



DVB-X2

Die zweite Generation des digitalen Fernsehens

Bachelorarbeit

Andre Heinrich
MT06w1-B

DVB-X2

Die zweite Generation des digitalen Fernsehens

Erstprüfer: Prof. Dr. -Ing. Rainer Zschockelt

Zweitprüfer: M. Sc. Rika Fleck

Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17 | 09648 Mittweida

Andre Heinrich | MT06w1-B

Eingereicht als Bachelorarbeit am: 24.08.2010

Bibliographische Beschreibung

Andre Heinrich | MT06w1-B | Mittweida 2010

Bachelorarbeit zum Thema: DVB-X2-Die zweite Generation des digitalen Fernsehens

103 Seiten

Hochschule Mittweida-University of Applied Sciences | Fakultät Medien

Referat

Die „digitale Revolution“ im Fernsehen ist in Deutschland, Europa und in vielen Ländern der Welt mit der Einführung der Digital Video Broadcasting (DVB)-Technik mittlerweile größtenteils abgeschlossen. Jetzt gilt es mit der zweiten Generation die einzelnen Technologien von Digital Video Broadcasting-Satellite (DVB-S), für das digitale Satellitenfernsehen, von Digital Video Broadcasting-Cable (DVB-C), für das digitale Kabelfernsehen und von Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T), für das digitale Antennenfernsehen noch effizienter zu entwickeln. Angesichts des immer größer werdenden Bedarfs, seitens der Endverbraucher, nach immer größeren Bildschirm-diagonalen und einem qualitativ besseren Fernsehbild, durch eine höhere Auflösung in Form von High Definition Television (HDTV), werden auch neue Technologien dringend benötigt. Um dem Konsumenten unter anderen auch eine ausreichende Programmvierfalt in entsprechender High Definition (HD)-Qualität zur Verfügung stellen zu können, wurden unlängst DVB-S2, DVB-T2 und DVB-C2 spezifiziert. Während sich DVB-S2 schon etwas länger auf dem Markt befindet und bereits etablieren konnte, ist über DVB-T2 und DVB-C2 noch nicht allzu viel bekannt.

Viele Fragen stellen sich: Was ist neu an der zweiten Generation? Welche Unterschiede zwischen den einzelnen Standards gibt es? Welche neue Technologien bietet die neue Generation, im Vergleich zur Alten? Und wohin geht die weitere Entwicklung?

Das Ziel meiner Bachelorarbeit soll sein, den zuvor gestellten Fragen nachzugehen und diese allgemein verständlich zu beantworten. Dabei ist klar, dass ich in dieser Arbeit mehr Wert darauf lege einen Überblick zu erarbeiten, als bei jedem einzelnen Standard allzu sehr ins Detail zu gehen.

„Das Gefährlichste an der Technik ist, dass sie ablenkt von dem, was den Menschen wirklich ausmacht, von dem, was er wirklich braucht.“

Elias Canetti (1905-1994), Schriftsteller und Nobelpreisträger für Literatur

1 Inhaltsverzeichnis

2	Einleitung	8
3	Die Einführung des digitalen Fernsehens in Deutschland	10
3.1	Das DVB-Projekt.....	10
3.2	Der Beginn des digitalen Fernsehzeitalters.....	11
3.3	Der aktuelle Stand.....	13
4	Gestochen scharfe Bilder: HDTV	16
4.1	Begriffsabgrenzung.....	16
4.2	Die Entwicklung von HDTV.....	17
4.3	Technische Parameter.....	19
4.3.1	Auflösung.....	20
4.3.2	Bildwiederholfrequenz und Abtastung.....	21
4.3.3	Nomenklatur.....	23
4.3.4	Bildseitenverhältnis.....	24
4.4	Zusammenfassung.....	24
5	Die drei wichtigsten DVB-Verbreitungswege und Standards im Überblick	27
5.1	DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)	27
5.1.1	Nutzeranforderungen.....	28
5.1.2	Empfangssituation.....	29
5.1.3	Technik.....	32

5.1.3.1	Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.....	32
5.1.3.2	Sendetechnik.....	33
5.1.3.3	Energieverwischung.....	33
5.1.3.4	Fehlerkorrektur.....	34
5.1.3.5	Modulation.....	37
5.2	DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable).....	38
5.2.1	Nutzeranforderungen.....	38
5.2.2	Empfangssituation und Netzstruktur.....	39
5.2.3	Technik.....	42
5.2.3.1	Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.....	42
5.2.3.2	Fehlerkorrektur.....	44
5.2.3.3	Modulation.....	44
5.2.4	Reflexionen.....	46
5.3	DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial).....	46
5.3.1	Nutzeranforderungen.....	47
5.3.2	Empfangssituation.....	49
5.3.3	Technik.....	51
5.3.3.1	Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.....	51
5.3.3.2	Fehlerkorrektur.....	52
5.3.3.3	OFDM-Modulation.....	54
5.3.3.4	Gleichwellennetz.....	55
5.3.3.5	Guard Interval.....	56
6	Die Notwendigkeit von DVB-X2.....	58
7	DVB-X2: Die zweite Generation von DVB.....	62
7.1	DVB-S2.....	63
7.1.1	Übersicht.....	63

7.1.1.1	Leistungsmerkmale.....	63
7.1.2	DVB-S vs. DVB-S2.....	65
7.1.3	Zusammenfassung.....	66
7.2	DVB-T2.....	67
7.2.1	Übersicht.....	67
7.2.1.1	Leistungsmerkmale.....	67
7.2.2	DVB-T vs. DVB-T2.....	70
7.2.3	Zusammenfassung.....	71
7.3	DVB-C2.....	72
7.3.1	Übersicht.....	72
7.3.1.1	Leistungsmerkmale.....	73
7.3.2	DVB-C vs. DVB-C2.....	74
7.3.3	Zusammenfassung.....	77
8	Fazit.....	79
9	Abkürzungsverzeichnis.....	80
10	Glossar.....	86
11	Quellenverzeichnis.....	95
12	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	101
13	Erklärung.....	103

2 Einleitung

Television

Vielleicht hat es noch einen anderen Grund, warum in dieser Bezeichnung das Wort „Vision“ auftaucht. Sicherlich bedeutet es frei übersetzt „Fern-sehen“, doch könnte man es auch anders interpretieren. Auf jeden Fall ist seit der Erfindung des Röhrenfernsehers in diesem Bereich sehr viel passiert. Viele Innovationen prägten und prägen bis heute die Geschichte der Fernsehtechnik. Gerade in der heutigen Zeit, wo überall die digitale Technik Einzug hält, besonders spannend. Mit den Anfängen der alten Röhrentechnik haben die heutigen modernen Flachbildschirme so rein gar nichts mehr gemeinsam. Fast täglich kommen neue Modelle auf dem Markt, immer flacher, leichter, schöner aber vor allem auch leistungsfähiger sollen sie sein.

Das steigende Bedürfnis der Konsumenten nach einem besseren Bild mit höherer Auflösung und größeren Bildschirmdiagonalen bei den Fernsehgeräten machte eine neue Technik erforderlich. Ein neuer Begriff tauchte, erst in etablierten Fachzeitschriften, dann auch in den allgemeinen Massenmedien auf. HDTV. Gemeint ist damit „High Definition Television“, also hochauflösendes Fernsehen, mit wesentlich mehr Bildpunkten als beim bis dato bekannten Standard Definition Television (SDTV). In einigen Ländern der Erde bereits seit geraumer Zeit flächendeckend eingeführt, tat man sich anfangs auf dem europäischen Kontinent ziemlich schwer. Mittlerweile etabliert sich HDTV aber auch hierzulande Schritt für Schritt. Mit dem Beginn der olympischen Winterspiele in Vancouver, im Februar 2010, begannen die öffentlich rechtlichen Sendeanstalten in Deutschland, Filme, Großveranstaltungen und ausgewählte Sendungen in HD zu übertragen. Schrittweise soll das Angebot nun erweitert werden und weitere Inhalte im hochauflösenden Format folgen. Auch die privaten Fernsehanstalten senden bereits seit geraumer Zeit in High Definition.

Voraussetzung dafür, dass in HDTV auch übertragen, bzw. gesendet werden kann ist die Digitalisierung der Daten. Denn analog wäre der Bandbreitenbedarf unvorstellbar hoch, die Wirtschaftlichkeit keinesfalls gegeben. Erst die Einführung digitaler Übertragungsstandards in der Fernsehtechnik also machte-zumindest in Europa-diese Entwicklung möglich. Und da davon auszugehen ist, dass die HD-Programminhalte in Zukunft stetig zunehmen und langfristig die SD-Programme ablösen werden- und in dem Übertragungskanal, zwischen Sender und Empfänger, nur begrenzte Ressourcen

zur Verfügung stehen, müssen neue, effizientere digitale Übertragungstechnologien eingesetzt werden. Dafür entwickelte das DVB-Projekt, in speziell dafür gebildeten Arbeitsgruppen, die zweite Generation der digitalen Übertragungsstandards von DVB-S, DVB-C und DVB-T. Aber nicht nur eine bessere, effizientere Komprimierung und Modulation der Daten, durch neue Verfahren, sondern auch eine Menge anderer Verbesserungen wird es bei den Nachfolgern geben. So wurde unterer anderen die Robustheit, durch die Anwendung neuer Fehlerschutzmechanismen erhöht und dadurch wesentlich verbessert.

Die zweite Generation der digitalen Übertragung via Satellit (DVB-S2) ist bereits seit einiger Zeit auf dem Markt. Auch ausreichend Endgeräte für den Verbraucher gibt es in den unterschiedlichsten Qualitäts- und Preislagen zu kaufen. DVB-S2 konnte sich bereits auf breiter Front in Deutschland und Europa durchsetzen und wird in naher Zukunft den Vorgänger komplett ablösen. DVB-T2 dagegen ist noch relativ neu. Eine komplette Sendestrecke hierfür wurde erstmals 2008, auf der internationalen Rundfunkmesse „IBC“ in Amsterdam vorgestellt. Die britische BBC möchte diesen Standard noch in diesem Jahr auf der Insel einführen. In Deutschland wird diese Technologie wohl noch ein wenig auf sich warten lassen, da erst Ende 2008 die flächendeckende Einführung von DVB-T abgeschlossen wurde. Der jüngste Vertreter der „DVB-X2-Familie“ ist DVB-C2. Unter Verwendung dieser neuen Technologie gelang es Technikern der TU Braunschweig im April 2010 erstmals ein Live-Fernsehsignal zu senden. Doch auch wenn DVB-C2 in naher Zukunft zur Marktreife gebracht wird bleibt die Frage, ob die Kabelnetzbetreiber schon wieder in eine neue Technik investieren wollen, wo doch DVB-C gerade erst etabliert werden konnte und die erneuten Kosten nicht ganz unerheblich sein dürften.

Die Entwicklung von **DVB-X2** dient natürlich nicht ausschließlich dem Zweck, das digitale Fernsehen für ein breites HD-Angebot zukunftssicher zu entwickeln, sondern auch dem Endverbraucher mit noch mehr und vielfältigen Zusatzdiensten einen größeren Mehrwert bereitzustellen. So ist eines der großen Ziele, die DVB-Familie mehr mit dem Internet zu verknüpfen und so auch die Interaktivität zwischen Sender und Empfänger durch „Rückkanalfähigkeit“ zu stärken, beispielsweise für VOD (Video on Demand)-Dienste, die Videothek der Zukunft.

3 Die Einführung des digitalen Fernsehens in Deutschland

Die Einführung des digitalen Fernsehens wäre ohne einen Person erst gar nicht möglich gewesen: Gottfried Wilhelm Leibniz, ein deutscher „Universalgelehrter“, in Leipzig geboren, der in der Zeit des 17. und 18 Jahrhunderts wirkte. Für Leibniz galt zu seiner Zeit die Devise: „Ohne Gott ist nichts.“ Dafür stand „Gott“ für die 1 und „nichts“ für die 0¹. Leibniz dachte erkannt zu haben, dass unser Denken mit einem Rechengvorgang gleichzusetzen sei. Daraufhin entwickelte er eine logische Symbolsprache, woraus das duale Zahlensystem entstand. Dieses bildet die Grundlage für die Digitaltechnik und somit auch für das digitale Fernsehen.

3.1 Das DVB-Projekt

Die Entwicklung des digitalen Fernsehens in Europa und damit auch in Deutschland ist eng verbunden mit der Gründung des DVB-Projektes. Dieses gründete sich 1993 aus 80 Unternehmen auf Basis der „European Launching Group “ (ELG), welche bereits seit 1991 tätig war². Die zentrale Aufgabe des neu geschaffenen Bündnisses war und ist es Normen für die digitale Fernsehübertragung in Europa festzulegen. Mittlerweile³ ist dieses Industriekonsortium auf eine beachtliche Mitgliederzahl von mehr als 250 Unternehmen, aus über 35 Ländern weltweit, aus den Bereichen Netzbetreiber, Gerätehersteller, Software-Entwickler und Sendeanstalten angewachsen. Auch Forschungsinstitute wie unter anderen das Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig waren und sind maßgeblich an der Entwicklung der DVB-Standards beteiligt.

Schon wenige Monate nach der Gründung des DVB-Projektes wurde damit begonnen digitale Standards für die Verbreitungswege Satellit, Kabel und Antenne zu entwickeln, was einige Jahre in Anspruch nahm. 1996 dann konnten die ersten beiden digitalen Übertragungstechnologien, nämlich DVB-S für den Satellitenempfang und DVB-C für den Empfang über das Kabelnetz spezifiziert⁴ werden. Die Spezifikation von DVB-T für die

1 vgl.: „Gottfried Wilhelm Leibniz“, <http://de.wikipedia.org>

2 vgl.: „Die Geschichte des DVB-Projektes“, www.dvb.org

3 Stand: Mai 2010

4 Zur Erklärung des Begriffes: Spezifikation, siehe: Glossar

terrestrische Übertragung, als dritten und letzten Standard, für die "klassischen" Verbreitungswege des Fernsehens, folgte dann kurze Zeit später.

Währenddessen wurden auch ein Reihe von anderen Spezifikationen durch das neu gegründete DVB-Projekt erarbeitet. So erlebte das Common Interface (CI), nebst Conditional Access Module (CAM) in dieser Zeit seine Geburtsstunde. Beide ermöglichen es dem Endverbraucher, mit einer Smartcard⁵ verschlüsselte Bezahlfernsehangebote (Pay-TV) zu empfangen.

3.2 Der Beginn des digitalen Fernsehzeitalters

Auf Basis dieser neuen, vom DVB-Projekt entwickelten Standards begann RTL 1996, als erster deutscher Sender sein analoges Fernsehprogramm zusätzlich digital mit DVB-S, also über Satellit auszustrahlen⁶. Kurz darauf nahm der zur Kirch-Gruppe gehörende Pay-TV-Anbieter DF1 (Digitales Fernsehen 1) seinen Sendebetrieb auf. DF1 war auch der erste Sender, der seine Programminhalte ausschließlich digital, über Satellit verbreitete. Der Bezahlsender Premiere (seit 2009 Sky), aus dem gleichen Haus, folgte dann 1997. Dort sendete man allerdings noch bis 2003 analog und digital im Simulcastbetrieb⁷. Premiere konnte zur damaligen Zeit, dank der neuen digitalen Sendetechnik, seine Kapazität stark ausbauen und so viele zusätzliche Programme und Themenkanäle etablieren.

Ebenfalls ab 1997 wurde mit dem DVB-C Standard dann auch erstmals digitales Fernsehen über das Kabelnetz (Koaxial), der Deutschen Telekom übertragen. Dem Fernsehzuschauer standen ab diesem Zeitpunkt also zwei konkurrierende digitale Verbreitungswege zur Verfügung.

1998 startete das Bundeswirtschaftsministerium, auf Grundlage eines Beschlusses des Bundeskabinetts, die "Initiative digitaler Rundfunk" (IDR). Daraufhin wurde beschlossen, dass die analoge Rundfunkversorgung⁸ der deutschen Bevölkerung beendet und bis 2010 komplett auf digitale Übertragungverfahren umgestellt werden soll.

5 Zur Erklärung des Begriffes: Smartcard, siehe: Glossar

6 vgl.: „Digitales Fernsehen in Deutschland“, Frank Zervos, 2003, Seite 128 ff

7 Zur Erklärung des Begriffes: Simulcastbetrieb, siehe: Glossar

8 Zur Erklärung des Begriffes: Rundfunk, siehe: Glossar

Wegen des ausbleibenden Erfolgs wurde DF1 1999 mit Premiere zusammengelegt, woraus Premiere World hervorging. In der Zwischenzeit begannen auch alle übrigen deutschen, frei empfangbaren und werbefinanzierten Sender, wie unter anderen Pro7 und Sat1, die zusätzliche Ausstrahlung ihrer Programminhalte in digitaler Form. Dabei wurde nicht einfach nur das herkömmliche analoge Programm digitalisiert, sondern die Inhalte zunehmend abgeändert, das Programmangebot nach und nach erweitert und auf bestimmte Zielgruppen zugeschnittene Themeninhalte präsentiert.

Die letzten großen überregionalen deutschen Fernsehsender, die ihre digitalen Angebote in den Regelbetrieb überführten, waren die öffentlich- rechtlichen Sendeanstalten. Das ZDF (Zweites Deutsches Fernsehen) begann damit im Jahr 2000. Die ARD (Arbeitsgemeinschaft der öffentlich- rechtlichen Rundfunkanstalten in Deutschland) folgte dann ein Jahr später, also 2001 auf dem Fuße.

Es bleibt festzuhalten, dass in Deutschland seit 1997 zwei digitale Übertragungsarten miteinander konkurrieren. Dies ist einmal DVB-S für die Satellitenübertragung und DVB-C über das gut ausgebaute deutsche Kabelnetz.

Seit einigen Jahren gesellt sich ein weiterer Standard aus der DVB-Familie hinzu. Nach einer umfangreichen landesweiten Testphase startete mit dem DVB-T Standard, Anfang 2003, die kommerzielle Einführung des digitalen terrestrischen Fernsehens (Antennenfernsehen), im urbanen Großraum Berlin/Potsdam⁹. Anfangs gab es 6 Monate einen Parallelbetrieb zwischen der alten analogen und der neuen digitalen Sendetechnik (Simulcast), um unter anderen den Endverbraucher die Zeit und Möglichkeit zu geben, sich auf die neue digitale Technik umzustellen. Nach der mehrmonatigen Simulcastphase wurde der analoge Verbreitungsweg via Antenne, zugunsten von DVB-T komplett eingestellt.

Dies stellte zur damaligen Zeit ein absolutes Novum, nicht nur in Deutschland, sondern weltweit dar. Nicht einmal Großbritannien, die als Vorreiter und „Vorzeigeland“ in Sachen DVB-T gelten und bereits seit 1998 im Regelbetrieb¹⁰, digital über Antenne senden, schalteten die „analoge Antenne“ zeitiger ab.

Nach und nach wurden auch alle übrigen Regionen in Deutschland auf DVB-T umgerüstet. Nach den großen Ballungszentren folgten dann die ländlichen Gebiete.

9 vgl.: „DVB-T Abschlussbericht-Deutschland“, Seite 5 ff

10 vgl.: „Übergang vom analogen zum digitalen terrestrischen Fernsehen“, Seite 21 ff

Dank einer breit angelegten Marketingoffensive und des dadurch gestiegenen Bekanntheitsgrades von DVB-T, stieg auch die Akzeptanz dieser neuen Sendetechnik in der Bevölkerung. So konnte in den meisten Fällen ab Ende 2005 auf einen Simulcastbetrieb verzichtet werden. Dies führte zu erheblichen Kosteneinsparungen seitens der Programmanbieter und Sendernetzbetreiber. Vor allem aber wurden dadurch wertvolle Frequenzen frei, die für zusätzliche Dienste und eine größere Programmvielfalt dringend benötigt wurden.

Endes des Jahres 2008 dann konnte der letzte analoge terrestrische Sender in Deutschland abgeschaltet und so die Umstellung von analogen auf digitales Antennenfernsehen abgeschlossen werden.

3.3 Der aktuelle Stand

Seit mehreren Jahren befinden sich alle „namhaften“ deutschen, öffentlich- rechtlichen und privaten Sendeanstalten, nebst Pay-TV Anbieter, im digitalen Regelbetrieb. Wie bereits zuvor geschrieben stellte der Bezahlsender Premiere (heute Sky) 2003 sein analoges Sendesignal ein und verbreitet seitdem seine Inhalte nur noch ausschließlich digital, über Kabel und Satellit. Neben Sky gibt es mittlerweile¹¹ auch noch eine Vielzahl kleinerer Spartenprogramme¹², die ihre Inhalte rein digital verbreiten. Aufgrund der gesunkenen Verbreitungskosten durch die Digitalisierung der Übertragungsnetze konnte sich so eine Vielzahl kleinerer Programmanbieter erfolgreich etablieren.

Die übrigen großen Sendeanstalten, wie die ProSiebenSat.1 Media AG und die RTL Mediengruppe Deutschland, im privaten Bereich und die öffentlich- rechtlichen ARD und ZDF senden auch weiterhin im Simulcastbetrieb analog und digital.

Somit ist der Beschluss der „Initiative digitaler Rundfunk“ von 1998, der vorsah das bis spätestens 2010, zumindest im Fernsehbereich¹³, komplett auf digitale Übertragungsverfahren umgestellt werden soll, nichtig. Bisher konnte dies nur bei der terrestrischen Fernsehversorgung über den DVB-T Standard, aber da bereits 2008, erreicht werden. Die zwei restlichen, „klassischen“ Verbreitungswege, Kabel und Satellit hingegen, hingen auch weiterhin hinterher.

