167 x 69 mm

Preis: 499 Euro

A. Quellenverzeichnis

Literatur

- [1.1] "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", Final draft ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-06)
- [1.2] "China entwickelt DVB-T-Chip", c't(02) vom 10.01.2005, S. 30, Heise Verlag 2005
- [1.3] "Grundlagen der Kommunikationstechnik", John G. Proakis, Masoud Salehi
- [1.4] "Digital Terrestrial Television Broadcasting", Paul Dambacher, Springer 1998
- [1.5] "DVB - Digitales Fernsehen", Dipl.Ing. Ulrich P. Freyer, Verlag Technik Berlin 1997
- [1.6] "Fundamentals of digital television transmission", Gerald W. Collins, John Wiley & Sons 2001
- [1.7] "Hardware für Multimedia und Grafik", Vorlesungsmitschrift, Prof. Dr.Ing. habil. Dietmar Jackèl, Universität Rostock 2004/05
- [1.8] "Extra terrestrisch", Sven Hansen, c't (11), Heise Verlag 2004
- [1.9] "Terrestersich, praktisch, gut", Sen Hansen, c't (11), Heise Verlag 2004
- [1.10] "Irdisch", Peter Röbbke-Doerr, c't (11), Heise Verlag 2004
- [1.11] "DVB-Technik", Dr. Volker Zota, c't (11), Heise Verlag 2004
- [1.12] "DVB-T²", Sven Hansen, c't (22), Heise Verlag 2004
- [1.13] "Nachgehak-T", Peter Röbbke Doerr, Dr. Volker Zota, c't (22)
- [1.14] "Digital Video Broadcasting", Ulrich Reimers, Springer 2001
- [1.15] "Bildatenkompression", Tilo Strutz, 2. Auflage Vieweg 2002

Internet

- [i.1] www.dvb-t-portal.de
- [i.2] www.überallfernsehen.de
- [i.3] www.dvb-t-nord.de

Erklärung

Hiermit erkläre ich, Thomas Bertow, daß diese vorliegende Beleg von mir allein und nur mit Hilfe des eigenen Wissens und Verstandes und den aufgeführten Quellen angefertigt wurde.

Thomas Bertow
Rostock, 29.03.2005