11 Stand: 2010

12 Zur Erklärung des Begriffes: Spartenkanal, siehe: Glossar

13 vgl.: „Übergang vom analogen zum digitalen terrestrischen Fernsehen“, Seite 19 ff

Die Gründe warum die Analogabschaltung eher schleppend voran kommt sind vielfältig. Einer der Gründe kann sein, dass die Programmanbieter ihre Zuschauer die noch über einen analogen Fernsehempfänger verfügen nicht verlieren wollen, wenngleich die parallele Übertragung der Signale auf Dauer auch nicht finanzierbar ist, da dadurch zwei technische Systeme unterhalten und gewartet werden müssen. Ein anderer Grund könnte aber auch sein, dass es an einer groß angelegten Marketing-offensive, ähnlich der von DVB-T fehlt, in der dem Konsumenten der Umstieg und somit auch der Erwerb von digitalen Empfängern „schmackhaft“ gemacht wird.

Trotz fehlender einheitlicher Strategie zur Gewinnung neuer „Digitalkonsumenten“, nutzen, zumindest bei der Satellitenübertragung, 2009 bereits 74,1 Prozent, also fast dreiviertel der deutschen Satellitenhaushalte, digitale Empfangsgeräte¹⁴. Mit Hinblick auf diese Feststellung würde sich eine Analogabschaltung über diesen Verbreitungsweg sicherlich lohnen.

Ende 2009 einigten sich Vertreter der privaten und öffentlich- rechtlichen Sendeanstalten, sowie die Landesmedienanstalten darauf, die Ausstrahlung des analogen Satellitenfernsehens im Frühjahr 2012¹⁵ zu beenden. Dieser Termin gilt endgültig als das Ende der analogen Satellitenübertragung für Rundfunkzwecke in Europa. Denn ohnehin sind die deutschsprachigen Sender die letzten, die auf diesen Verbreitungsweg analog übertragen¹⁶.

Doch die Übermittlung der Fernsehsignale über das Kabelnetz wird auch dann weiterhin , zusätzlich zu digital, analog erfolgen. 2009 nutzten knapp 30 Prozent der Kabelhaushalte die Möglichkeit, die Programminhalte auch digital zu empfangen. Die Tendenz ist aber steigend, denn im Jahr zuvor, also 2008, waren es nur 21 Prozent¹⁷. Der digitale Empfang scheint also auch in der letzten „klassischen“ Verbreitungsart von Rundfunk, bzw. Fernsehhalten an Bedeutung zu gewinnen. Solange aber kein Termin zum Ausstieg aus dem analogen Kabelfernsehen, vor allem rechtzeitig genug, bekannt gegeben wird, werden viele Kabelfernsehen-Nutzer, hauptsächlich aus Kostengründen nicht in die neue digitale Empfangstechnik investieren.

Sicher aber ist, das mit Bekanntgabe zum Ende des analogen Satellitenfernsehens auch

14 vgl.: „Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten“, Seite 13

15 vgl.: „Analoges Satelliten-TV wird abgeschaltet“, <http://computer.t-online.de>

16 vgl.: „Deadline für Analogabschaltung steht“, www.digitalfernsehen.de

17 vgl.: „Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten“, Seite 13

die Diskussion über den Ausstieg aus dem analogen Kabelfernsehen beginnt. Abzuwarten bleibt, wann beim Kabel ein endgültiger Abschalttermin feststeht. Hier sind vor allem die Kabelnetzbetreiber gefordert, denn sicher ist, dass man, ähnlich wie beim Satellitenfernsehen, nicht eher darüber entscheidet bis ein bestimmter Prozentsatz der Kabelfernsehen-Konsumenten einen digitalen Empfänger besitzen.

Während die beiden Verbreitungswege Kabel und Satellit noch mit der Umstellung „kämpfen“, ist das Antennenfernsehen, wie bereits beschrieben, schon längst vollständig digitalisiert. Auch der DVB-T Sendernetzaufbau ist bereits abgeschlossen, sodass in Deutschland eine Netzabdeckung von nahezu 100 Prozent garantiert werden kann. 11.3¹⁸ Prozent der insgesamt 37.412 Mio¹⁹ TV-Haushalte in Deutschland nutzen DVB-T als Empfangsart für ihr Erst- oder Zweitgerät.

Oft wird die Einführung von DVB-T der Öffentlichkeit als großer Erfolg verkauft. Und sicherlich nutzen, im Vergleich zum seinem analogen Vorgänger, wesentlich mehr Konsumenten das neue digitale Antennenfernsehen. Tendenz steigend, auch im Hinblick darauf, dass in den meisten Flachbildfernseher, die auf dem Markt erhältlich sind, bereits ein DVB-T Empfänger eingebaut ist. Doch mangelt es vielerorts an der Programmvielfalt. Während sich die großen überregionalen Programmanbieter, wie unter anderen RTL und ProSieben, in der Einführungsphase von DVB-T noch an dem Projekt beteiligten und in größeren deutschen Städten und Ballungszentren empfangbar sind, müssen sich die meisten DVB-T Nutzer in den eher ländlichen Regionen mit dem Programmangebot der öffentlich-rechtlichen Sender zufrieden geben. Den privaten Sendeanstalten sind die hohen Kosten für die Einspeisung ihrer Programminhalte ein Dorn im Auge, erst recht nachdem die staatliche Förderung seitens der Europäischen Union eingestellt wurde. Und auch das hochauflösende Fernsehen (HDTV) soll es, zumindest mit der ersten Generation des DVB-T Standards, in Deutschland nicht geben.

Die vollständige Digitalisierung der Übertragungswege für das Fernsehen wird, in Anbetracht der Teils „schleichenden“ Umstellung von Kabel und Satellit sicher noch einige Jahre auf sich warten lassen. Deutschland ist im Vergleich der größten und wichtigsten Industriestaaten ,innerhalb der Europäischen Union Schlusslicht²⁰ und wird dies wohl auch bleiben.

18 vgl.: „Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten“, Seite 10

19 Stand: 2009

20 vgl.: „Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten“, Seite 36

4 Gestochen scharfe Bilder: HDTV

Da das Ziel der zweiten Generation der einzelnen DVB-Standards ist, diese digitale Fernsehtechnik für die Zukunft sicher zu entwickeln, kommt man um das Thema HDTV garantiert nicht herum. Und weil es sicher ist, dass das hochauflösendes Fernsehen in einigen Jahren-teilweise auch schon heute-ausschließlich über DVB-X2 übertragen werden wird, möchte ich HDTV an dieser Stelle einmal vorstellen.



Abb.01: HDTV Logo

4.1 Begriffsabgrenzung

HDTV ist die allgemein benutzte Abkürzung für High Definition Television. Es handelt sich also hierbei um hochauflösendes Fernsehen. Beim konventionell auflösenden Fernsehbild, so wie wir es bisher kannten, spricht man von **SDTV** (Standard Definition Television). Die Verwendung des Wortes SDTV ist des öfteren widersprüchlich und führt zu Verwirrungen. Öfters wird es nur im Zusammenhang mit digitalem Fernsehen benutzt.

Beim analogen, herkömmlichen Fernsehen gibt es weltweit drei Normen mit verschiedenen Auflösungen²¹. Dies sind: PAL (Phase Alternation Line), mit 625, davon 576 sichtbaren Zeilen, SECAM (Sequentiel Couleur a Memoire), mit der selben Zeilenanzahl wie bei PAL und NTSC (National Television Systems Comittee) mit 525 Zeilen, davon 486 sichtbar. Die HD-Auflösung (Film und Fernsehen), wird erst ab einer Zeilenanzahl von mindestens 720 definiert. Alle Systeme, die eine Zeilenanzahl von unter 720 aufweisen sind dementsprechend normalauflösend.

²¹ Zur Erklärung des Begriffes: Auflösung, siehe: Glossar

Und da es sich sowohl bei der analogen, als auch bei der digitalen Übertragung des normalauflösenden Fernsehbildes um etwa die gleiche Auflösung handelt und weniger als die bereits erwähnten 720 Zeilen übertragen werden, ist es sicherlich kein Fehler bei beiden Übertragungsverfahren die Bezeichnung Standard Definition Television zu benutzen.

4.2 Die Entwicklung von HDTV

Was viele nicht wissen: HDTV begann mit analoger Technik. Und in Schwarz-Weiß. Denn bereits im Jahr 1940, also noch in den Zeiten des zweiten Weltkrieges betrieb die deutsche Reichspost, zusammen mit der Wehrmacht²², einen Fernsehsender im besetzten Paris, der mit seiner Auflösung, eine Zeilenanzahl von 1029 aufwies. Auch in England gab es in den 1940er/50er Jahren eine Produktionsfirma, die ein 992 Zeilen-System zur Spielfilmproduktion einsetzte. Und in Frankreich brachte es das Fernsehsystem Mitte der 1950er Jahre immerhin auf eine Zeilenanzahl von 819.

HDTV auf breiter Ebene, also von der Produktion, über die Übertragung bis hin zum Zuschauer gab es erstmals Ende der 1970er Jahre in Japan. 1978 begann der staatliche japanische Rundfunksender NHK (Nippon Hoso Kyokai) mit den ersten HDTV-Produktionen. Bald daraufhin wurde mit "MUSE" (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding) ein analoges Kompressions- und Übertragungsverfahren für HDTV-Signale, entwickelt, mit welchem dort 1984 die reguläre analoge HDTV-Ausstrahlung begann. Mit diesem System konnten die Daten bereits auf ein Viertel ihrer ursprünglichen Größe komprimiert werden, was es erlaubte HDTV-Programme auf einen einzigen Satellitenkanal zu übertragen²³.

In Anbetracht der zur damaligen Zeit technischen Überlegenheit der Japaner in Sachen HDTV, sahen sich die USA gezwungen ein eigenes System für hochauflösendes Fernsehen zu entwickeln. Trotz starken politischen Drucks und der Gründung mehrerer Organisationen, die sich mit diesem Thema befassen sollten, gelang es der USA nicht ein eigenes analoges HDTV System zur Marktreife zu bringen²⁴. Da in den 1990er Jahren die "digitale Revolution" begann, konzentrierte man sich im Folgenden lieber auf die Digitalisierung der vorhandenen Übertragungswege.

22 vgl.: „Quo Vadis High Definition?“, Peter C. Slansky, 2001, Seite 425 ff

23 vgl.: „Das Fernsehen im Wandel der Zeit“, Seite 39

24 vgl.: „Das Fernsehen im Wandel der Zeit“, Seite 43 ff

1997 begann die offizielle Ausstrahlung von HD-Produktionen in den USA- und zwar im digitalen Verfahren.

In Europa sah es auch nicht besser aus, als auf dem amerikanischen Kontinent. Hierzulande befasste man sich ebenfalls intensiv mit dem Thema hochauflösendes Fernsehen. Nachdem es bereits in der "Schwarz-Weiß Ära" erste Ansätze zu HDTV gegeben hat, geriet dieses Thema zunehmend in Vergessenheit. In den 1980er Jahren wurde im Rahmen des Eureka-Programms der (damaligen) Europäischen Gemeinschaft, das Projekt "EU96- Compatible High Definition System" aus der Taufe gehoben²⁵. Dabei einigten sich Deutschland und Frankreich 1986 auf eine analoge Fernsehnorm. Daraufhin wurde mit der Entwicklung des HD-MAC (High Definition-Multiplexed Analogue Components)-Systems begonnen, für welches man sich 1989 zum einheitlichen europäischen HDTV-Sendestandard entschied²⁶.

Doch das ganze Projekt scheiterte, nachdem bereits mehrere Millionen Steuergelder ausgegeben waren und die Europäische Gemeinschaft die Fördermittel gestrichen hatte, kläglich. Am Ende stand eine: *"gescheiterte Technologiestrategie."*²⁷ Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zusammenfassend aber seien die drei hauptsächlichen Gründe genannt:

Erstens war die Geräteindustrie nicht in der Lage wohnzimmertaugliche Endgeräte herzustellen.

Zweitens fehlten schlichtweg die zur Distribution (Verteilung) notwendigen Übertragungskanäle und Kapazitäten.

Und drittens wären die Kosten zur damaligen Zeit von der Produktion über die Verteilung, bis hin zum Endverbraucher, einfach zu hoch gewesen.

Dieses Projekt war also von Anfang an zum Scheitern verurteilt. Aus dieser Katastrophe sollten aber alle Beteiligten gelernt haben. Letztendlich wollte man es in Zukunft, bei weiteren gemeinsamen Vorhaben besser machen, was auch gelang. Zunächst also war das Thema HDTV erst einmal vom Tisch. Die ganze Aufmerksamkeit galt ab diesem Zeitpunkt der Digitalisierung der Rundfunk-Übertragungssysteme in Europa. Zu diesem

25 vgl.: „Das Fernsehen im Wandel der Zeit“, Seite 50 ff

26 vgl.: „Quo Vadis High Definition?“, Peter C. Slansky, 2001, Seite 425 ff

27 Zitat: Peter C. Slansky, aus dem Artikel: „Quo Vadis High Definition?“, 2001, Seite 426

Zweck wurde die European Launching Group (ELG) gegründet, aus welcher 1993 das DVB-Projekt hervorging (Siehe Punkt 3.1).

Das einzige Land, wo sich HDTV analog etablieren konnte, war also Japan. In den USA und in Europa scheiterten die Bemühungen dazu. Mittlerweile dominiert auch im "Mutterland" des hochauflösenden Fernsehens die digitale Übertragung. Trotz der damaligen, vergeblichen Anstrengungen, es den Japanern mit einem eigenen analogen System gleichzutun, hat sich die digitale HDTV-Übertragung in den USA rasant entwickelt. Neben Japan gehören die Vereinigten Staaten von Amerika heute zu den zwei Ländern weltweit, wo HDTV auf breiter Ebene bereits seit geraumer Zeit als eingeführt gilt und nahezu alle Rundfunkanstalten, neben SDTV, auch HDTV-Inhalte anbieten. Und auch das Angebot von hochauflösenden Fernsehen wächst dort ständig weiter und erfreut sich zunehmend wachsender Beliebtheit in der Bevölkerung.

In Europa besteht da noch Handlungsbedarf, holt mittlerweile aber stark auf. Nachdem man, nach dem "Analogdesaster", lange Zeit anderen Ländern bei der Einführung und Entwicklung zugesehen hatte, senden auch auf unseren Kontinent immer mehr Programmanbieter in HD. So haben beispielsweise in Deutschland, zum Beginn der Olympischen Winterspiele 2010, die öffentlich- rechtlichen Rundfunkanstalten ARD und ZDF, als letzte, neben den "großen" privaten Sendeanstalten, die HD-Austrahlung in den Regelbetrieb überführt²⁸.

4.3 Technische Parameter

Die Bildschirmgröße der Fernsehapparate richtete sich stets nach dem technisch Machbaren. Begonnen hatte das Fernsehzeitalter in Schwarz-Weiß und relativ kleinen Bildschirmen, mit Diagonalen um die 50 cm. Mittlerweile befinden wir uns im digitalen Zeitalter und auch die Bildschirmgrößen wachsen ständig weiter, natürlich parallel zu dem technischen Verständnis der Menschen auf unserem Globus. SDTV reicht da längst nicht mehr aus, ein besser auflösendes Bild, mit wesentlich mehr Bildpunkten, musste her. Mit HDTV ist es möglich die gestiegenen Anforderungen an die Bildqualität des größeren Bildschirms wesentlich zu erfüllen.

Dabei kann man mit einer HD-Auflösung bis zu 5 mal mehr Bildpunkte auf dem Display

²⁸ vgl.: „ARD und ZDF starten HD-Programme“, www.test.de

darstellen, als mit einer SD-Auflösung. Während bei SDTV, bei einer Auflösung von 576 Zeilen und 720 Bildpunkten pro Zeile, insgesamt 414.720 Bildpunkte übertragen werden, sind es bei der maximalen Auflösung von HD (Erklärung folgt) bereits 2.073.600, also weit über 2 Millionen. Bilder können so wesentlich schärfer und detailreicher dargestellt werden und der Zuschauer kann seinen Betrachtungsabstand zum Fernseher entscheidend verringern, ohne die einzelnen Pixel wahrzunehmen zu müssen²⁹. Wo bei normaler Auflösung ein idealer Betrachtungsabstand von 5 mal der Bildschirmhöhe erreicht wird, empfiehlt die ITU (International Telecommunication Union) bei High Definition einen Betrachtungsabstand von nur noch 3 mal der Bildschirmhöhe³⁰.

4.3.1 Auflösung.

Die internationale Vereinigung SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers), unterscheidet beim hochauflösenden Fernsehen mittlerweile nur noch diese zwei Auflösungsvarianten:

Variante 1:

1280 x 720

720 Zeilen pro Bild x **1280** Bildpunkte pro Zeile.

Dies entspricht einer Gesamtauflösung von 921.600 Bildpunkten (BP).

Variante 2:

1920 x 1080

1080 Zeilen pro Bild x **1920** Bildpunkte pro Zeile.

Dies entspricht der (momentan) maximalen Gesamtauflösung von HD, mit insgesamt 2.073.600 Millionen Bildpunkten.

²⁹ In Abhängigkeit zum Sehvermögen des einzelnen Zuschauers

³⁰ vgl.: Folien von Professor Götz, „HDTV“, HS Mittweida, Vorlesung, WS 2008/09, Seite 56

Die folgenden zwei Abbildungen sollen einmal optisch den Unterschied zwischen SD und HD verdeutlichen. Bei Abbildung 2 handelt es sich um die Darstellung eines Fisches in normaler Standard Definition-Auflösung. Bei Abbildung 3 hingegen wird der Fisch mit einer vierfach höheren, High Definition-Auflösung, dargestellt. Dabei stellt ein Quadrat einen Bildpunkt dar. Deutlich zu erkennen ist, dass der „HD-Fisch“ in Abbildung 3, eine weitaus feinere Struktur aufweist, als der „SD-Fisch“ in Abbildung 2.

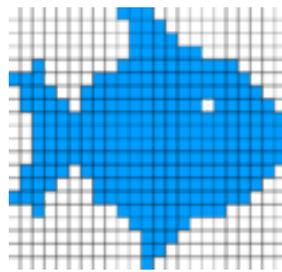


Abb.02: SD-Fisch

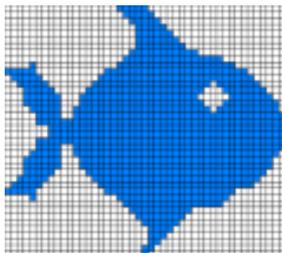


Abb.03: HD-Fisch

4.3.2 Bildwiederholfrequenz und Abtastung.

Bei Bewegtbildern macht man sich die Schwächen des menschlichen Auges zu Nutze. Bewegte Bilder, also Videoaufnahmen, sind nichts weiter als die Aneinanderreihung von einzelnen Bildern. Und weil das menschliche Auge eher träge ist entsteht, ab einer bestimmten Bildwiederholfrequenz, für den Zuschauer der Eindruck einer fließenden Bewegung.

Die **Bildwiederholfrequenz** beschreibt also, genau wie der Name es vermuten lässt, die Häufigkeit, in der eine entsprechende Anzahl von Bildern innerhalb einer Zeiteinheit wiedergegeben wird. Die Zeiteinheit beträgt in diesem Fall eine Sekunde. Idealerweise

ist die Bildwiederholffrequenz gleich der Frequenz des jeweiligen Wechselstromnetzes. In Europa beispielsweise sind dies 50 Hz, in den USA 60 Hz.

Nun spielt bei dieser Betrachtung auch das Abtastverfahren eine wichtige Rolle. Die **Abtastung** beschreibt das Verfahren, mit welchem ein Bild auf der Aufnahmeseite (Kamera), also der Signalquelle, abgetastet und nach der Übermittlung via Übertragungskanal mit der selben Methode auf der Empfängerseite (Bildschirm), also der Signalsenke, wiedergegeben wird. Auf Empfängerseite spricht man deshalb auch vom Bildaufbauverfahren.

Hierzu unterscheidet man diese zwei Methoden:

Methode 1:

interlaced scan (i)

Das Zeilensprungverfahren, in welchem jeweils zwei Halbbilder übertragen werden die ineinander verkämmt sind³¹. Zuerst werden die ungeraden, danach die geraden Zeilen abgetastet, übertragen und auf dem Bildschirm wiedergegeben.

Methode 2:

progressive scan (p)

Beim Vollbildverfahren wird das ganze Bild gleichzeitig abgetastet, übertragen und wiedergegeben.

Das Zeilensprungverfahren hat etliche Nachteile die ich hier nicht näher erläutern möchte. Fakt ist aber, dass dieses Verfahren genau so alt ist wie das Fernsehen selbst. Auch damals schon, musste man wegen begrenzter Übertragungskapazitäten Kompromisse eingehen. Mit dem Zeilensprungverfahren, wo die zwei Halbbilder jeweils nacheinander übertragen werden, wurde weniger Bandbreite benötigt, als im Vollbildmodus und ein Verfahren gefunden was den damaligen Ansprüchen an eine einigermaßen befriedigende Bildqualität entsprach. Durch die neuen digitalen Möglichkeiten und Übertragungsstandards ist es nun auch möglich Vollbilder zu übertragen, ohne dafür allzuviel Bandbreite in Anspruch zu nehmen.

31 vgl.: Folien von Professor Götz, „HDTV“, HS Mittweida, Vorlesung, WS 2008/09, Seite 40

Wenn man die beiden Parameter, Bildwiederholfrequenz und Abtastung zusammenfasst, gelangen wir zu mehreren Optionen. Beim analogen SDTV, egal ob bei PAL, SECAM oder NTSC, wird auch heute noch das Bild in Zeilensprungverfahren übertragen. Das bedeutet, das zum Beispiel in Europa (PAL, SECAM), bei einer Frequenz im Wechselstromnetz von 50 Hz, 50 Halbbilder pro Sekunde übertragen werden. Zusammen sind das dann 25 Vollbilder innerhalb einer Sekunde. Man spricht dann von „i25.“

Da man bei den digitalen Verfahren von SD- und HDTV bedeutend bessere Möglichkeiten zur Datenreduktion hat, als bei der Analogtechnik, gewinnt die Vollbilddarstellung zusehens an Bedeutung. Bei einer Wechselstromfrequenz von 50 Hz, wären dies 50 Vollbilder pro Sekunde. Hier spricht man von „p50.“

4.3.3 Nomenklatur.

Alle drei Parameter, wie Auflösung, Bildwiederholfrequenz und Abtastung, bzw. Bildaufbauverfahren werden in einer sogenannten Nomenklatur³² zusammengefasst.

Diese gliedert sich wie folgt:

Zeilenanzahl + Abtastung + Bildwiederholfrequenz

Dabei werden die Bildpunkte pro Zeile nicht berücksichtigt.

Beispiele:

Für die HD-Auflösung von 1920 x 1080 Bildpunkten und 50 Halbbildern pro Sekunde ergibt sich folgende Nomenklatur:

1080i/25

Für die zweite HD-Auflösungsvariante mit 1280 x 720 Bildpunkten und 50 Vollbildern pro Sekunde sieht die Nomenklatur wie folgt aus:

720p/50

³² Zur Erklärung des Begriffes: Nomenklatur, siehe: Glossar

Um Missverständnissen und einer falschen Deutung der Nomenklatur vorzubeugen, hat die europäische Rundfunkvereinigung EBU (European Broadcasting Union) für Europa festgelegt, dass sich die Angabe der Bildwiederholffrequenz (auch im Zeilensprungverfahren) auf die tatsächliche Anzahl der Vollbilder pro Sekunde bezieht.

4.3.4 Bildseitenverhältnis.

HDTV wird, unabhängig von der Abtastung und der Bildwiederholffrequenz, immer mit einem Bildseitenverhältnis von 16:9 übertragen.

Das Bildseitenverhältnis beschreibt dabei das Verhältnis zwischen Bildbreite und Bildhöhe. Anders als beim „alten“ Bildseitenverhältnis von 4:3, kommt 16:9 den Sehgewohnheiten des menschlichen Auges näher, da der Mensch mit 180 Grad horizontal einen viel größeren Blickwinkel besitzt, als mit 110 Grad vertikal³³.

In Analogie zur Auflösung besteht das Pixelseitenverhältnis (Verhältnis zwischen Pixelbreite- und Höhe) deshalb stets 1:1. Man spricht deshalb auch von quadratischen Pixeln. Denn HDTV hat, egal bei welcher Auflösungsvariante, immer mehr Bildpunkte horizontal als vertikal. Auch analoges, sowie digitales SDTV wird bereits hauptsächlich in „Breitbild“ gesendet. Doch anders als bei HDTV müssen dort die Bildpunkte in ihrer Geometrie verändert werden, weil die Auflösung wie beim Bildseitenverhältnis von 4:3, die Gleiche bleibt.

4.4 Zusammenfassung

HDTV ist keine einheitliche Norm. Vielmehr gibt es, je nach Land und Einsatzsituation, die unterschiedlichsten Kombinationen der zuvor beschriebenen Parameter.

Um ein Formatwirrwarr zu vermeiden, empfiehlt die EBU für Europa diese vier Kombinationen³⁴:

33 vgl.: Folien von Professor Götz, „HDTV“, HS Mittweida, Vorlesung, WS 2008/09, Seite 30

34 vgl.: EBU-TECH 3299, „High Definition Image Formats for Television Production“, Januar 2010

	System 1	System 2	System 3	System 4
Nomenklatur	720p/50	1080i/25	1080p/25	1080p/50
Auflösung	1280 x 720	1920 x 1080	1920 x 1080	1920 x 1080
Bildwiederhol- frequenz	50	25	25	50
Abtastung	progressiv	interlaced	progressiv	progressiv
Bildseiten- verhältnis	16:9	16:9	16:9	16:9

Tabelle 01: Die von der EBU empfohlenen HDTV-Systeme

In der EBU Route Map "EBU-Tech 3298" wird von der EBU ein dreistufiges Einstiegsszenario vorgestellt. Dabei wird empfohlen mit System 1 zu beginnen und erst viel später, in Stufe 3, System 4 anzuwenden³⁵. Einer der entscheidenden Gründe hierfür ist die weitaus größere Datenmenge von 1080p/50. Im Vergleich zu 720p/50 wird hierfür, in dem entsprechenden Übertragungskanal, die nahezu doppelte Bandbreite benötigt.

Auch im Vergleich zu 1080i/25 hat 720p/50 in mehreren unabhängigen Tests³⁶ besser abgeschnitten. Besonders bei schnelleren Bewegungen, wo das Bild dadurch flüssiger und schärfer wirkt spielt die Vollbilddarstellung klar ihre Vorteile aus. Zwar kann mit 1080i/25, also mit 1920 x 1080 Bildpunkten, ein wesentlich detailreicheres Bild dargestellt werden, doch gerade das Zeilensprungverfahren ist bei den meisten Anbietern von HDTV-Inhalten im Grunde genommen nicht mehr erwünscht. So arbeiten moderne Flachbildschirme nur ausschließlich progressiv, also mit Vollbildverarbeitung. Bei der Zeilensprungmethode müssten die Signale durch das sogenannte Deinterlaced-Verfahren³⁷ "entflochten" werden, was mit zusätzlichem Rechenaufwand und eindeutigen Qualitätsverlusten verbunden wäre.

Besonders im internationalen Programmaustausch ist das "Formatchaos" nicht gerade von Vorteil. Ein Beispiel: Die öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten ARD³⁸ und ZDF³⁹ senden ihr hochauflösendes Programm, gemäß der Empfehlung der EBU, mit 720p/50.

35 vgl.: „HDTV Standards für Europa“, www.schnittpunkt.de

36 vgl.: "HD-FAQs" ARD, www.ard.de

37 Zur Erklärung des Begriffes: Deinterlacing, siehe: Glossar

38 vgl.: "HD-FAQs" ARD, www.ard.de

39 vgl.: „Glossar HDTV“ vom ZDF, www.unternehmen.zdf.de

Große internationale Sportveranstaltungen werden aber von einer zentralen Produktionsfirma ausschließlich mit 1080i/25 aufgezeichnet und die Inhalte den Sendern zugeliefert. Im Falle von ARD und ZDF muss so das Signal aufwendig heruntergerechnet werden. Wenn man dazu noch ein Display mit "FULL HD"-Auflösung (1920 x 1080 Bildpunkte) besitzt, muss im Fernseher zusätzlich das Bild wieder durch rechenintensive Schritte hochskaliert, also in die höhere Auflösung hochgerechnet werden. Und bei jedem Rechenvorgang, bzw. bei jeder Umwandlung kommt es zu Qualitätsverlusten. Kommt nun noch das zuvor beschriebene Deinterlacing am Wiedergabegerät hinzu, ist mit weiteren Qualitätseinbußen zu rechnen. Dabei ist es ein Leichtes sich auszumalen, dass im Vergleich zum ursprünglichen Bild, die Bildqualität auf dem Bildschirm um ein Vielfaches schlechter sein muss.

Man sieht also, dass beim hochauflösenden Fernsehen noch großer Handlungsbedarf besteht. Viel zuviele Kombinationen der technischen Parameter und eine große Uneinigkeit zwischen Produktion und Inhalteanbietern prägen die Gegenwart von HDTV. Gerade im Hinblick auf den zunehmenden weltweiten Programmaustausch, wäre ein einheitliches Austausch- und Sendeformat von großem Vorteil, um die Qualitätsverluste beim Bild in Grenzen zu halten.

Allerdings müssen die Sendeanstalten auch Kompromisse eingehen, da die Kapazitäten der Übertragungskanäle stark begrenzt sind. Die momentan noch angewendeten Technologien zur Komprimierung des Datenvolumens, innerhalb der Quellencodierung von DVB, sind für System 4, also für 1920 x 1080 Bildpunkten und mit 50 Vollbildern pro Sekunde, einfach noch nicht ausreichend. Besonders mit Augenmerk auf die von den Zuschauern in der heutigen Zeit geforderte Programmvierfalt, die ja im digitalen „SD-Bereich“ bereits vorhanden ist und stark schrumpft, wenn aktuell schon mit 1080p/50 gesendet werden würde.

5 Die drei wichtigsten DVB-Verbreitungswege und Standards im Überblick

Das DVB-Projekt hat im Laufe der Jahre, also seit 1993 und bis heute schon viele neue Entwicklungen und Spezifikationen hervorgebracht. Die Technik ist ausgereift und hat ihren Siegeszug um den Erdball schon seit längeren angetreten. Neben DVB gibt es weltweit auch noch drei andere Systeme für das digitale Fernsehen. Dies sind ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), entwickelt in Japan, das amerikanische ATSC (Advanced Television Systems Committee)-System und DMB (Digital Multimedia Broadcasting), eine Entwicklung aus Deutschland. Doch DVB ist das bei weitem Erfolgreichste, wohl auch deshalb weil es sich beim DVB-Projekt um ein Industriekonsortium handelt, dem unter anderen Unternehmen und Organisationen aus allen Teilen dieser Welt angehören.

In dem folgenden Kapitel möchte ich die einzelnen DVB-Standards für die wichtigsten Verbreitungswege, mit ihren wichtigsten Parametern, vorstellen.

5.1 DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)

Bei DVB-S, für die digitale Satellitenübertragung, handelt es sich um den ältesten entwickelten Übertragungsstandard innerhalb des DVB-Projektes.

Im anfänglichen Mittelpunkt der Einführungsstrategie von DVB stand erst einmal die digitale Übertragung von Programminhalten über diesen Verbreitungsweg⁴⁰. Vor allem lag dies daran, dass zum Anfang des Projektes die Satellitenbetreiber und Anbieter von Bezahlfernsehangeboten einen sehr starken Nutzen darin sahen, endlich mit der digitalen Ausstrahlung von Programminhalten zu beginnen. Die Anfänge dieser Bemühungen reichen bis in das Jahr 1996 zurück, als der Satellit "ASTRA 1E" auf der Orbitalposition 19,2 Grad Ost mit der digitalen Übertragung begann.

DVB über den Satelliten ist der bei weitem meistgenutzteste Standard innerhalb der DVB Familie. Bei dieser Verbreitungsart werden, dank der möglichen hohen Datenübertragungsraten, die meisten Fernseh- aber auch Hörfunkprogramme, sowie

40 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 19

Zusatzdienste übertragen.

5.1.1 Nutzeranforderungen.

Die technischen Anforderungen an den Übertragungskanal und die Nutzeranforderungen stellen den allgemeinen Rahmen für die Definition des DVB-Satellitenstandards dar⁴¹. Im Folgenden möchte ich mich hier auf die Anforderungen für den Nutzer, also den Endverbraucher konzentrieren und diese darstellen.

1. Für die Fernsehübertragung, sowie weitere digitale Dienste, werden hohe Übertragungsraten gefordert.
2. Verschiedene Dienste sollen mit unterschiedlichen Datenraten genutzt und dynamisch angepasst werden. Auf eine flexible Nutzung der vorhandenen Übertragungskapazität soll großen Wert gelegt werden.
3. Der Fehlerschutz soll bezüglich seiner Qualität flexibel an die unterschiedlichsten Erfordernisse angepasst werden können.
4. Der Durchmesser für den Reflektor der Empfangsantenne (Parabolantenne) soll möglichst klein gewählt werden können. Die Empfangsantenne soll außerdem unauffällig an Häusern montierbar sein und die gesamte Satellitenempfangsanlage nicht allzuviel kosten, damit sich auch jeder potenzielle Nutzer diese leisten kann.

Die meisten der selbst definierten Nutzeranforderungen konnten erfüllt und in die Spezifikation umgesetzt werden. Besonders die Möglichkeit der flexiblen Nutzung der Datenrate und die Tatsache diese für verschiedene Dienste hoch wählen zu können, machen diesen Verbreitungsweg zu einer starken Konkurrenz für DVB-C und DVB-T.

Ein weiterer großer Vorteil von DVB-S ist, dass man mit einer einmaligen Investition in eine Satellitenempfangsanlage Zugriff auf eine schier unendliche Anzahl an frei empfangbaren Programmen hat⁴², ohne das einen dafür weitere Kosten wie beispielsweise beim digitalen Kabelstandard entstehen.

41 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 236

42 vgl.: „Direktempfang Sat-TV“, <http://www.eutelsat.de/>

5.1.2 Empfangssituation.

Im Gegensatz zu seinen Verwandten DVB-C und DVB-T benötigt DVB-S keine zusätzliche Infrastruktur, wie unter anderen ein Kabelnetz oder ein terrestrisches Sendernetz und bietet somit auch in besonders abgelegenen Gebieten eine qualitativ guten Rundfunkempfang. Es gibt mittlerweile auch Satellitenempfangsantennen die eine automatische Nachführung zu einem entsprechenden Satelliten ermöglichen. So ist es möglich Satellitenfernsehen mobil, beispielsweise in einem Caravan, im Bus oder auch im Flugzeug zu empfangen.

Für den Empfang von DVB-S benötigt man eine Satellitenempfangsanlage. Diese besteht aus einer Parabolantenne nebst Wandhalterung, einem LNB (Low Noise Block Converter)⁴³, einem Koaxialkabel zur Weiterführung der Satellitensignale und einem Receiver (Empfangsgerät). Falls der Endverbraucher bereits über eine analoge Satellitenempfangsanlage verfügt und auf den digitalen Satellitenstandard umstellen möchte, können dafür wesentliche Teile der alten Anlage weiter verwendet werden. Lediglich das analoge LNB und der Receiver müssen dazu ausgetauscht werden, da diese die digitalen Signale nicht verarbeiten können.

Die Ausrichtung der Empfangsantenne erfolgt immer direkt auf den Satelliten. Informationen, welche Programme mit welchem Satelliten empfangbar sind, gibt es beim entsprechenden Satellitenbetreiber. Marktführer für den Direktempfang von Rundfunkinhalten in die Haushalte ist in Europa und Nordafrika Astra. Aber auch Eutelsat, als direkter Konkurrent zu Astra, wäre hier zu nennen.

Durch die direkte Ausrichtung der Parabolantenne auf einen Satelliten gibt es beim digitalen Satellitenfernsehen keine Probleme mit, zum Beispiel mehreren Signalen, die zu unterschiedlichen Zeiten am Empfangsort eintreffen und sich gegebenenfalls negativ beeinflussen. Dennoch ist dieser Übertragungskanal sehr störanfällig gegenüber äußeren Einflüssen. Besonders verschiedene Wetterereignisse sind als Störfaktor bekannt. So kann es unter anderen bei starken Schneefall, Regen und dichten Wolken passieren, dass das Satellitensignal grob verfälscht oder garnicht den Empfänger erreicht. Wo bei analogem Satellitenfernsehen dadurch starkes Bildrauschen auf dem Monitor verursacht wurde, fällt beim digitalem DVB-S gleich das ganze Bild aus.

⁴³ Zur Erklärung des Begriffes: LNB, siehe: Glossar

Die Satelliten können bidirektional, also in beide Richtungen genutzt werden. Hier unterscheidet man in die Richtungen vom Satelliten zur Antenne (Downlink) und von der Antenne zum Satelliten (Uplink). Da DVB-S damit also über einen entsprechenden Rückkanal, vom Empfänger zum Sender verfügt, ist es hervorragend für neue interaktive Zusatzdienste, wie unter anderen der MHP (Multimedia Home Plattform) geeignet.

Satelliten für die Ausstrahlung von Rundfunksignalen befinden sich im geostationären Orbit, also in einer Umlaufbahn von ca. 36.000 Km über dem Äquator. Geostationär bedeutet, dass sich die Satelliten mit einer Winkelgeschwindigkeit von einer Erdumdrehung pro Tag bewegen. Im Idealfall befinden sich diese also immer an ein und demselben Punkt über der Erde. Abweichungen von dieser Position, verursacht zum Beispiel durch Sonnenwinde oder wegen des nicht ganz gleichmäßigen Erdgravitationsfeldes, werden mit Hilfe von Steuerdüsen ausgeglichen. Der begrenzte Treibstoffvorrat dieser Düsen definiert im Grunde die Lebensdauer eines solchen Satelliten. Die Energieversorgung für den laufenden Betrieb geschieht über Solarzellen. Diese liefern während der Tageszeiten permanent Energie. In der Nacht erfolgt die Energieeinspeisung über eingebaute Batterien. Die Leistungsaufnahme der Solarzellen ist doch relativ gering. Daher muss ein Satellitenkanal, zumindest in Downlink-Richtung, als ein stark leistungsbegrenzter Kanal angesehen werden.

Antennendurchmesser.

Je nach Ausleuchtzone der einzelnen Satelliten und dem entsprechenden Standort der Satellitenempfangsantenne muss dementsprechend der Durchmesser für die Parabolantenne gewählt werden, umso-natürlich auch abhängig zur jeweiligen Wetter-situation- einen qualitativ einwandfreien Empfang gewährleisten zu können.

Astra beispielsweise empfiehlt für den größten Teil Europas einen Antennendurchmesser von mindestens 60 cm⁴⁴. Je nachdem in welcher Zone man sich befindet, sollte man so die Größe der Empfangsantenne anpassen. Die Abbildung 4 verdeutlicht dies anschaulich.

44 vgl.: „Ausleuchtzonen der Rundfunksatelliten in Europa“, www.astra.de

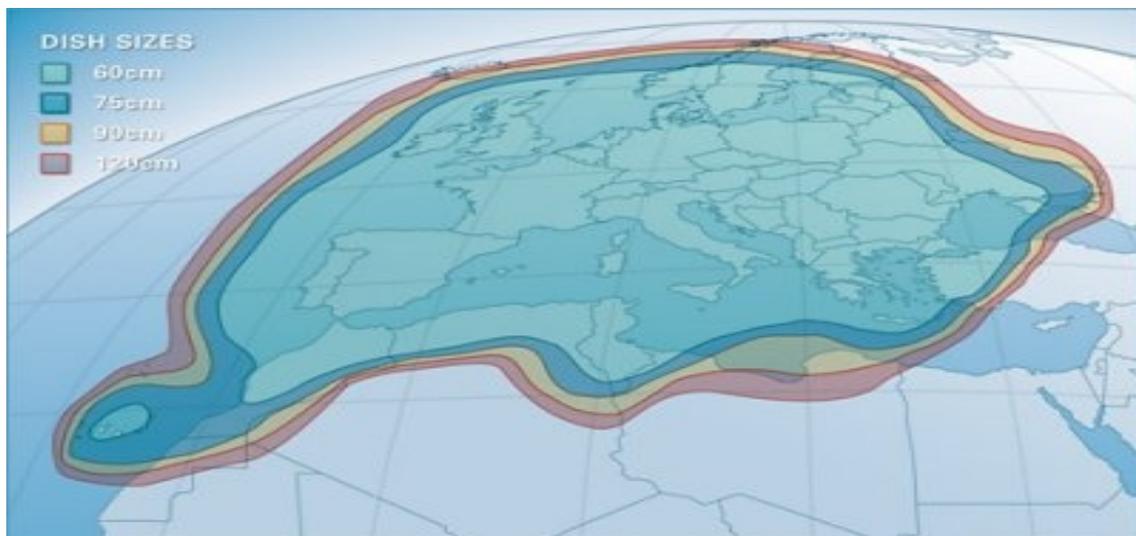


Abb.04: Ausleuchtzonen in Europa und die dafür empfohlenen Durchmesser von Parabolantennen

Der benötigte Antennendurchmesser kann auch mit Hilfe mehrerer technischer Parameter ermittelt werden⁴⁵. So sollte beispielsweise bei einer Systemauslegung mit einer Coderate⁴⁶ von $R=2/3$, einer Bandbreite von 26 MHz, einer Datenübertragungsrate von 25,2 MBit/s und einer Service-Zuverlässigkeit von 99,99 Prozent⁴⁷, der Durchmesser der "Schüssel" mindestens 61 cm betragen. Bei einer anderen Systemauslegung mit der Coderate 5/6, einer Bandbreite von 54 MHz, einer Datenübertragungsrate von 65,3 MBit/s und ebenfalls einer Service-Zuverlässigkeit von 99,99 Prozent, muss der Antennendurchmesser bereits mit mindestens 111 cm bemessen sein.

Beim digitalen Satellitenstandard DVB-S gilt in jedem Fall: Umso kleiner die Empfangsantenne, desto kleiner ist auch die jeweilige Empfangsleistung, desto geringer ist der Störabstand⁴⁸, auch Signal-Rausch Verhältnis genannt, und umgedreht.

45 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 249 ff

46 Zur Erklärung des Begriffes: Coderate, siehe: Glossar

47 Zur Erklärung des Begriffes: Service-Zuverlässigkeit, siehe: Glossar

48 Zur Erklärung des Begriffes: Störabstand, siehe: Glossar

5.1.3 Technik.

5.1.3.1 Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.

Nachdem die Quellencodierung durchgeführt wurde, steht ein nach dem MPEG-2⁴⁹ Transportstrom strukturiertes Basisbandsignal zur Verfügung, welches zur weiteren Verarbeitung innerhalb der Kanalcodierung den Gegebenheiten des Satelliten-Übertragungskanal, mittels Modulation und Fehlerschutzcodierung, angepasst wird. Die Übertragung der Daten zum Empfänger erfolgt im Multiplexverfahren⁵⁰.

Der MPEG-2 Transport Stream, als für die DVB-Übertragung optimiertes Containerformat, gliedert sich in einzelne Pakete (Frames), mit einer Länge von jeweils 188 Bytes⁵¹. Die ersten vier Bytes bilden immer den sogenannten Header. Dabei steht das erste Byte innerhalb des Headers immer für die Synchronisationszwecke (SyncByte) zur Verfügung. Dieses Synchronisationsbyte hat bei der Decodierung auf Empfängerseite und innerhalb des SyncByte Detectors die Aufgabe, die Unterteilung des Datenstroms in MPEG-2 Transportstrom Pakete, sowie die 8 Paket-Struktur für die Energieverwischung (Siehe Punkt 5.1.3.3) zu erkennen.

Eine Ressource, die beim Satellitenrundfunk reichlich vorhanden ist, ist die Bandbreite. Rundfunksatelliten senden in den Frequenzbereichen von 10,7 GHz bis 12,75 GHz. In naher Zukunft vermutlich dann auch mit 21,4 GHz bis 22,0 GHz. Damit haben Satelliten wesentlich mehr Bandbreite zur Verfügung, als beispielsweise ein terrestrischer DVB-T-Sender.

Die theoretisch möglichen Nettodatenraten variieren in Abhängigkeit zur Bandbreite des Transponders und der Coderate. So liegt die kleinste Datenrate bei 18,9 MBit/s. Dafür benötigt man eine Transponderbandbreite von 26 MHz und eine Coderate von $\frac{1}{2}$. Bei einer eingesetzten Coderate von $\frac{7}{8}$ und einer Bandbreite des Transponders von 54 MHz, kommt man auf die höchste einsetzbare Nettodatenrate von 68,5 MBit/s. Die eigentliche Nutzdatenrate liegt immer etwas unterhalb der Nettodatenrate. Astra und Eutelsat beispielsweise nutzen zur Abstrahlung der DVB-S Signale, Transponder mit einer Bandbreite von 36 MHz und eine Coderate von zumeist $\frac{3}{4}$. So wird eine reale

49 Zur Erklärung des Begriffes: MPEG 2, siehe: Glossar

50 Zur Erklärung des Begriffes: Multiplex, siehe: Glossar

51 Zur Erklärung des Begriffes: Byte, siehe: Glossar

Nutzdatenrate von 38,01 MBit/s erreicht⁵².

5.1.3.2 Sendetechnik.

Signale, die mit Hilfe von DVB-S zu übertragen sind, werden auf die einzelnen Transponder, die sich am Satelliten befinden, verteilt. Ein Transponder ist in diesem Zusammenhang der Übertragungskanal zwischen den Empfangs- und Sendeantennen des jeweiligen Satelliten. Dem Transponder wird ein bestimmter Frequenzbereich zugewiesen, der üblicherweise im Megahertzbereich liegt⁵³.

Die empfangenen Uplink-Signale der Bodenstation (zum Beispiel ein Fernsehprogrammanbieter) werden zunächst gemeinsam einen Bandpass zugeführt, der die für diesen Satelliten bestimmten Frequenzbereiche herausfiltert. Nach einer Vorverstärkung werden die Signale auf die jeweiligen Downlinkfrequenzbereiche gemischt. Danach erfolgt eine weitere Verstärkung und anschließend wird das breitbandige Signal durch Bandpässe in die einzelnen Frequenzbereiche aufgeteilt, von denen jeder einer Wanderfeldröhre⁵⁴ zugeführt wird. Diese ist ein Leistungsverstärker, mit einer nicht linearen Kennlinie. Will man aber die Leistung der Röhre voll ausnutzen, muss man diese Tatsache in Kauf nehmen, dass es bei einer digitalen Amplitudenmodulation wie der QAM (Quadrature Amplitude Modulation) zu starken Signalverzerrungen kommen kann. Dies führte automatisch zu der Überlegung bei DVB-S innerhalb der Kanalcodierung eine digitale Einträger-Phasenmodulation, wie die QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) anzuwenden.

Am Ausgang des Leistungsverstärkers wird das Signal eines jeden Transponders noch einmal gefiltert. Anschließend werden die einzelnen Transpondersignale des Satelliten in einem Multiplex gebündelt und der Sendeantenne für den gemeinsamen Downlink in Richtung Erde zugeführt.

5.1.3.3 Energieverwischung.

Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Leistung eines digitalen

52 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 247/248

53 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 230

54 Zur Erklärung des Begriffes: Wanderfeldröhre, siehe: Glossar

Fernsehsignals innerhalb der bereitgestellten Transponderbandbreite gleichmäßig verteilt ist. Bei längerer Nullfolge konzentriert sich die Leistung bei einer QPSK-Modulation auf die Trägerfrequenz. Eine Leistungsspitze im Spektrum kann aber eine Störung des Empfangs der Kanäle benachbarter Satelliten hervorrufen, wenn diese im gleichen Frequenzbereich senden und die Richtcharakteristik⁵⁵ der Empfangsantenne auf der Erde nicht "schmal" genug ist. Daher wird stets ein möglichst gleichmäßiges Leistungsspektrum des modulierten Signals angestrebt⁵⁶.

Beim analogen SDTV, wo dieser Effekt der Leistungsdichtekonzentration ebenfalls auftritt, erreicht man diese Energieverwischung durch eine zusätzliche Frequenzmodulation des Trägers mit einem Dreiecksignal. Um Interferenzen mit dem Bildsignal zu vermeiden, wählt man dafür bei der PAL-Übertragung (50 Halbbilder/s) eine Grundfrequenz von 25 Hz. Der Träger "pendelt" stetig zwischen zwei Ruhefrequenzen, im Abstand von 1 MHz und sorgt so für eine gleichmäßige Verteilung der Leistung.

Bei DVB-S findet die Energieverwischung bereits auf der Ebene des Codes statt. Das Energy Dispersal Scrambling-Verfahren sorgt dafür, dass der Datenstrom eine scheinbar zufällige Struktur erhält, die zu einer annähernden Gleichverteilung der Leistung führt. Dabei werden die Signale bitweise mit dem Ausgabestrom eines sogenannten Pseudozufallsgenerators über eine Modulo-2-Addition verknüpft. Dieser Zufallsgenerator wird durch ein rückgekoppeltes Schieberegister realisiert, das zu Beginn jedes achten Frames (Paket) mit einem festgelegten Bitmuster neu initialisiert wird.

5.1.3.4 Fehlerkorrektur.

Auf die Energieverwischung folgt die Fehlerschutzcodierung. Aufgrund des störanfälligen Übertragungskanals, unter anderen wegen unterschiedlichen Wittersituationen oder des Rauschens⁵⁷, kann es bei DVB-S zu groben Signalverfälschungen kommen. Deshalb ist hier eine gute Fehlerkorrektur notwendig, um die negativen Signalbeeinflussungen in Grenzen zu halten.

55 Zur Erklärung des Begriffes: Richtcharakteristik, siehe: Glossar

56 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 233/237

57 Zur Erklärung des Begriffes: Rauschen, siehe: Glossar

Bei der im Rundfunk angewendeten Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC-Forward Error Correction) wird dem Signal noch vor der Übertragung Redundanz⁵⁸ hinzugefügt. Mit diesen zusätzlichen und so mehrfach vorhandenen Daten können Fehler während der Übertragung erkannt und anschließend korrigiert werden. So soll im Decoder auf der Empfängerseite ein fast fehlerfreies Signal (QEF-Quasi Error Free) rekonstruiert werden können. Die Bitfehlerhäufigkeit (BER-Bit Error Rate) soll dadurch bei weniger als einem Fehler pro Sendestunde liegen⁵⁹.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Fehlern, die im Datenstrom, nach der Übertragung, auftreten können. Das sind zum einen der einzelne Bitfehler und zum anderen der Bündelfehler, in welchem gleich eine ganze Gruppe von Bits⁶⁰ verfälscht sein können.

Durch einen verketteten Fehlerschutz sollen die Vorteile von Block- und Faltungscodes miteinander kombiniert werden, um dadurch eine möglichst vollständige und korrekte Fehlerbeseitigung garantieren zu können.

äußerer Fehlerschutz.

Für den ersten Teil des Fehlerschutzes wird bei der Kodierung vor der Übertragung der blockorientierte Reed Solomon Code benutzt. Dieser ist deswegen der äußere Fehlerschutz, weil er im Encoder als allererster auf das Signal angewendet wird und weil er als Blockcode ganze Symbole verarbeitet. Die Bezeichnung für diesen Code lautet RS (204,188)⁶¹. Dabei werden jedem Paket des Transportstromes zusätzlich insgesamt 16 Fehlerschutzbytes hinzugefügt. Die Länge der Datenblöcke erhöht sich damit von bisher 188 Bytes auf 204 Bytes. In einer komplizierten Rechenabfolge mit "Galois Feldern" (Galois Field) können dann mit den zusätzlichen Bytes insgesamt 8 fehlerhafte Bytes im originalen Paket korrigiert werden. Diese Fehlerschutzvariante ist dadurch eine sehr leistungsfähige Methode, einzelne Bitfehler in den Symbolen zu erkennen und letztendlich wieder in den Originalzustand zu berichtigen.

58 Zur Erklärung des Begriffes: Redundanz, siehe: Glossar

59 vgl.: „Neue Perspektiven für das digitale terrestrische Fernsehen“, Seite 15

60 Zur Erklärung des Begriffes: Bit, siehe: Glossar

61 RS→ Reed Solomon Code; (204;188)→ 188 Bytes Paketlänge+16 Bytes für Fehlerschutz

Damit sich die Wirkung des Reed Solomon Codes noch verbessert, wird im Kanalencoder anschließend ein **äußeres Interleaving** (zu deutsch: Verschachtelung) der Bytes durchgeführt. Der Interleaver ist als Faltunginterleaver mit einer Interleavingtiefe von $I=12$ ausgelegt. Dabei werden die einzelnen Symbole des MPEG 2 Transportstrompaketes durch schrittweise Verzögerung für die Übertragung völlig neu sortiert und quasi zerstreut. Zusammen mit der Basisverzögerung von $M=17$, mal der Interleavingtiefe, ergibt sich eine Verarbeitungslänge des Interleavers von 204 Bytes. Dies ist der Mindestabstand den ursprünglich benachbarte Bytes im daraus resultierenden Datenstrom auseinander liegen. Wenn also bei der Übertragung im Signal ein Bündelfehler auftritt, kann dieser durch die anschließende Rücksortierung auf Empfängerseite auf einzelne Bitfehler zurückgeführt werden⁶². Diese lassen sich durch den Reed Solomon Fehlerschutz dann wieder leichter korrigieren.

innerer Fehlerschutz.

Auf die korrekten Bitfolgen der Transportstromblöcke wird dann ein punktierter Faltungscodiercode⁶³ nach Viterbi, als innerer Fehlerschutz, angewendet. Ziel dieses Codes ist die "Verschmierung" der Informationen einzelner Eingangsbits auf mehrere Ausgangsbits. Um die Codierung möglichst flexibel an die bestehenden Bedingungen des jeweiligen Kanals anzupassen sind verschiedene Möglichkeiten der Punktierung vorgesehen. Über eine Art Schieberegister werden dabei die Bits eines Eingangs über 6 Registerplätze und mehrere Anzapfpunkte an zwei Ausgangsbitströme aufgeteilt. Die Coderate halbiert sich nach dieser Kodierung auf $R=1/2$. Insgesamt sind im gesamten Faltungscodierer 64 Bitzustände möglich. Das Schieberegister wird durch die Anzahl und Anordnung der Abgriffe charakterisiert. In der Binärangabe stellt die 1 einen Anzapfpunkt am Schieberegister dar. Nach der Faltungscodierung kann die Coderate durch eine Punktierung der Ausgangsdatenströme in den Schritten $2/3$, $3/4$, $5/6$ und $7/8$ erfolgen. Damit stehen insgesamt 5 Coderaten zur Verfügung, um die Signalqualität der Kanalrobustheit anzupassen⁶⁴.

Die Decodierung des Fehlerschutzes auf der Empfängerseite erfolgt dann mit einem Viterbi Decoder mit vorgeschalteten Depunktierer für den Faltungscodiercode.

62 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 141 ff

63 Zur Erklärung des Begriffes: punktierter Faltungscodiercode, siehe: Glossar

64 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 157 ff

5.1.3.5 Modulation.

Nachdem die Fehlerschutzcodierung durchgeführt- und die Daten anschließend vorgefiltert wurden, werden sie nun dem **QPSK**-Modulator zugeführt. Die QPSK-Modulation kann gleichzeitig zwei Bits pro Symbol⁶⁵ übertragen. Dadurch verdoppelt sich die Bandbreitenausnutzung⁶⁶. Der serielle Datenstrom wird zunächst durch einen Demultiplexer auf zwei parallele Pfade aufgeteilt. Dadurch können immer zwei Bits gleichzeitig verarbeitet werden. Die Zuordnung der Bits zu den Zuständen im Phasenraum wird dabei durch die Graycodierung realisiert. Überschreitet in einer Störung auf dem Kanal ein Zustand eine der beiden möglichen Entscheidungsschwellen, wird infolge dessen nur ein Bit verfälscht. Vor der Übertragung wird das Zwischenfrequenz-Signal auf die Hochfrequenzebene hochgemischt. Das modulierte Signal wird anschließend an den Sender weitergeleitet.

Bei der **Demodulation** muss der QPSK-Demodulator zunächst die Trägerfrequenz aus dem Eingangssignal zurückgewinnen. Das Eingangssignal enthält eine von vier Phasenlagen, die jeweils 2 Bit Daten repräsentieren und als Referenz zur Ermittlung dienen könnten, sodass vier um jeweils 90 Grad gegeneinander versetzte Trägerphasen in Frage kommen. Da der Empfänger aber die richtige Phasenlage nicht kennt, muss zur Demodulation zunächst willkürlich eine davon ausgewählt werden. Die Trägerrückgewinnung und Demodulation kann zusammen mit einer sogenannten Costas-Schleife realisiert werden. Dabei wird die Trägerfrequenz zur Demodulation von einem spannungsgesteuerten Oszillator⁶⁷ erzeugt. Die Entscheidung, ob auch die richtige Phasenlage benutzt wird, wird erst später im Decoder getroffen. In einem ersten Schritt kann ein Phasenfehler von plusminus 90 Grad festgestellt werden. Im zweiten Schritt wird dann auch die verbleibende Unsicherheit von 180 Grad beseitigt. Eine Korrektur bei einer falsch erkannten Trägerphase setzt im allgemeinen nicht beim zurückgewonnenen Träger selbst an, da der dafür benötigte Aufwand einfach zu groß wäre. Stattdessen kann eine Korrektur um 90 Grad in einfacher Weise dadurch erreicht werden, dass die I und Q Komponente nach der Demodulation vertauscht wird, um anschließend eine von diesen zu invertieren. Ein Phasenfehler von 180 Grad wird so durch die Invertierung des Bitstromes an der Stelle des Decoders, an der er erkannt wird, aufgehoben.

65 Zur Erklärung des Begriffes: Symbol, siehe: Glossar

66 Zur Erklärung des Begriffes: Bandbreitenausnutzung, siehe: Glossar

67 Zur Erklärung des Begriffes: Oszillator, siehe: Glossar

5.2 DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable)

Auf die Entwicklung des digitalen Satellitenstandards folgte für das digitale Kabelfernsehen der Standard DVB-C. Das Kabelfernsehen zählt in den meisten Ländern zu dem zweitwichtigsten Verbreitungsweg für Fernsehinhalte. In Deutschland bildet das Kabelnetz mit annähernd 20 Millionen angeschlossenen Haushalten, noch vor der Satellitenübertragung sogar den wichtigsten Übertragungsweg⁶⁸. Dabei ist Deutschland nach den USA, der zweitgrößte Kabelfernsehmarkt der Welt.

5.2.1 Nutzeranforderungen.

Als in Europa mit dem Aufbau der Kabelfernsehnetze begonnen wurde, stellte zu dieser Zeit noch die terrestrische Übertragung die Grundversorgung der Bevölkerung sicher. Deshalb orientierte sich die Auslegung der Netzparameter an denen des terrestrischen Systems. Die Entwicklung der Spezifikation für den digitalen Kabelstandard wurde erst begonnen, als die ersten Ergebnisse für den Satellitenstandard vorlagen. Dabei galt es wesentliche Nutzeranforderungen zu beachten und in Folge dessen zu definieren.

1. Breitbandkommunikationsnetze sollen in den herkömmlichen Strukturen weiter verwendet werden.
2. Die Einspeisung der DVB-Signale in die Kabelsysteme darf bei herkömmlichen Diensten keine merkbare Qualitätsminderung verursachen.
3. Es müssen so viele Daten wie möglich in einem Kabelkanal übertragen werden, damit die nutzbare Datenrate ausreicht, um zu allen Satellitenkanälen kompatibel zu sein.
4. Die Kosten für die Einführung von DVB-C sollen so gering wie möglich ausfallen. Dies gilt für alle Beteiligten innerhalb der Versorgungskette, insbesondere aber für den Endverbraucher bezüglich der Anschaffung geeigneter Hardware, in Form eines digitalen Kabelempfangsgerätes.

Weil die Signalzuführung der Rundfunksignale für die Kabelnetze hauptsächlich per Satellit erfolgt, sind die Nutzeranforderungen so definiert worden, dass die technischen

⁶⁸ vgl.: „Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten“, Seite 10

Parameter eine möglichst große Ähnlichkeit zu DVB-S aufweisen. Unter Punkt 5.2.3 wird aufgezeigt inwieweit diese Forderungen erfüllt werden konnten.

5.2.2 Empfangssituation und Netzstruktur.

Der Ursprung aller Kabelnetze liegt in den USA. Dort wurden seit den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts einzelne Antennen für den Empfang von terrestrischen Rundfunksignalen (Radio und Fernsehen) auf Hausdächern installiert, bei denen die Antenneneinheiten durch Koaxialkabel mit den jeweiligen Empfängern verbunden waren. Doch viele Zuschauer, die für die Ausbreitung der Rundfunksignale in ungünstig gelegenen Regionen wohnten, hatten aufgrund der schlechten Empfangssituation eine unbefriedigende Bildqualität. Aus dieser Tatsache heraus entstand die Idee, eine einzige Antenne für eine ganze Ortschaft, an einen für den Empfang günstigen Ort zu positionieren und die empfangenen Signale durch ein installiertes Kabelnetz bis hin zum einzelnen Endverbraucher zu verteilen. Diese Antennenanlagen wurden als Community Antenna Television (CATV→Gemeinschaftsantennenanlage) bezeichnet⁶⁹.

Die Entwicklung hin, von kleinen CATV-Anlagen in den Ortschaften (auch CATV-Inseln genannt), zu großen Breitbandkommunikationsnetzen, erfolgte dann schrittweise in den Folgejahren. Durch die Errichtung von Glasfasernetzen wurden die einzelnen Netzbereiche untereinander- und mit der zentralen Kopfstelle verbunden. Eine Kopfstelle, auch Master Headend genannt, ist in einem Kabelnetz der "neuralgische Punkt." Dort laufen alle eingehenden Signale zusammen und werden im entsprechenden Kabelnetz bis in die Wohnungen weiter verteilt. Diese hybriden Netzstrukturen, bestehend aus herkömmlichen CATV-Lösungen mit Koaxialkabel einerseits und Glasfasernetzen andererseits, führte zu der Bezeichnung Hybrid Fiber Coax (HFC)-Netz.

Wie bereits erwähnt ist die Kopfstelle der zentrale Punkt innerhalb eines solchen HFC-Netzes. Die zu verteilenden Rundfunksignale werden dort aufbereitet und ausgespielt (Payout). Das Netz selbst ist in einen Backbone-Bereich⁷⁰ und ein Zugangsnetz unterteilt. Der Backbone-Bereich besteht häufig aus zwei, in Serie geschalteten Bündeln von Glasfaserringen, den primärem und dem sekundären Ring. Durch den primären Ring findet eine weite Vernetzung verschiedener Regionen, zum Beispiel auf

69 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 254

70 Zur Erklärung des Begriffes: Backbone, siehe: Glossar

nationaler Ebene statt. Der sekundäre Ring verbindet verschiedene lokale Bereiche innerhalb einer Region, beispielsweise innerhalb einer Stadt. Dem Übergabepunkt zwischen beiden Ringen bezeichnet man als Local Headend, bzw. als benutzerseitige Kopfstelle. Diesen kommt eine wichtige Bedeutung zu, denn die nachgeschalteten Netzebenen, bis hin zu Endkunden, sind bezüglich der Signalübertragung transparent. Im Local Headend werden die Signale so aufbereitet wie sie anschließend über den sekundären Ring bis zur Netzanschlussdose beim Endkunden übertragen werden. Abbildung 5 zeigt dabei einmal den typischen Aufbau eines HFC-Netzes.

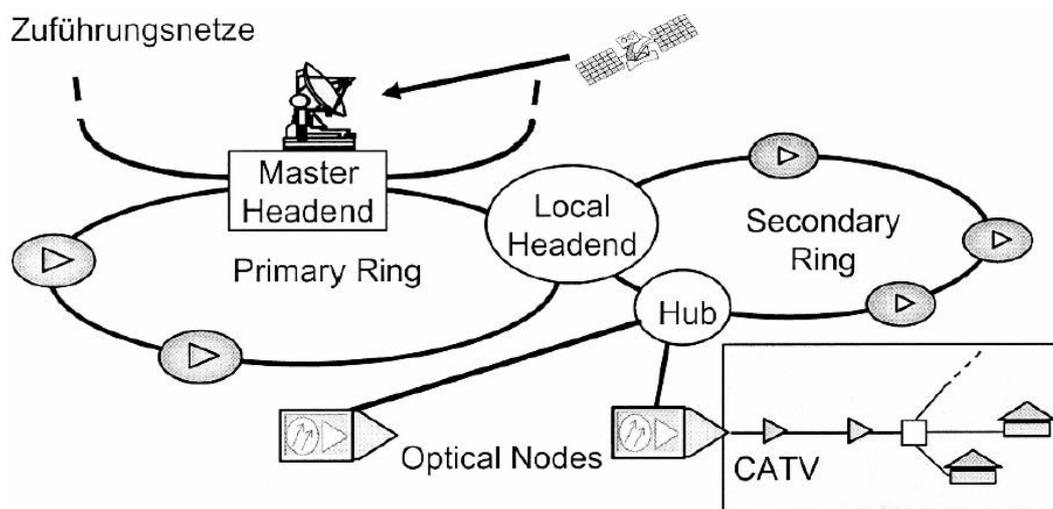


Abb.05: Beispiel für eine typische HFC-Netzstruktur

Das Kabelnetz wird außerdem noch in insgesamt vier Netzebenen aufgeteilt. Im Folgenden werde ich diese einmal kurz darstellen.

Netzebene 1

Hörfunk- und Fernsehstudios, die das sendefertige Signal generieren.

Netzebene 2

Signalzuführung und Verteilung, bis hin zum regionalen Verteilnetz. Schließt den Master Headend und den primären Ring mit ein. Das Local Headend kann als Ende der zweiten Netzebene, bzw. als Anfang von Netzebene 3 betrachtet werden.

Netzebene 3

Regionales Verteilnetz, zum Beispiel innerhalb einer Stadt, bis hin zum Hausübergabepunkt.

Netzebene 4

Hausverteileranlage. Schließt alles mit ein, was sich zwischen Hausübergabepunkt und der in der Wohnung installierten Netzanschlussdose befindet.

An der Anschlussdose für das Kabelfernsehtnetz enden so die Netzebenen. Die koaxiale Zuleitung, von der Dose zum Fernsehgerät, dieses und alle anderen Geräte, die sich zwischen Netzanschluss und TV-Gerät befinden, werden dementsprechend nicht innerhalb der Netzebenen definiert.

Die Netzbetreiber haben in den vergangenen Jahren viel Energie und finanzielle Mittel in den Ausbau der modernen HFC-Netze investiert. Dadurch konnte das Kabelnetz auch Rückkanalfähig ausgebaut werden und bietet heute, neben digitalem und analogem Fernsehen und Hörfunk, auch noch eine Menge an zusätzlichen, interaktiven Möglichkeiten. Unter dem Bezeichnung Triple Play beispielsweise bieten viele Netzbetreiber mittlerweile TV, Internet und Telefonie in einem Paket an.

In Deutschland wurde das Kabelfernsehtnetz zwischen den Jahren 2000 und 2003, unter anderen auf Druck der Europäischen Union und nationalen Wettbewerbsbehörden, schrittweise durch die Deutsche Telekom an verschiedene private Investoren veräußert⁷¹. Außer in Netzebene 1 gibt es in allen anderen Netzebenen mittlerweile zahlreiche Betreiber. Als größte hierzulande wären Kabel Deutschland, Unitymedia und Kabel BW (Kabel Baden Württemberg) zu nennen. In vielen Regionen und kleineren Städten tummelt sich innerhalb der Netzebene 3 und 4 auch eine Vielzahl an kleinen bis sehr kleinen Unternehmen, welche die Rundfunkversorgung der Bevölkerung über das Kabel sicherstellen.

Das Angebot an Programminhalten allein beim Fernsehen ist sehr vielfältig, reicht aber bei weitem nicht an das Angebot des Satelliten-Übertragungsweges heran. Vor allem

71 vgl.: „Kabelfernsehen“, <http://de.wikipedia.org>

das Angebot an digitalen Inhalten über DVB-C variiert stark von Anbieter zu Anbieter. Auch lokales Fernsehen wird meistens über diesen Verbreitungsweg in die Kopfstation des örtlichen Netzbetreibers eingespeist und kann so vom Zuschauer empfangen werden.

Um DVB-C empfangen zu können benötigt der Konsument, neben den Kabelanschluss, einen zusätzlichen digitalen Empfänger der die DVB-C Signale auswerten- und wieder in analoge Bild- und Tonsignale umwandeln kann.

Ein wesentlicher Nachteil beim Kabelfernsehen ist, dass für den Verbraucher, ähnlich der Festnetztelefonie, monatliche Grundgebühren für die Nutzung eines Kabelanschlusses entstehen. Möchte man dann noch digitales Fernsehen über DVB-C empfangen, kommen bei den meisten Anbietern noch weitere Gebühren für die digitalen(Paket)-angebote hinzu. Andererseits bleibt einem als Kabelfernsehkunde auch die aufwendige Verkabelung von der Empfangsantenne zum Receiver erspart, wie dies beim digitalen Satellitenstandard, aber teilweise auch bei DVB-T der Fall wäre.

5.2.3 Technik.

Die in den Nutzeranforderungen geforderte Anlehnung an den bereits entwickelten Satellitenstandard (→ Punkt 5.2.1), sollen die vielen Ähnlichkeiten der technischen Parameter widerspiegeln. Von der Basisbandschnittstelle angefangen, über die Energieverwischung bis hin zur Nutzung des äußeren Fehlerschutzes und des Faltunginterleavers ist die Signalverarbeitung zu DVB-S absolut identisch.

5.2.3.1 Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.

Nach der Quellencodierung steht auch hier ein nach dem MPEG-2 Transport Stream strukturiertes Basisbandsignal zur Verfügung⁷².

Die Kabelnetze bieten, ganz im Gegensatz zu Satelliten- und terrestrischen Übertragungsstrecken eine relativ konstante und hohe Übertragungsqualität. Aus diesem Grund wurde beim digitalen Kabelstandard vorgesehen mehrere Bits zu einem Symbol

72 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 263 ff

zusammenzufassen und durch eine höherstufige QAM zu übertragen.

Nachdem die 8 Bit breiten Datenwörter die Kanalcodierung durchlaufen haben, werden sie einen Symbolwortumsetzer, im diesem Standard als "Byte to m-Tupel Converter" bezeichnet, zugeführt. Er besitzt die Aufgabe, die entsprechende Anzahl an Bits, die pro Symbol übertragen werden sollen, zu Symbolwörtern entsprechender Breite zusammenzufassen. Bei der Übertragung mit einer 16-QAM beispielsweise, werden die einzelnen Bits jeweils in zwei 4 Bit breite Symbolwörter aufgeteilt. Zur Umsetzung der 8 Bit breiten Datenwörter auf 6 Bit breite Symbolwörter, wie es die Anwendung der 64-QAM fordert, müssen die einzelnen Bits über Bytegrenzen hinweg neu organisiert werden. Aus 3 Datenwörtern ergeben sich so 4 Symbolwörter, so dass 24 Bits einen festen Rahmen bilden. Nach der Umsortierung erhöht sich die Paketlänge auf insgesamt 272 Symbolwörter.

Nach dem Umsetzen der 8 Bit breiten Datenwörter auf Symbolwörter werden diese differenziell vorverarbeitet. Der Empfänger kann mit Hilfe der bekannten Signalstatistik eines QAM-Verfahrens die Referenzphase bis auf eine Unsicherheit von 90 Grad wiedergewinnen. Um das zu erreichen, zerlegt ein frequenzsynchroner Demodulator die empfangenen Symbole in 2 Komponenten, die in der Phase orthogonal zueinander stehen. Anschließend wertet dieser die einzelnen Positionen der empfangenen Symbole aus und regelt die Phase und Verstärkung des Signals so lange nach, bis die Mittelwerte der einzelnen Symbolzustände mit den bereits bekannten Sollwerten übereinstimmen.

Gegenüber den Satellitenverbreitungsweg verfügt das Kabelnetz über weniger Bandbreite, aber auch über wesentlich mehr, als dies bei der Terrestrik der Fall ist. Da über das Kabelnetz nicht nur DVB-C, sondern auch diverse andere Dienste wie unter anderem Internet, Hörfunkprogramme und auch analoges Fernsehen übertragen wird, muss die verfügbare Bandbreite, also der verfügbare Frequenzbereich des Kabels für die einzelnen Dienste aufgeteilt werden. Für DVB-C steht so nicht die ganze Kabel-Bandbreite zur Verfügung. Dem digitalen Kabelstandard wurden hauptsächlich die Frequenzbereiche 302 MHz bis 446 MHz und 606 MHz bis 862 MHz, mit jeweils 8 MHz Kanälen zugewiesen⁷³.

Die effektiv einsetzbare Nutzdatenrate bei DVB-C hängt im wesentlichen von der Wahl

73 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 256

der Modulationsparameter (Siehe Punkt 5.2.3.3) ab. So erreicht man mit einer 16-QAM Modulation und innerhalb eines Kanals mit einer Kanalbandbreite von 8 MHz eine nutzbare Datenrate von 25,63 MBit pro Sekunde. Wenn man aber die Quadratur-Amplitudenmodulation mit der höchsten Effizienz, also die 256-QAM einsetzt, erreicht man mit derselben Kanalbandbreite bereits eine Nutzdatenrate von 51,28 MBit pro Sekunde.

5.2.3.2 Fehlerkorrektur.

Wie bereits zuvor beschrieben ist die Anwendung des Fehlerschutzes bei DVB-C im wesentlichen identisch zu der des digitalen Satellitenstandards. Auf die Anwendung eines inneren Fehlerschutzes wird bei DVB-C gänzlich verzichtet. Hauptsächlich hat dies zwei Gründe. Zum einen reduziert jedes zusätzliche Verfahren, was Redundanz in den Datenstrom einfügt, die effektiv nutzbare Datenrate. Und zum anderen besitzen die vorhandenen Kabelnetze bereits eine hohe Qualität, so dass die DVB-Signale durch die Anwendung des äußeren Fehlerschutzes ausreichend gegen Übertragungsfehler geschützt werden können.

5.2.3.3 Modulation.

Durch die Nutzeranforderungen 1 und 2 wurde festgelegt, unter welchen Randbedingungen das DVB-Signal übertragen werden soll. Die Anpassung des Signals an den vorhandenen Kabelkanal erfolgt mit der **QAM**-Modulation, das unter systemtheoretischen Betrachtungen die besten Ergebnisse liefert⁷⁴.

Anfangs konnte zwischen insgesamt drei Varianten entschieden werden. Die im Standard vorgesehene Modulationsart mit der geringsten Effizienz von 4 Bit pro Symbol ist die 16-QAM, gefolgt von der 32-QAM, die 5 Bit pro Symbol enthält. Die größte Effizienz besaß die 64-QAM, die eine parallele Übertragung von 6 Bit pro Symbol zulässt. In einer ersten Überarbeitung der ersten Generation von DVB-C kamen noch die 128-QAM und die 256-QAM hinzu, welche eine Übertragungseffizienz von 7 bzw. 8 Bit pro Symbol zulassen. Insgesamt stehen so also fünf Modulations-Effizienzklassen innerhalb der QAM und für die Übertragung zur Verfügung.

74 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 262

Nach der Multiplikation mit einem komplexen Trägersignal ergibt sich am Ausgang des Modulators ein Basisbandsignal, dessen Mittelfrequenz die Frequenz des Trägersignals ist. Diese Frequenz wird als Zwischenfrequenz bezeichnet. Für die digitale Quadratur Amplituden Modulation ist es besonders wichtig, dass die Zuordnung der Symbolwörter zu den komplexen Amplituden der gesendeten Symbole eindeutig ist. Abhängig von der Anzahl der Bits die pro Symbol übertragen werden sollen, entsteht ein Signalraum in dem jede mögliche Bitkombination dem Träger eine definierte Amplitude und Phasenlage aufprägt. Die Bitkombinationen der Symbolwörter sind zum Beispiel bei der 16-QAM und bei der 64-QAM so ausgewählt, dass sich bei einer Verfälschung des Symbolzustands auf einen Nachbarwert immer nur ein einziges Bit verändert. Dies gilt aber nur in den Fällen, in denen durch die Verfälschung keine Quadrantengrenze überschritten wird. Die Symbolwörter innerhalb der Quadranten sind nach Gray codiert. Wird das gesendete Symbol auf einen Zustand verfälscht der in einen benachbarten Quadranten liegt, so könnten beim Signal bis zu 5 Bitfehler pro Symbol auftreten. Dadurch entsteht ein kleiner Nachteil gegenüber einem vollständig nach Gray codiertem System, der wegen der Einführung der differentiellen Codierung (→ Punkt 5.2.3.1) aber nicht verhindert werden kann⁷⁵.

Bei der **Demodulation** hat der Demodulator die Aufgabe das QAM-Signal in das Basisband umzusetzen und gleichzeitig in seine Inphase- und Quadratur-Komponente aufzutrennen. Nach der zeitlichen Multiplikation mit zwei in Phase orthogonalen Trägersignalen, müssen die so entstandenen Oberwellen der beiden Komponenten unterdrückt werden. Wird die Multiplikation durch eine analoge Signalverarbeitung durchgeführt, stehen Inphase- und Quadratur-Komponente anschließend im Basisband für die Analog/Digital (A/D)-Umsetzung zur Verfügung. Die parallelen Signalwege können auf die digitale Ebene verlagert werden, wenn das modulierte Signal geschlossen einem einzigen A/D-Umwandler zugeführt wird. Die Demodulation geschieht in dem Fall durch die Multiplikation mit zwei digitalen Trägersignalen. Die benötigte Abtastrate für eine Abtastung des QAM-Signals in der Zwischenfrequenzlage muss nach dem Abtasttheorem mindestens doppelt so hoch sein, wie die höchste Frequenz die in dem Signal vorkommt.

Innerhalb des digitalen Kabelstandards wird mittlerweile hauptsächlich nur noch die 256-QAM angewendet, weil diese die höchst erzielbare Bandbreite garantieren kann.

75 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 268

5.2.4 Reflexionen.

Das Kabelfernsehsystem hat in dem Zusammenhang, dass es gegenüber Übertragungsfehlern unter anderen durch die Abschirmung der Leitungen doch relativ robust ist, mit anderen Problemen zu "kämpfen." Wie es der Name schon sagt handelt es sich in weiten Teilen um ein Kabelsystem, wo die Kabelverbindungen zwischen zwei Netzkomponenten, zum Beispiel zwischen zwei Abzweigern, in der Regel nicht optimal abgeschlossen sind. Das Signal durchläuft die Kabelstrecke beispielsweise von einem Abweiger zum nächsten. Dabei handelt es sich um eine hinlaufende Welle. An der Kontaktstelle des Kabels mit den zweiten Abweiger wird ein Teil der Signalleistung reflektiert und läuft den Kabelstrang zurück. Deshalb wird diese auch rücklaufende Welle genannt. Das Amplitudenverhältnis zwischen hin- und rücklaufender Welle kann durch die Rückflussdämpfung angegeben werden. Sie besitzt für die im Breitbandkommunikationsnetz verwendeten Komponenten eine Größe von 20 Dezibel (dB). Beim Durchlaufen der Kabelstrecke erfährt das reflektierende Signal eine weitere Dämpfung. Da im Allgemeinen auch der Ausgang des ersten Abzweigers nicht ideal mit dem Wellenwiderstand⁷⁶ des Kabels identisch ist, wird von der reflektierenden Signalleistung wiederum ein Teil reflektiert. Der zweimal reflektierte Signalanteil addiert sich der hinlaufenden Welle auf, da er ja dieselbe Bewegungsrichtung besitzt wie das Hauptsignal. Dieser ist um die Laufzeit verzögert die er für das zweimalige Durchlaufen der Kabelstrecke benötigt. Ein Teil seiner Leistung wird an der Kontaktstelle, zwischen Kabel und Abweiger, erneut reflektiert. Die Dämpfung die ein Reflektionssignal an den beiden Kontaktstellen und beim Durchlaufen des Kabels erfährt, ist im Allgemeinen so hoch, dass man Reflexionen höherer Ordnung, also Signale, die das Kabel mehr als jeweils einmal in Hin- und Rückrichtung durchlaufen, vernachlässigen kann⁷⁷.

5.3 DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)

Digital Video Broadcasting-Terrestrial ist der digitale terrestrische Standard von DVB. Bei diesem Standard handelt es sich um den jüngsten "Spross" innerhalb der DVB-Familie. Die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten und die privaten, werbefinanzierten Programmanbieter hatten zunächst wenig Interesse, vor allem im Hinblick auf die Kosten, die Antenne zu digitalisieren.

⁷⁶ Zur Erklärung des Begriffes: Wellenwiderstand, siehe: Glossar

⁷⁷ vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 260 ff

Anfänglich ein wenig stiefmütterlich behandelt, befindet sich die digitale terrestrische Verbreitung von Programminhalten mittlerweile in einem richtigen Aufschwung. Fast alle europäischen Länder haben DVB-T bereits eingeführt, bzw. befinden sich gerade inmitten der Einführungsphase. Auch die weltweite Situation der "Digitalantenne" wird größtenteils bestimmt durch DVB-T. Großbritannien war das allererste Land in Europa und weltweit, welches begann ein eigenes DVB-T Sendernetz aufzubauen⁷⁸. Ende 1998 startete dort das digitale Antennenfernsehen mit insgesamt sechs Multiplexen.

Abbildung 6 zeigt anschaulich die weltweite Verbreitung von DVB-T, im Vergleich zu den drei anderen terrestrischen digitalen Übertragungssystemen.

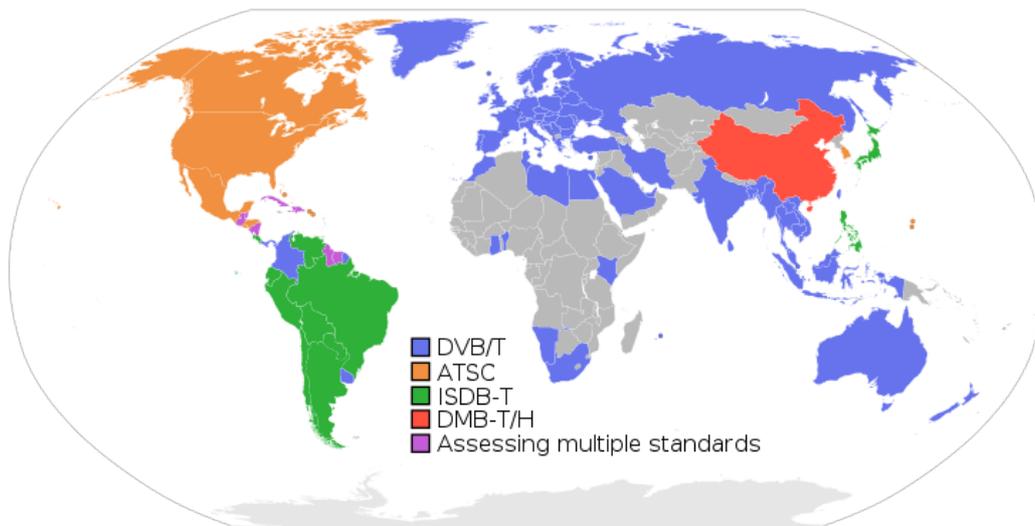


Abb.06: Weltweite Verbreitung von DVB-T

5.3.1 Nutzeranforderungen.

Auf Basis der Erfahrungen von den bereits entwickelten und spezifizierten Übertragungsstandards für Satellit und Kabel, konnten zum Beginn der Entwicklung von DVB-T wichtige Vorgaben zu den Nutzeranforderungen erarbeitet werden. Die wichtigsten Punkte werden nachfolgend, kurz zusammengefasst, dargestellt.

⁷⁸ vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 19

1. Das DVB-T System soll eine größtmögliche Ähnlichkeit mit DVB-S und DVB-C aufweisen.
2. Die Übertragung von DVB-Programmen soll in Datencontainern erfolgen deren Kapazität möglichst hoch sein soll. Die benötigte Kanalbandbreite zur Ausstrahlung soll (in Europa) so gewählt werden, dass ein Nachbarkanalabstand von 8 MHz unterstützt werden kann.
3. Das System soll eine bestmögliche Flächenabdeckung bei stationären Empfang mit Dachantenne bieten. Die Unterstützung des stationären Empfangs mit portablen Geräten ist erwünscht, ein Empfang mit Mobilgeräten aber kein Entwicklungsziel.
4. Die DVB-Signale sollen möglichst in terrestrischen Gleichwellennetzen⁷⁹ übertragen werden.

Später wurden die Anforderungen mehrfach korrigiert. Zum einen lag dies am weltweit steigenden Interesse insgesamt und zum anderen am zunehmenden Interesse für eine mobile Empfangbarkeit von DVB-T. Die aus der vorangegangenen Feststellung resultierenden Veränderungen sind unter anderen, dass es für die Übertragungskanäle Varianten mit Nachbarkanalabständen von 6 MHz, 7 MHz und 8 MHz gibt.

Bei der Entwicklung und auf dem Weg zur Spezifikation von DVB-T kam erschwerend hinzu, dass viele Länder die diesem neuen Standard einführen wollten, die unterschiedlichsten nationalen Interessen, zum Beispiel aufgrund der topografischen Gegebenheiten, im Hinblick auf die technischen Parameter vertraten. So wurde vor allem wegen des in der Terrestrik allseits bekannten Problems des Mehrwegeempfangs⁸⁰ über die Länge des Guard Interval (Schutzintervall)⁸¹ heftig diskutiert. Letztlich sollten alle Beteiligten zufrieden gestellt werden, indem eine Spezifikation erarbeitet wurde, die die unterschiedlichsten Komplexitäten zulässt und sich den verschiedenen Empfangssituationen der einzelnen Länder anpassen kann.

79 Zur Erklärung des Begriffes: Gleichwellennetz, siehe: Glossar

80 Zur Erklärung des Begriffes: Mehrwegeempfang, siehe: Glossar

81 Zur Erklärung des Begriffes: Guard Interval, siehe: Glossar

5.3.2 Empfangssituation.

Wie zuvor im Punkt 5.3.1 beschrieben, sollte zu Beginn der Entwicklung von DVB-T, wie schon beim analogen Vorgänger, nur der stationäre Empfang fokussiert werden. Doch schnell wurde erkannt, dass man mit dem neuen digitalen Antennenstandard die einmalige Chance hat, den Nutzer neue mobile Möglichkeiten bereitzustellen zu können und sich damit klar gegenüber DVB-S und DVB-C abzugrenzen.

Deshalb wurde DVB-T so entwickelt, dass diese drei Empfangsarten möglich sind⁸²:

1. Stationärer Empfang mit Dachantenne
2. Portabel Indoor mit Zimmerantenne
3. Portabel Outdoor mit Außenantenne

Auch der mobile Empfang, unter anderen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten im Auto, sollte problemlos möglich sein⁸³.

Beim stationären Empfang mit fest installierter (Richt)-Antenne auf, bzw. unter dem Dach, kann unter Umständen die alte Hausantennenanlage weitergenutzt werden. Lediglich der Verstärker, der für die Analogtechnik verwendet wurde, kann für die digitalen Signale nicht mehr genutzt werden. Dabei sollte man auch auf die Polarisation⁸⁴ der Antenne achten und diese gegebenenfalls neu, auf den nächstgelegenen DVB-T Sendemast ausrichten. Auch beim portablen Empfang, egal ob innerhalb oder außerhalb eines Gebäudes, kann eine Ausrichtung der Antenne in die entsprechende Polarisationssebene von Vorteil sein.

Die Empfangssituation von terrestrischen Rundfunk hat sich durch die Einführung von DVB-T deutlich verbessert. Wo beim analogen Vorgänger die Mindestnutzfeldstärke des Sendesignals erst bei 10 m über dem Erdboden erreicht werden konnte, ist diese beim neuen digitalen Standard auf 1,5 m gesunken.

82 vgl.: „DVB-T Leitfaden“, www.ueberallfernsehen.de

83 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 298 ff

84 Zur Erklärung des Begriffes: Polarisation, siehe: Glossar

Der Begriff "Überallfernsehen" wurde für DVB-T durch eine kluge Marketingstrategie, hauptsächlich in Deutschland, geprägt. Doch obwohl in der Gegenwart eine Netztabdeckung von nahezu 100 Prozent garantiert wird, ist es in Wahrheit nicht möglich DVB-T wirklich "überall" zu empfangen. Die Empfangbarkeit und welche der zuvor aufgeführten Empfangsarten man tatsächlich einsetzen sollte, hängt von mehreren Kriterien ab.

Wichtig ist dabei die individuelle Beurteilung des Empfangsstandortes. Je nach Bebauung, Bewuchs und topografischer Lage des Standortes der Empfangsantenne und dessen Umgebung, kann das Sendesignal mehr oder weniger stark sein⁸⁵. So liegt es nahe, dass die Empfangssituation in einem Tal, wo sich zwischen Sender und Empfänger ein Berg befindet, eine schlechtere sein muss, als wenn dazwischen nur eine ebene Fläche ganz ohne Bewuchs vorhanden ist. Umso mehr Hindernisse sich im Umfeld des Empfängers befinden, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die ankommenden elektromagnetischen Wellen des DVB-T Senders von diesen reflektiert und unter Umständen stark gedämpft werden. So kann es sein, dass dadurch die Mindestnutzfeldstärke unterschritten wird und gar kein Empfang mehr möglich ist. Auch spielt die Entfernung zum Sendemasten, dessen Höhe und die Sendeleistung eine entscheidende Rolle, mit welcher Pegel, das heißt mit welcher Feldstärke, das digitale Signal den Empfänger erreicht. Zu berücksichtigen ist auch in welcher Höhe sich die Empfangsantenne, egal ob Dachantenne,- Außen- oder Zimmerantenne, befindet. So ist die Empfangssituation bei "portable Indoor" wesentlich besser, wenn man in einem höheren Stockwerk wohnt.

Grundsätzlich gilt. Umso stärker das zu empfangene Signal, desto weniger Aufwand muss mit der Antenne betrieben werden. Bei dieser unterscheidet man in aktiver und passiver Antenne. Die passive Variante, zum Beispiel eine kleine Stabantenne, kann bei einem stärkeren Empfangspegel eingesetzt werden. Die aktive Antenne hingegen verfügt über einen eingebauten Verstärker und einer eigenen Spannungsversorgung. So kann bei schwachem Empfangssignal dieses durch den Verstärker vergrößert werden. Sollte aufgrund der schlechten Empfangssituation und trotz Einsatz einer aktiven Zimmer- oder Außenantenne bei portabel In- oder Outdoor kein befriedigender Signalpegel zur Verfügung stehen, bleibt nur noch die Möglichkeit, die stationäre Versorgung via Dachantenne in Erwägung zu ziehen.

⁸⁵ vgl.: „Wege zu gutem DVB-T Empfang“, www.ueberallfernsehen.de

5.3.3 Technik.

Unter dem Gesichtspunkt der Nutzeranforderungen, der stark störungsanfälligen Eigenschaften des Übertragungskanals, sowie die großen Probleme mit dem Mehrwegeempfang und im Hinblick auf die dafür erforderlichen technischen Lösungen, ist die terrestrische Verbreitung deutlich komplexer als die Übertragung per Satellit oder Kabel. Bei der Erarbeitung des DVB-T Standards wurde großen Wert darauf gelegt, dass es sich um ein flexibles System handelt, was den unterschiedlichsten Empfangssituationen angepasst werden kann.

5.3.3.1 Allgemeine Verarbeitungsschritte und Leistungsmerkmale.

Wie auch bei DVB-S und DVB-C regelt die Spezifikation zu DVB-T unter anderen die Signalstruktur, die Art nach welcher die digitalen Daten komprimiert werden, sowie die Modulation des Sendemultiplexes. Der Standard beschreibt dabei die Umsetzung eines Basisbandquellsignals auf die Gegebenheiten des terrestrischen Übertragungskanals. Der dazu nötige Transportstrom wird ebenfalls nach MPEG-2 strukturiert. Mittels Modulation wird dieser auf einen Frequenzkomplex übertragen, der Bandbreiten von sechs, sieben oder acht Megahertz aufweisen kann. Für die Verbreitung der DVB-T Signale sind laut der RRC 06 (Regional Radiocommunication Conference) die Frequenzbereiche in den VHF (Very High Frequency) Bändern 3 und 4 und dem UHF (Ultra High Frequency) Band 5 zugewiesen worden. Das entspricht den Frequenzbereichen von 174 MHz bis 230 MHz, sowie von 470 MHz bis 862 MHz⁸⁶.

Durch die flexible Anpassung der Modulationsparameter (→ Punkt 5.3.3.3) kann stets ein optimaler Kompromiss zwischen Signalrobustheit und der Übertragungskapazität erreicht werden. Dadurch werden Übertragungen von Fernseh- und Radioinhalten oder aber auch von speziellen Zusatzdiensten, wie unter anderen EPG (Electronic Program Guide) ermöglicht. Diese können dann innerhalb eines Multiplexes und mit den verschiedensten Parameterkombinationen parallel übertragen werden⁸⁷.

Im ersten Verarbeitungsschritt wird durch Scrambling eine Verwischung der Leistungsdichte vorgenommen. Damit verringern sich bereits die wechselseitigen Störwirkungen der Sendesignale. Daraufhin folgt das hinzufügen des Fehlerschutzes,

86 vgl.: „Neue Perspektiven für das digitale terrestrische Fernsehen“, Seite 12

87 vgl.: „DVB-T Factsheet“, www.dvb.org

der auch verkettet ist und sich wie bei DVB-S in eine äußere, sowie eine innere Komponente aufteilt. Anschließend wird der Datenstrom über sogenannte Mappingtabellen für die späteren, einzelnen Unterträger aufgeteilt und daraufhin mittels Modulation in den entsprechenden Frequenzbereich übertragen. Dafür können die digitalen Modulationsverfahren QPSK, 16 QAM oder 64 QAM verwendet werden. Danach erfolgt die OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)-Modulation, in welcher die bereits geschaffenen Teildatenmengen ihrer für die Übertragung zugewiesenen Unterträger aufmodelliert werden.

Die theoretisch möglichen Nutzdatenraten des DVB-T Signals reichen von 4,98 MBit/s bis maximal 31,67 MBit/s, bei höchster Modulation und Coderate, sowie den kürzesten Guard Intervall (→ Punkt 5.3.3.5). Hierbei spielt die Anzahl der möglichen Unterträger aber keine Rolle. In der Praxis werden dann aber meist nur Nutzdatenraten zwischen 12 MBit/s und 20 MBit/s erreicht. Diese Übertragungskapazität wird aber nicht annähernd durch ein einzigstes Programm in SDTV-Qualität ausgenutzt. So werden meist 4 Programme in einem DVB-T Multiplex, innerhalb eines Kanals, gemeinsam übertragen. Damit ergibt sich eine Datenrate pro Programm von 3 MBit/s bis 5 MBit/s. Die durch MPEG 2 komprimierten Videodaten können aber so des Öfteren, besonders bei schnellen Bildsequenzen (Formel 1, Fußball,ect.) zu ungenügender Bildqualität führen. Um dies ausgleichen zu können, ist es rein theoretisch möglich die Datenraten für jedes Programm im Multiplex dynamisch zuzuweisen (Statistischer Multiplex)⁸⁸. So kann beispielsweise bei einem Programm mit ruhigern Bildsequenzen Datenrate entzogen werden, um sie bei einem anderen Programm, mit wesentlich schnelleren Bildsequenzen, hinzuzufügen.

5.3.3.2 Fehlerkorrektur.

Das Ziel der Fehlerkorrektur bei DVB-T liegt darin, die während der terrestrischen Übertragung durch Rauschen und Mehrwegeempfang auftretenden Signalbeeinflussungen, bzw. Signalverfälschungen auf der Empfängerseite zu erkennen und wieder zu berichtigen.

Da die beiden Übertragungskanäle von DVB-S und DVB-T maximale Ähnlichkeiten aufweisen, ist der Fehlerschutz beim digitalen Antennenstandard, angefangen beim

⁸⁸ Zur Erklärung des Begriffes: Statistischer Multiplex, siehe: Glossar

äußeren Fehlerschutz- und Inerleaving, bis hin zum inneren Fehlerschutz exakt ein und derselbe.

inneres Interleaving.

Da es sich aber beim terrestrischen Standard um einen noch störanfälligeren Übertragungskanal handelt, als dies bei DVB-S der Fall ist, wurde der Fehlerschutz um eine weitere Komponente, dem sogenannten inneren Interleaving erweitert. Durch diesen Schritt sollen frequenzselektive Störungen, die eine Gruppe von Nutzträgern betreffen, im Mehrträgerkomplex beim decodieren wieder zerstreut und so leichter korregierbar gemacht werden.

Im ersten Schritt werden die Datenströme zu 9 Blöcken von je 126 Bit zusammengefasst. Diese Länge steht im Zusammenhang mit den verfügbaren Nutzträgern im OFDM Signal. Im 2k Modus sind das abzüglich von Synchronisationsträgern genau 1512 und im 8k Modus 6048 Nutzträger⁸⁹. Beide Zahlen sind ganzzahlige Vielfache von 126, so dass das innere Interleaving in ganzen Blockzyklen erfolgen kann. Innerhalb der 126 Bit Blöcke werden nun die einzelnen Bits verzögert und neu sortiert. Je nach gewählter Modulationsart QPSK, 16 QAM oder 64 QAM, werden pro Nutzträger zwei, vier oder sechs Bits zur Kodierung benötigt. Dazu werden entsprechend viele **Bit Interleaver** parallel geschaltet.

Im zweiten Schritt werden die neu sortierten Blöcke wiederum zu wenigen, größeren Blöcken zusammengefasst, in denen dann ganze Bitgruppen und Symbole verschachtelt werden. Dieser Schritt heißt deshalb auch **Symbol Interleaving**. Der Verzögerer gibt aber keinen kontinuierlichen Datenstrom aus, sondern lässt Unterbrechungen, an denen die Nutzträger mit den Synchronisationsinformationen nachträglich eingefügt werden. Am Ende des Interleavings ist das Signal dann so umstrukturiert, dass zwischen zusammengehörigen Datenbits und OFDM Symbol ein möglichst großer Abstand vorhanden ist.

⁸⁹ vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage, Seite 300 ff

5.3.3.3 OFDM-Modulation.

Im Vorwärtsfehlerkorrekturverfahren sind bereits einige grundlegende Schritte für das sogenannte **Mapping** durchgeführt worden. Dieses findet im Encodierprozess, noch vor der eigentlichen Modulation statt. Der serielle Datenstrom ist bereits soweit aufgeteilt, dass jedem Einzelträger im OFDM Symbol eine Menge von zwei, vier oder sechs Bits, je nach gewählter Modulationsart, zugeordnet wurde. Dies geschieht nach der bereits erwähnten Gray Methode für jeden Unterträger einzeln. Das bedeutet, dass sich die benachbarten Zustände im Konstellationsdiagramm jeweils nur um eine Bitstelle unterscheiden. So können auftretende Fehler unter Einbeziehung der zuvor genannten Zustände wesentlich leichter berichtigt werden. Der eingehende Datenstrom wird beim Mapping auf die Ebene der komplexen Zahlen aufgeteilt. So entsteht ein imaginärer und ein reeller Teil des Datensymbols, welche dann für die QPSK, 16 QAM oder 64 QAM Modulation benötigt werden⁹⁰.

Nachdem nun die Modulation der einzelnen Teildatenströme mit einer der gerade eben erwähnten digitalen Einträger-Modulationsverfahren erfolgt ist, beginnt nun die eigentliche Modulation und zwar auf das Mehrträger-Modulationsverfahren **OFDM**. Bei DVB-T wird aufgrund der Eigenschaft des Übertragungskanals diese Modulationsart, die eine sehr große Zahl von Unterträgern parallel zueinander überträgt, angewendet⁹¹. Das zu sendende Signal ist so wesentlich robuster gegenüber Störungen im terrestrischen Kanal, die unter anderen durch Mehrwegeempfang oder Störsender auf gleicher Frequenz entstehen. Hinter diesem Modulationsverfahren steht die Tatsache, dass Störwirkungen durch eine möglichst lange Symboldauer stark minimiert werden können. Bei der seriellen Übertragung von Daten besitzt jedes Symbol nur eine sehr kurze Übertragungsdauer. Wenn aber möglichst viele Symbole zeitgleich, also parallel und auf vielen Unterträgern übertragen werden, dann besitzt jedes einzelne Symbol die Dauer der gesamten Übertragung. Die OFDM ist ein spezielles Mehrträger-Modulationsart und zwar deshalb, weil die einzelnen Unterträger orthogonal zueinander stehen. Das bedeutet, dass der Abstand der Unterträger untereinander so gewählt ist, dass die Nullstellen eines Trägers genau in den Maximalstellen des benachbarten Trägers liegen. So können die Unterträger enger aneinander liegen und dadurch Bandbreite einsparen, ohne sich dabei gegenseitig negativ zu beeinflussen. Die Parallelschaltung der Unterträger entspricht exakt der Rechenvorschrift der inversen Diskreten Fourier Transformation (IDFT) und wird auch dementsprechend so

90 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 302 ff

91 vgl.: „OFDM Modulation“, <http://de.wikipedia.org>

im jeweiligen Schaltungsaufbau realisiert⁹².

Für die Generierung des OFDM Signals wird zunächst der serielle Datenstrom durch das Mapping bitweise auf komplexe Symbole der Unterträger abgebildet. Danach werden entsprechend viele einzelne Symbole für die Übertragung gesammelt und von seriell in parallel gewandelt. Danach werden sie dem Schaltungsmodul zugeführt in welchem die IDFT implementiert wurde. Dieses filtert und moduliert die Symbole nun auf die entsprechenden Unterträger in einen Zwischenfrequenzbereich. Anschließend werden die einzelnen Unterträger im Multiplexer zu einem Multiträgersymbol zusammengeführt. Das daraus resultierende Multiplexsignal wird daraufhin und in einem letzten Schritt auf die hochfrequenteren Trägerfrequenz aufmoduliert.

Für die OFDM Modulation sind für DVB-T wichtige Parameter vorgegeben. Grundlegend wurden für die verschiedenen Anforderungen der Länder die den neuen Standard nutzen möchten zwei verschiedene Mengen von Unterträgern, nämlich im 2k und im 8k Modus, festgelegt. Die genaue Anzahl der verfügbaren Unterträger beträgt im 2k Modus 2048 und im 8k Modus 8192. Aber nicht alle der verfügbaren Einzelträger können benutzt werden, da einige unter anderen für Synchronisationszwecke gebraucht werden. Ebenfalls wichtig ist die Betrachtung der Abtastfrequenz, vor allem im Hinblick auf die IDFT. Sie beträgt in diesem Fall genau 9,143 MHz. Die parallele Übertragung sovieler Informationen auf einer sehr großen Anzahl von Einzelträgern benötigt für eine korrekte **Demodulation** im Empfänger eine Synchronisation der Daten. Um den Aufwand möglichst gering zu halten, wird das OFDM Signal in einem Übertragungsrahmen strukturiert. 68 Unterträger bilden jeweils einen Übertragungsrahmen, welche mit drei weiteren dann zu einem Überrahmen zusammengefasst werden.

5.3.3.4 Gleichwellennetz.

Bei DVB-T wurde großen Wert darauf gelegt, die zuvor definierten Nutzeranforderungen so gut wie möglich umzusetzen und das Sendernetz als sogenanntes Gleichwellennetz (SFN-Single Frequency Network) zu realisieren. Natürlich wurden dabei auch alle Aspekte und technischen Parameter mit einbezogen und versucht diese optimal aufeinander abzustimmen.

92 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 213

Ein Gleichwellennetz besteht aus mehreren, räumlich über ein zusammenhängendes Gebiet verteilte Sendeanlagen. Diese arbeiten absolut synchron zueinander und nutzen, im gleichen Kanal, ein und dieselbe Sendefrequenz. Auch die Inhalte, die zur gleichen Zeit ausgestrahlt werden, sind absolut identisch⁹³.

Bei "nicht Gleichwellennetzen" müssen räumlich benachbarte Sendeanlagen wie beispielsweise Rundfunksender zur Ausstrahlung von Fernsehprogrammen, auch beim Senden von ein und demselben Programm, unterschiedliche Sendefrequenzen benutzen. Der Grund hierfür ist, dass durch die Überlappung von benachbarten Ausleuchtzonen es zu massiven Störungen bis hin zur kompletten Auslöschung des Signals kommen kann.

Gleichwellennetze werden meist in Verbindung mit OFDM und den bereits genannten Fehlerschutzmaßnahmen (→ COFDM-Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) realisiert, um so die Robustheit, also die Verringerung der Störanfälligkeit des Sendesignals durch äußere Einflüsse noch weiter auszubauen. Weiterhin können so auch wertvolle Frequenzkapazitäten eingespart werden, da ja immer nur mit einer Frequenz gearbeitet wird.

5.3.3.5 Guard Interval.

Wie bereits erwähnt können bei der OFDM Modulation verschiedene Parameter separat gewählt werden, welche die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems wesentlich beeinflussen. Zu diesen gehört auch der Schutzintervall (Guard Interval) und dessen Länge.

Besonders der Mehrwegeempfang, stellt bei der Terrestrik ein großes Problem dar. Es ist die Regel, dass das Signal was vom Sendemast ausgestrahlt wird, unter anderen durch Reflexionen an Gebäudewänden mehrfach und zu unterschiedlichen Zeiten am Empfänger eintrifft. So kann es passieren, dass sich die einzelnen Signale negativ beeinflussen und letztendlich gegenseitig komplett auslöschen. Auch ein anderer Gleichwellensender im selben Sendernetz kann sich dabei stark störend auf das Signal auswirken.

93 vgl.: „Gleichwellennetz“, <http://de.wikipedia.org>

Der eingeführte Guard Interval stellt dabei ein effektives Mittel zur Beseitigung dieser Störeinflüsse dar. Um alle zu den verschiedensten Zeiten eintreffenden Signale zu nutzen, wird der erste Teil des Signals nicht zur Datenübertragung genutzt. Eben dieser erste Teil wird als Guardintervall bezeichnet und kann auf verschiedene Längen wie $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ oder $\frac{1}{32}$ der gesamten Symboldauer eingestellt werden. Ein langer Schutzintervall bedeutet, dass auch sehr spät eintreffende Signale genutzt und ausgewertet werden können. Gleichzeitig sink damit aber auch die Nutzdatenrate.

Innerhalb dieses Schutzintervalls können die Mehrwegesignale ausschlagen, so dass sie das nachfolgende Signal nicht mehr so stark beeinflussen. Für diese Anwendung muss die Länge des Intervalls allerdings größer sein, als die längste Laufzeit der störenden Signale. Die Länge bildet dabei, zusammen mit der tatsächlichen Nutzdauer, die Symboldauer. Der Schutzintervall sollte im Verhältnis zur Nutzdauer möglichst immer klein ausfallen, um die schon erwähnte Nutzdatenrate nicht allzusehr zu senken⁹⁴. Bei Auswertung auf Empfängerseite hat das resultierende Signal durch die Störeinwirkung einen verfälschten, stationären Schwingzustand eingenommen. Dabei sind Amplitude und Phasenlänge konstant verändert, so dass sich bei Erkennung dennoch das Ursprungssignal leicht wiederherstellen lässt.

Mit dem Schutzintervall können aber nicht nur Störeinwirkungen verringert werden. Bei gezieltem Einsatz kann damit auch die Empfangsleistung erheblich gesteigert werden, so dass der Mehrwegeempfang sogar zur Signalstärke beiträgt. Dieser Effekt wird bei großflächigen Gleichwellennetzen ausgenutzt um ein sehr großes Gebiet, zum Beispiel im Umfang eines ganzen Landes, mit eben nur einer einzigen Frequenz mit Programminhalten zu versorgen.

94 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 304 ff

6 Die Notwendigkeit von DVB-X2

Mittlerweile ist es schon weit über 10 Jahre her, als der letzte digitale Standard der drei klassischen Übertragungswege von Satellit, Kabel und Antenne, nämlich DVB-T, offiziell eingeführt wurde. Die einzelnen DVB-Systeme der ersten Generation sind in die Jahre gekommen, konnten ihre Leistungsfähigkeit aber unter Beweis stellen und sind zu einem weltweit anerkannten digitalen Standard „herangewachsen.“

„[...] Seither ist einerseits die Kenntnis über die Leistungsmerkmale und Grenzen der technischen Übertragungssysteme für Digitalsignale erheblich gewachsen und andererseits ist es möglich geworden hochkomplexe Algorithmen in Hard- und Firmware zu realisieren, die zu Beginn des Digitalfernsehens als nicht wirtschaftlich implementierbar galten.⁹⁵[...]“

Und wie dies bei allen technischen Entwicklungen der Fall ist, wurden die Rufe laut einen Nachfolger für die erste Generation des Digitalfernsehens zu entwickeln und daraufhin zu standardisieren. Wie aus dem Zitat von Prof. Reimers, einen der „Väter“ von DVB zu entnehmen ist, sind nicht nur die Anforderungen an ein digitales Rundfunksystem gestiegen, sondern auch das technische „Know How“ der Ingenieure und Wissenschaftler beträchtlich gewachsen. Dadurch ist es möglich geworden diesem „Ruf“, vor allem der Inhalteanbieter und Netzbetreiber, nach einen noch effizienteren und innovativen Nachfolger von DVB-S, DVB-C und DVB-T gerecht zu werden.

Mit der zweiten Generation von DVB sollen die bisherigen Systeme durch eine deutliche Effizienzsteigerung, vor allen an die veränderten Bedingungen und Bedürfnisse der heutigen Zeit angepasst und für die Zukunft sicher entwickelt werden.

In den 90er Jahren konzentrierte man sich vor allem auf die Digitalisierung der bereits vorhandenen Übertragungswege. Hochauflösendes Fernsehen war zur damaligen Zeit nicht Vielen, meist nur Fachleuten ein Begriff. Und erst in Folge der Einführung von DVB wurden viele Services und Zusatzdienste möglich. Mehr als 15 Jahre danach ist das Angebot an digitalen Diensten stark gestiegen. Als Beispiele seien hier die elekt-

⁹⁵ Zitat: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Reimers, „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“

ronische Programmzeitschrift EPG, die interaktive Plattform MHP und Dienste wie Onlinvideotheken, in denen man sich rund um die Uhr Filme und Serien individuell auf Abruf ansehen kann (VOD), genannt.

Und auch die Programmvielfalt hat stark zugenommen. Viele Inhalte-, bzw. Vollprogrammanbieter haben dank der frei gewordenen Frequenzen, aufgrund der geringeren Bandbreite von digitalen Angeboten, zusätzliche Programme für ganz bestimmte Zielgruppen (→ Themensender) auf den Markt gebracht. Wo diese Programmvielfalt den Zuschauer bisher nur als SDTV zur Verfügung stand, gewinnt mittlerweile das Angebot an besser auflösenden und dadurch detailreicheren HDTV (Siehe Punkt 4) zusehens an Bedeutung. Diesen Format gehört zunächst einmal die Zukunft. Die Anbieter von Programminhalten mussten unbedingt auf die weltweite Entwicklung des Film- und Fernsehmarktes reagieren. Denn auch das Bedürfnis der Endverbraucher, nach Fernsehgeräten mit größeren Bildschirmdiagonalen ist stark gewachsen. Um den Konsumenten aber eine gleichbleibende, bzw. noch wesentlich bessere Bildqualität zur Verfügung stellen zu können, erfordert dies eine höhere Anzahl an Bildpunkten, da sich dadurch die Displayfläche vergrößert. An HDTV führt somit kein Weg vorbei.

Das Volumen, bzw. die Menge an Daten steigt bei HDTV, im Vergleich zu SDTV beträchtlich. Der Grund ist die wesentlich höhere Anzahl an Bildinformationen. Wo bei SDTV mit einer Auflösung von 720 x 576 insgesamt 414.720 Bildpunkte an Bildinformationen zur Verfügung stehen, sind es bei der HD-Auflösung von 1920 x 1080 bereits weit über 2 Millionen. Im unkomprimierten Zustand würde dies ein Datenvolumen von mehreren Gigabit bedeuten. Eine wirtschaftliche Verarbeitung und erst recht Übertragung wäre so unvorstellbar. Und auch mit der bisher bei DVB angewandten Video-Komprimierung nach MPEG-2 ist die Datenübertragungsrate (Übertragene Daten pro Zeiteinheit) im Vergleich zu normalauflösenden Fernsehen um einiges höher. Die ITU empfiehlt beispielsweise für eine HD-Übertragung mit einem qualitativ gutem Bild und der Nomenklatur von 1080i/25, eine Datenübertragungsrate von 27 MBit/s. Zum Vergleich würde dagegen bei SDTV schon eine Datenübertragungsrate von 5,4 MBit/s vollkommen ausreichen⁹⁶. Sollte zusätzlich die Übertragung im Vollbildmodus („p“) und mit 50 Bildern pro Sekunde⁹⁷ erfolgen, was den neuen ausschließlich progressiv arbeitenden modernen Flachbildschirmen entgegen kommt und so mittel bis langfristig von allen Programmanbietern angestrebt wird,

96 vgl.: „High Definition Television-Datenrate“, <http://de.wikipedia.org>

97 Die 50 Vollbilder pro Sekunde beziehen sich auf Europa. In Japan und den USA wären es 60.

müsste die Datenübertragungsrate weiter erhöht werden. Momentan ist es noch nicht möglich das volle Potential von HDTV mit 1080p/50 auszuschöpfen. Die Sendeanstalten müssen so Kompromisse zu Lasten der Bildqualität eingehen. Zu erwähnen wäre an dieser Stelle auch noch, dass zusätzlich zum hochauflösenden Bild ebenfalls ein digitales Audiosignal zu übertragen ist. Da die Datenübertragungsrate in komprimierter Form, beispielsweise bei Dolby Digital mit 5.1 Surround Sound, um die 400 kBit/s beträgt, kann dies in Anbetracht der weitaus höheren Übertragungsrate des Videomaterials, zumindest an dieser Stelle vernachlässigt werden.

Das Beispiel im letzten Absatz zeigt, dass mit der Einführung von HDTV dringend neue Technologien benötigt werden. Die bei den Standards der ersten Generation eingesetzten und möglichen Nutzdatenraten bei gegebener Bandbreite pro Kanal, zumindest bei DVB-S und DVB-T, würden für eine gute Bildqualität und bei ausreichender Programmvierfalt so nicht ausreichen. Auch die Videocodierung nach MPEG-2 wäre dafür nicht mehr effizient genug.

Zwar ist die Ausstrahlung von HDTV auch über die erste Generation von DVB und unter Einsatz von MPEG-2 problemlos möglich, wie das Beispiel Australien zeigt, wo genau unter diesen Gesichtspunkten HDTV über DVB-T ausgestrahlt wird⁹⁸. Doch geht dies, wie soeben erwähnt, zweifelsohne zu Lasten der Programmvierfalt. Wo beispielsweise beim digitalen Antennenstandard DVB-T pro 8 MHz-Kanal um die 4 Programme in SDTV-Qualität übertragen werden, sind es bei HDTV deutlich weniger. Das würde einen Rückschritt zum Programmangebot in Analogzeiten gleichkommen, wobei sich der mittlerweile verwöhnte „Digital-Konsument“ sicherlich nur schwer davon überzeugen lässt, ein besser aufgelöstes Programm zu Lasten der Angebotsvierfalt empfangen zu können.

MPEG-4⁹⁹ Part 10, auch als MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) oder H.264 bekannt, als neue und wesentlich effizientere Videocodierung stellt hier schon einen ersten Fortschritt dar. Zwar ist MPEG-4 AVC nicht fest mit DVB verbunden, sondern vollkommen unabhängig davon, jedoch wird und ist diese Technologie innerhalb der zweiten Generation von DVB-S2, DVB-T2 und DVB-C2 implementiert. MPEG-4 AVC erreicht im Vergleich zu seinem Vorgänger MPEG-2 eine in etwa dreimal so hohe Codiereffizienz. Das bedeutet das bei der Codierung und bei gleicher Bildqualität nur

98 „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Ulrich Reimers, Seite 2

99 Zur Erklärung des Begriffes MPEG-4, siehe: Glossar

ein Drittel der Datenmenge von MPEG-2 anfällt¹⁰⁰. Dies bringt eine deutliche Erhöhung der Zahl, der bei gegebener Datenrate im Übertragungskanal nutzbaren HDTV-Programme.

Im Wesentlichen ist die Entwicklung und Einführung der zweiten Generation der einzelnen digitalen Standards von Satellit, Kabel und Antenne verbunden mit der flächendeckenden Einführung von HDTV und den damit verbundenen Bedarf nach besserer Ausnutzung der begrenzten Kapazitäten innerhalb der Übertragungskanäle. In absehbarer Zeit wird diese höhere Auflösungsvariante Programminhalte in SD-Qualität vom Markt komplett verdrängt haben. Mit DVB-S2, DVB-T2 und DVB-C2 verfügt man so über Systeme die für dieses Szenario den Betrieb mit einer qualitativ guten Übertragung sicherstellen. Doch auch neue Dienste und Inhalte, die über das Internetprotokoll übertragen werden, gewinnen immer mehr an Bedeutung. So erfordert Video on Demand (VOD) einen Rückkanal und zusätzliche Bandbreite innerhalb des jeweiligen Übertragungskanals. Ebenfalls rücken immer mehr Programmangebote für die der Zuschauer bezahlen muss (PayTV) in den Focus der Inhalteanbieter. Die Inhalte werden so verschlüsselt übertragen. Durch die rasante Entwicklung der PC-Technik aber, sind die bei der ersten Generation eingesetzten Verschlüsselungsverfahren mittelfristig nicht mehr sicher und verlangen nach neuen Methoden¹⁰¹, wo die Implementierung dieser, in den alten Systemen für nicht mehr sinnvoll erscheinen würde.

Auch gerade bei den „kritischen“ Übertragungskanälen, wie Satellit und Antenne kam es bisher des Öfteren zu groben Signalverfälschungen, bis hin zum Totalausfall des Bildes. Dies sorgte natürlich für Unzufriedenheit bei den Konsumenten. Die Qualität und Robustheit des Signals durch neue Fehlerschutzmechanismen zu erhöhen war deshalb ein weiteres, wichtiges Kriterium, welches die Entwicklung von DVB-X2 notwendig machte.

100 vgl.: „H.264“, <http://de.wikipedia.org>

101 vgl.: FKT-„IPTV und Mobile Television“, Seite 3

7 DVB-X2: Die zweite Generation von DVB

Anmerkung.

In diesem Kapitel möchte ich die zweite Generation der einzelnen digitalen Standards von DVB-S für die Satellitenübertragung, DVB-T für die terrestrische Verbreitung und DVB-C für die Übertragung über das Kabelfernsehnetz vorstellen. Dabei steht für mich im Vordergrund, die Veränderungen gegenüber der ersten Generation aufzuzeigen und die neuen Technologien zu kennzeichnen. Sicherlich werde ich, aufgrund der Fülle der in DVB-X2 eingesetzten neuen Techniken, nicht allzu sehr ins Detail gehen können. Daher wird es sich im Folgenden „nur“ um einen Überblick handeln. Für detailliertere Informationen zu DVB-S2, DVB-T2 und DVB-C2 verweise ich auf Arbeiten, die sich explizit und intensiv mit nur einen der drei neuen Standards auseinandersetzen.

Allgemein.

Wie im Punkt 6 bereits angesprochen benutzen innerhalb der Quellencodierung alle neuen Systeme von Satellit, Kabel und Antenne die neue und überaus hocheffiziente Videodatenkomprimierung MPEG-4 AVC. Diese neue Technologie ist aber nicht an DVB-X2 gekoppelt und wird sogar teilweise innerhalb der ersten Generation angewendet. Doch da für die neuen DVB-X2-Technologien sowieso neue Empfangsgeräte benötigt werden, bot es sich an, dementsprechend gleich MPEG-4 Decoder mit einzubauen.

Zusätzlich dazu erhöhen die neuen Systeme der zweiten Generation unter Einsatz wesentlich effizienterer Modulationstechniken und Fehlerschutzverfahren, aufgrund der höher einsetzbaren Coderaten, die Datenrate bei gegebener Kanalbandbreite ganz erheblich.

„[...] Die Kombination der Effizienzgewinne aus modernster Videocodierung und neuester Übertragungstechnik stellt dabei die ideale Lösung in einer Zeit dar, in der der Übergang vom Fernsehen mit Standard-Bildqualität [...] zu HDTV auf breiter Front erfolgen wird [...].¹⁰²“

102 Zitat: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Reimers, „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“

7.1 DVB-S2

7.1.1 Übersicht.

Nach der erfolgreichen Einführung von DVB-S existieren weltweit mehrere Millionen DVB-S Empfangsanlagen. Für dieses Jahr¹⁰³ sieht der Satellitenbetreiber Astra vorraus, dass allein in Deutschland, mehr als 12 Millionen Haushalte das digitale Rundfunksystem DVB-S nutzen werden¹⁰⁴. Keiner der derzeit DVB-S nutzenden Satellitenbetreiber ist mit dem System wirklich unzufrieden. Aber besonders in den digitalen Fernsehmarkt drängende neue Anbieter stellten an das DVB-Projekt die Frage: „Was könnte eine zweite Generation des digitalen Satellitenstandards mehr leisten, als die erste?“ Als Antwort darauf wurden innerhalb des Technical Modules, des DVB-Projektes, Studien erarbeitet, die eine Kapazitätserhöhung um mehr als 30 Prozent für möglich hielten. Daraufhin erarbeitete das Commercial Module die kommerziellen Anforderungen an die nächste Generation. Dabei sind die hauptsächlichsten kommerziellen Anforderungen, neben den über 30 prozentigen Kapazitätsgewinn, die Robusteheit des Signals gegenüber äußeren Störeinflüssen zu erhöhen. So soll sich der Schutz vor Übertragungsfehler deutlich erhöhen, um die Qualität und die Zuverlässigkeit von DVB-S wesentlich zu verbessern. DVB-S2 sollte außerdem Varianten bieten, die es ermöglichen in einen weitem Bereich möglicher Kanal-Störabstände, jeweils mit bestmöglicher spektraler Effizienz¹⁰⁵ zu arbeiten.

Eine eigens für DVB-S2 gegründete Arbeitsgruppe innerhalb des Technical Moduls, entwickelte daraufhin ab Mitte 2002 eine Spezifikation, welche die kommerziellen Anforderungen erfüllt und sogar übertreffen sollte.

7.1.1.1 Leistungsmerkmale.

Die wichtigsten Leistungsmerkmale sind wie folgt zusammengefasst:

- Anstelle des bei der ersten Generation bisher bekannten MPEG-2 Transportstromes, gibt es bei DVB-S2 eine sogenannte Generic Stream Encapsulation

103 Im Jahr 2010

104 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 250

105 Zur Erklärung des Begriffes: Wellenwiderstand, siehe: Glossar

(GSE). Diese soll so neue Dienste, die über das Internetprotokoll übertragen werden mit DVB-S2 „verknüpfen.“ Mit GSE ist es möglich Pakete des Internetprotokolls besonders effizient zu verpacken.

- Über einen Bereich möglicher Kanal-Störabstände von 18 dB (-2dB bis+16 dB) bietet DVB-S2 feingestufte Systemvarianten, die jeden einzelne der Shannon-Grenze bis auf einen Abstand von jeweils etwa 0.7 dB erreichen. DVB-S2 nähert sich dabei der theoretischen Leistungsgrenze ¹⁰⁶so perfekt, das nicht zu erwarten ist, dass jemals eine weitere Generation entwickelt werden wird.
- Die Spezifikation bietet unter anderen auch drei neue Modulationsarten, wie die 8 PSK, 16 APSK (Amplitude and Phase Shift Keying) und 32 APSK zur Auswahl. Dabei bietet die 16 und die 32 APSK Möglichkeiten für einen größeren Träger-Rauschabstand (C/N-Carrier to Noise Ratio) und ist dadurch mehr für professionelle Anwendungen, wie beispielsweise interaktive Dienste, geeignet¹⁰⁷.
- Als Fehlerschutz wird eine Verkettung eines BCH (Bose Chaudhuri Hoquenghem)- Codes, als den äußeren Fehlerschutz und ein LDPC (Low Density Parity Check)-Codes, als den innerern Fehlerschutz eingesetzt. Dieser ist bezüglich der Coderate in den Grenzen $\frac{1}{2}$ bis $\frac{9}{10}$ konfigurierbar. Setzt man eine QPSK als Modulationsform ein und wählt die robusteste Variante des Fehlerschutzes, so ist ein sicherer Betrieb noch bei einem Störabstand von -2dB möglich, sodass das Signal vom Rauschen vollkommen verdeckt ist¹⁰⁸.
- Dementsprechend schwer war es, Methoden zu finden, mittels derer auch noch in einen solch anspruchsvollen Betriebszustand die Trägerrückgewinnung und die Synchronisation erfolgen kann. Deshalb wurde als Lösung für dieses Problem eine Struktur von Pilotsignalen gewählt¹⁰⁹.

106 Zur theoretischen Leistungsgrenze, siehe Glossar, Begriff: Shannon-Hartley-Gesetz

107 vgl.: DVB-S2 Fact Sheet, www.dvb.org

108 vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 2

109 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehetechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 252

7.1.2 DVB-S vs. DVB-S2.

DVB-S2 bietet im Vergleich zu seinem Vorgänger spezifische Merkmale, die die zweite Generation um einiges leistungsfähiger macht, als die Erste. Die nachfolgende Tabelle soll dieses als Beispiel einmal anschaulich verdeutlichen. Dabei handelt es sich um eine Variante, bei der die Sendeleistung EIRP (Equivalent isotropically radiated Power)¹¹⁰ der Antenne 53,7 dBW beträgt.

Tabelle mit einer von EIRP von 53,8 dBW:

System	DVB-S	DVB-S2
Modulation und Coderate	QPSK; 7/8	8PSK; 2/3
Fehlerkorrektur	RS ¹¹¹ +Faltungscodes	BCH+LDPC
Träger-Rauschverhältnis (C/N in dB)	7,8	7,8
Nutzdatenrate (MBit/s)	44,4	58,8 (32 % Gewinn)
Anzahl der möglichen SD-Programme pro Kanal	10 (nach MPEG-2)	26 (nach MPEG-4 AVC)
Anzahl der möglichen HD-Programme pro Kanal	2 (nach MPEG-2)	6 (nach MPEG-4 AVC)

Tabelle 02: Parametervergleich DVB-S zu DVB-S2 (Beispiel)

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, würde bei DVB-S2, bei einem eingesetzten BCH-Code für den äußeren Fehlerschutz, einem LDPC-Code, für den inneren Fehlerschutz und bei einer 8 PSK Modulation, mit einer Coderate von 2/3, die einsetzbare Nutzdatenrate, pro Kanal 58,8 MBit/s betragen. Im Vergleich zu DVB-S würde sich die Nutzdatenrate dadurch um 14,4 MBit/s erhöhen. Dies kommt einem Kapazitätsgewinn von 32 Prozent gleich. In Kombination mit MPEG-4 AVC könnte man so innerhalb eines Kanals, also auf einen Transponder, bis zu 16 Programme in SDTV-Qualität mehr übertragen. Bei HDTV-Inhalten wären so bis zu 4 Programme zusätzlich möglich.

¹¹⁰ Zur Erklärung des Begriffes: EIRP, siehe: Glossar

¹¹¹ Reed Solomon

Bei einem anderen Beispiel, mit einer EIRP von 51 dBW, welches aber nicht als Tabelle dargestellt ist, kann bei DVB-S2, im Vergleich zu DVB-S sogar ein Kapazitätsgewinn von 36 Prozent realisiert werden. Die dafür eingesetzten Parameter sind eine bereits aus der ersten Generation bekannte QPSK-Modulation mit einer Coderate von $\frac{3}{4}$ und eine BCH und LDPC Fehlerschutzcodierung. Dadurch kann die Nutzdatenrate pro Kanal von 33,8 MBit/s bei DVB-S, auf 46 MBit/s bei DVB-S2 erhöht werden. Dies entspricht einer Steigerung von 12,2 MBit/s. Ebenfalls in Kombination mit dem Videokomprimierungsverfahren MPEG-4 AVC könnte man so bis zu 14 Programme in SDTV-Qualität mehr übertragen, bei HDTV wären es dann bis zu 3-4 Programme¹¹².

7.1.3 Zusammenfassung.

Wie man also sehen kann, ist der Kapazitätsgewinn und dadurch die Effizienzsteigerung der zweiten Generation des digitalen DVB-Standards für die Satellitenübertragung schon ziemlich beträchtlich. Und weil eben mehr Programme in einen einzigen Kanal passen, sinken so auch die Verbreitungskosten für die Programmanbieter. Im Gegensatz dazu können die Satellitenbetreiber wesentlich mehr Programme weiterleiten und so ihre eigene Gewinnspanne erhöhen.

Deshalb wurde DVB-S2 dankend und schnell von der Industrie angenommen und implementiert. Und nicht nur in Europa, sondern auch in den USA nutzen die Satellitenbetreiber bereits DVB-S2¹¹³. Mittlerweile ist die zweite Generation dabei die erste vollständig abzulösen. Aufgrund der gewählten Phasenlage, für die bei DVB-S2 neu hinzu gekommenen Modulationsarten, ist auch das Mischen von DVB-S- und DVB-S2-Signalen innerhalb eines Transponders möglich. Dadurch kann beispielsweise für einen DVB-S-Empfänger, auf einem Transponder, eine gewisse Anzahl von SDTV-Programmen übertragen werden. Ein DVB-S2-Empfänger der auf demselben Transponder empfängt, kann zusätzlich HDTV-Inhalte dekodieren, die als überlagerte 8PSK-Modulation in DVB-S2, auf dem QPSK-Signal von DVB-S liegen. So können die Konsumenten von DVB-S2 auch Programminhalte empfangen, die über DVB-S ausgestrahlt werden.

112 vgl.: DVB-S2 Fact Sheet, www.dvb.org

113 vgl.: DVB-S2 Fact Sheet, www.dvb.org

Die Satellitenbetreiber nutzen in der Gegenwart ausschließlich DVB-S2 für die Übertragung von HDTV-Programmen. Wer also HDTV über Satellit empfängt, nutzt so bereits automatisch einen DVB-S2 Empfänger.

7.2 DVB-T2

7.2.1 Übersicht.

DVB-T2 ist ein noch sehr junger Standard der zweiten Generation des digitalen Fernsehens. Er wurde als zweites nach DVB-S2 entwickelt und spezifiziert. Im Sommer 2008 verabschiedete der Lenkungsausschuss (Steering Board) des DVB-Projektes die Spezifikation mit dem langen Titel: „Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial broadcasting system¹¹⁴.“ Die Spezifikation von DVB-T2 ist das Ergebnis der Arbeit und des „Zusammenspiels“ von ca. 60 Ingenieuren und Wissenschaftlern aus ca. 45 Firmen weltweit.

Dabei ist die zweite Generation des digitalen Antennenfernsehens keine komplette Neuentwicklung, sondern basiert teilweise auf den Erfahrungen, die mit der ersten Generation gemacht wurden. Deshalb wurden auch viele Elemente aus DVB-T übernommen und verbessert. Zu nennen sei hier als Beispiel die OFDM-Modulation. Und auch wie bei der ersten Generation und wegen der großen Ähnlichkeit der Übertragungskanäle wurde Wert darauf gelegt sich wieder an dem Satellitenstandard, diesmal der zweiten Generation, zu orientieren. Da DVB-S2 bereits schon seit einigen Jahren existiert, konnte man so wertvolle Erfahrungswerte, die mit dem neuen System gemacht wurden, den Entwicklern von DVB-T2 zur Verfügung stellen.

7.2.1.1 Leistungsmerkmale.

Viele neue Möglichkeiten und verschiedene Einstellungsvarianten unter den einzelnen technischen Parametern sollen DVB-T2 zu einen noch flexibleren Standard werden lassen als dies schon beim Vorgänger der Fall war.

¹¹⁴ vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 3

Im Folgenden die wichtigsten Leistungsmerkmale:

- Man hat die Absicht, wie auch schon bei DVB-S2 aber besonders bei DVB-T2, die Übertragungsinhalte zu „verallgemeinern“, um dadurch zusätzlich neue Dienste, vor allem über das Internet, implementieren zu können. Deshalb wird es auch bei DVB-T2 anstelle eines MPEG-2 Transport Stroms, eine Generic Stream Encapsulation geben.
- Zu den aus DVB-T bekannten Kanalbandbreiten von 7 MHz und 8 MHz können beim Nachfolger zusätzlich Bandbreiten von 1,7 MHz, 5 MHz und 10 MHz gewählt werden¹¹⁵.
- Zusätzlich zur QPSK, 16-QAM und 64 QAM kommt eine 256 QAM, die man bereits aus dem digitalen Kabelstandard der ersten Generation kennt, als weitere Modulationsvariante hinzu.
- Die neuen Codes die für den inneren und äußeren Fehlerschutz angewendet werden, sind, genau wie bei DVB-S2, BCH in Kombination mit LDPC.
- Bei der OFDM-Modulation gibt es bei DVB-T2 wesentlich mehr Möglichkeiten die Anzahl der Unterträger wählen zu können. So soll DVB-T2 eine noch qualitativ bessere Übertragung gewährleisten. Hinzugekommen sind der 1k, der 4k, der 16k und der 32k Modus.
- Eine neue Technologie, rotierende Konstellation genannt, soll für eine signifikante Erhöhung der Robustheit des Signals in kritischen Übertragungskanälen, wie denen von DVB-T2 sorgen¹¹⁶.
- Ebenfalls gibt es einige Möglichkeiten mehr, die Länge des Schutzintervalls zu wählen. So kann je nach Einsatzsituation- und Gebiet dieser angepasst werden. Zu den schon bei der ersten Generation bekannten Schutzzeiten sind 19/256, 19/128 und 1/128 der gesamten Symboldauer hinzugekommen. So kann der längste Guard Interval mit 532 μ s gewählt werden.

115 vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 3
116 vgl.: DVB-T2 Fact Sheet, www.dvb.org

- Bei DVB-T2 wird die MISO (Multiple Input Single Output) Technik eingesetzt. Diese unterstützt die bereits vorhandenen Gleichwellennetze zusätzlich, indem nicht mehr exakt die gleichen Daten von den einzelnen Sendern innerhalb eines Gleichwellennetzes ausgestrahlt werden müssen. Im Gegensatz zu MIMO (Multiple Input Multiple Output) bleibt es so außerdem bei der Nutzung von nur einer Empfangsantenne, was einen wichtigen Bestandteil der kommerziellen Anforderungen darstellt.
- Außerdem ist in die Spezifikation eine neue, innovative Idee, nämlich die der Physical Layer Pipes (PLP) aufgenommen worden. PLP ermöglicht die Übertragung der verschiedensten Dienste, innerhalb eines Rundfunkkanals, mit jeweils ganz unterschiedlicher Robustheit. Abbildung 7 soll dies einmal darstellen.

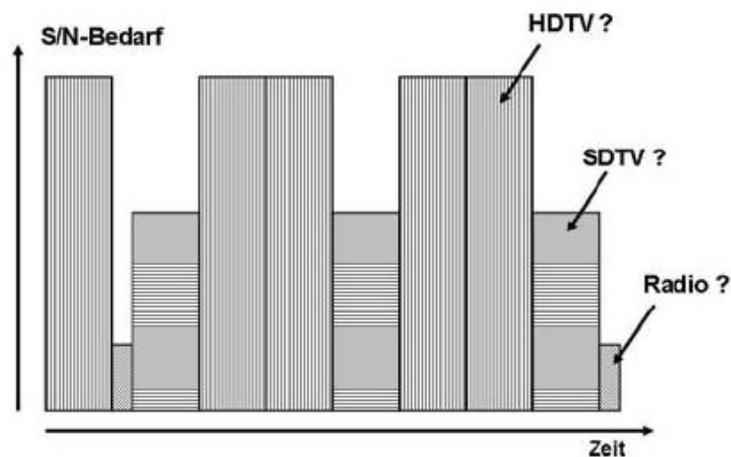


Abb.07: Das Konzept der Physical Layer Pipes bei DVB-T2

So ist unter anderen eine Übertragung von HDTV-Inhalten zu Empfangsgeräten über eine stationäre Dachantenne und von SDTV-Inhalten zu portablen, bzw. mobilen Endgeräten, mit kleineren Antennen und Displays, gleichzeitig möglich. Außerdem

können so zusätzlich und parallel Hörfunkprogramme mit übertragen werden, die unter ungünstigen Bedingungen von Kleinstgeräten empfangen werden können, wo gerade nur noch ein Störabstand von 1dB benötigt wird¹¹⁷.

7.2.2 DVB-T vs DVB-T2.

System	DVB-T	DVB-T2
Fehlerkorrektur und Coderate	RS+Faltungscodes 1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8	BCH+LDPC 1/2; 3/5; 2/3; 3/4; 4/5; 5/6
Schutzintervall	1/4; 1/8; 1/16; 1/32	1/4; 19/256; 1/8; 19/128; 1/16; 1/128; 1/32
Modulationsarten	QPSK; 16-QAM; 64-QAM	QPSK; 16-QAM; 64-QAM; 256 QAM
Modus der Unterträger (FFT)¹¹⁸	2k; 8k	1k; 2k; 4k; 8k; 16k; 32k
Kanalbandbreiten (MHz)	7; 8	1,7; 5; 7; 8; 10

Tabelle 03: Parametervergleich DVB-T zu DVB-T2 (Auszug)

Tabelle 03 zeigt einmal die wichtigsten Veränderungen von DVB-T2 gegenüber DVB-T auf. Im Vergleich zu seinem Vorgänger bietet DVB-T2 zusätzliche Coderaten von 3/5 und 4/5. Auch die Unterträger der OFDM-Modulation bieten bei der zweiten Generation eine Fülle weiterer Möglichkeiten. So kann man jetzt zwischen den 1k Modus mit 853 und dem 32k Modus mit 27.841 nutzbaren Unterträgern wählen¹¹⁹.

Die Kapazitätssteigerung, die von DVB-T zu DVB-T2 möglich sein kann, ist im Vergleich zum Satellitenstandard um einiges höher. So hat sich die maximale Datenrate in einem 8 MHz Kanal von ca. 32 MBit/s bei DVB-T, auf ca. 50 MBit/s bei DVB-T2 erhöht. Dies entspricht einer Steigerung von ca. 18 MBit/s und somit einer Effizienzerhöhung von mehr als 50 Prozent, ohne dass man dafür in leistungsfähigere und mehr Gleichwellensender investieren muss und bei gleichbleibender Qualität, im Vergleich zur ersten Generation¹²⁰.

¹¹⁷ vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 3

¹¹⁸ FFT- Fast Fourier Transformation

¹¹⁹ vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 3

¹²⁰ vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 4

Und auch durch den Einsatz der MISO-Technologie kann bei gleicher Sendeleistung, mit einem einfachen Sendernetz 30 Prozent Fläche zusätzlich abgedeckt werden. Unter der Nutzung des längsten verfügbaren Schutzintervalls von 532 μ s können mit DVB-T2 sogar landesweite Gleichwellennetze aufgebaut werden, in welchem Signale noch konstruktiv zu der an der Empfangsantenne erfassten Leistung beitragen, die auf dem Weg von den einzelnen Sendern über Entfernungen von 170 Km eintreffen.

7.2.3 Zusammenfassung.

Bei der Vorstellung von DVB-T2 kann es sich hier wirklich nur um einen groben Überblick der einzelnen neuen Technologien handeln. An dieser Stelle auf jede neu implementierte Technologie einzeln einzugehen würde sicherlich den Rahmen sprengen. Dennoch konnte man auf den zuvor beschriebenen Seiten bereits feststellen, wie vielseitig und flexibel einsetzbar dieser neue digitale Antennenstandard ist. Im Vergleich zu seinem Vorgänger kommt dieser Technologiefortschritt schon fast einem „Quantensprung“ gleich.

Neben der Robustheit des Signals im Übertragungskanal, ist der Kapazitätsgewinn bei gleicher Qualität ebenfalls enorm. Dadurch ist es nun möglich HDTV- und das mit entsprechender Programmvierfalt-über die Antenne auszustrahlen. In vielen Ländern wird es HDTV über die Terrestrik wohl nur mit DVB-T2 geben. Das PLP Konzept sei hier nocheinmal angesprochen. Es macht DVB-T2 dadurch wohl zu dem vielseitigsten Standard innerhalb der DVB-X2-Familie.

Kurz nachdem die Spezifikation von DVB-T2 durch den Lenkungsausschuss verabschiedet wurde, begann die britische Rundfunkanstalt BBC (British Broadcasting Corporation) mit ersten Testsendungen vom Sendestandort Guildford, in der Nähe von London. Anfang 2010 gab es dann bereits die erste DVB-T2 Empfangsbox in den „Inselläden“ zu kaufen¹²¹. Derzeit¹²² soll bereits die Hälfte der britischen Bevölkerung HDTV über DVB-T2 empfangen können.

Und auch die öffentlich- rechtlichen Rundfunkanstalten in Deutschland haben bereits signalisiert den Gedanken an HDTV über DVB-T2-langfristig-mitzudenken und so zu unterstützen.

121 vgl.: „Erster DVB-T2 Empfänger in Großbritannien auf dem Markt“, www.digitalfernsehen.de
122 August 2010

Dennoch werden Länder, die wie Deutschland bereits ein flächendeckendes Sendernetz mit der ersten Generation aufgebaut haben wohl noch eine Weile, vor allem wegen der erneuten Kosten, mit der Umstellung warten. Das es in Großbritannien dazu gekommen ist, ist allein der BBC zu verdanken und sicherlich auch den Stolz in den Köpfen der Verantwortlichen, dass das Land schon immer Vorreiter in Sachen „Digitalantenne“ war.

Doch auch in Deutschland gibt es bereits erste Tests mit der neuen Technik. So hat das IRT (Institut für Rundfunktechnik) in München seit Ende 2009 einen Testsender installiert. Die eingesetzten Parameter sind unter anderen eine 256-QAM, ein Schutzintervall von 1/128, die Fehlerschutzcodierung BCH+LDPC, mit einer Coderate von 5/6 und einer OFDM im 8k Modus¹²³. Und auch in anderen Teilen Deutschlands finden derzeit erste Testbetriebe statt.

7.3 DVB-C2

7.3.1 Übersicht.

DVB-C2 ist der jüngste Spross, innerhalb der zweiten digitalen Generation der „klassischen Übertragungswege“ von DVB. Anders als bei der ersten Generation wechselten DVB-T2 und DVB-C2 so die Plätze. Wenn man den Gedanken einer Standardfamilie der zweiten Generation von DVB weiterdenken wollte, war dies nur der nächst logische Schritt. Auch hier stehen die Erhöhung der in einem Kanal übertragenen Datenrate zum einen und zum anderen die Anpassung an DVB-S2 und DVB-T2 im Mittelpunkt der Überlegungen.

Wie bei den anderen beiden neuen Standards basiert die Systementwicklung auf den Ergebnissen einer Technologiestudie, die Grundlage für die Erarbeitung von kommerziellen Zieldefinitionen war. Auf Grund dessen muss erwähnt werden, dass bereits bei DVB-C in einen einzigen 8 MHz Kanal Datenraten von 51 MBit/s übertragen werden können. Dies entspricht so der Datenübertragungsrate, die bei DVB-T2 maximal möglich wäre. Die Einführung von HDTV über die erste Generation des digitalen Kabelstandards, wäre so also problemlos machbar. Doch möchten die Kabelnetz-

¹²³ vgl.: „IRT sendet DVB-T2 Testsignale“, www.irt.de

betreiber in Zukunft nicht nur HDTV, sondern auch andere neue Dienste ihren Endkunden zur Verfügung stellen um sich so unter anderen von der Konkurrenz, also DVB-S2 und DVB-T2, abzuheben. Um diesen, beispielsweise Video on Demand-Dienste und zwar ebenfalls in HD-Qualität anbieten zu können, wären aber Datenraten um die 70 MBit/s bis 80 MBit/s unbedingt erforderlich¹²⁴.

Im Frühjahr 2007 wurden vom Technical Module innerhalb des DVB-Projektes Arbeiten für die Entwicklung der zweiten Generation von DVB-C begonnen¹²⁵. Das Institut für Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Braunschweig, welches auch maßgeblich an der Entwicklung und Spezifikation der beiden anderen neuen Systeme beteiligt war, wäre hier als die „treibende Instanz“ zu nennen. Schon zwei Jahre später, also im Frühjahr 2009, konnten die Arbeiten an der Spezifikation von DVB-C2 abgeschlossen werden.

7.3.1.1 Leistungsmerkmale.

DVB-C2 eröffnet den Kabelnetzbetreiber vollkommen neue Möglichkeiten zur Nutzung der einzelnen, vor allem neuen technischen Parameter. Bei der Entwicklung orientierte man sich deshalb auch an DVB-T2, um dessen Flexibilität und Vielseitigkeit nahe zu kommen. So bietet die zweite Generation von DVB-C eine Fülle an Optionen, die miteinander kombiniert werden können, um so die Übertragungsqualität, Datenübertragungsrate und die Robustheit des Signals, in Abhängigkeit zu den genutzten Diensten, den verschiedensten Charakteristiken des jeweiligen Kabelnetzes anpassen zu können.

Die wichtigsten neuen Leistungsmerkmale sind:

- Auch hier wird es als Eingangsschnittstelle die neue Generic Stream Encapsulation-Technik geben. So ist es möglich insgesamt 256 voneinander unabhängige Streams, in Form von sogenannten Data Slices (Datenscheiben) in einem einzigen DVB-C2 Signal unterzubringen¹²⁶.

124 vgl.: „Weltpremiere in Braunschweig: DVB-C2 erstmalig „live“ übertragen“, tu-braunschweig.de

125 vgl.: „DVB-Digitale Fernsehtechnik“, Ulrich Reimers, 2006, Seite 253

126 vgl.: „DVB-C2 auf dem Weg in die Implementierung“, Christoph Schaaf, Dirk Jaeger

- Die Fehlerschutzcodierung erfolgt, statt mit einem Reed Solomon-Code, ebenfalls mit einem BCH- und LDPC-Code, die in diesem Fall unterschiedliche Coderaten von 2/3 bis 9/10 unterstützen.
- Zusätzlich zu den bisher bei DVB-C nutzbaren fünf Modulationsarten von 16-QAM bis 256-QAM, werden zwei weitere Möglichkeiten, eine 1024-QAM und eine 4096-QAM hinzukommen. Somit können jetzt 10 Bit pro Symbol bei 1024-QAM, bzw. 12 Bit pro bei der 4096-QAM dargestellt werden¹²⁷.
- Die zuvor angesprochene Anlehnung an den neuen Antennenstandard wird am offensichtlichsten durch die neu hinzugekommene OFDM-Modulation. So müssen keine festen Kanalbandbreiten mehr festgelegt werden. Vielmehr können dadurch dem Empfangsgerät variable Kanalbandbreiten signalisiert werden, damit sich dieses immer nur so viele OFDM-Träger aus dem belegten Band herausucht, wie der für diesen Zeitpunkt genutzte Service benötigt¹²⁸.
- Ebenfalls in Anlehnung zu DVB-T2 wird bei DVB-C2 ein Schutzintervall von 1/64 und 1/128 der gesamten Symboldauer eingeführt.

7.3.2 DVB-C vs. DVB-C2.

System	DVB-C	DVB-C2
Eingangsschnittstelle	Single Transportstream (TS)	Multiple Transport Stream und Generic Stream Encapsulation (GSE)
Modus	Constant Coding and Modulation	Variable / Adaptive Coding and Modulation
Modulationsarten	16 bis 256-QAM	16 bis 4096-QAM
Modulationssysteme	Einträger QAM	OFDM
Fehlerschutzverfahren (FEC)	Reed Solomon (RS)	LDPC + BCH

¹²⁷ vgl.: DVB-C2 Fact Sheet, www.dvb.org

¹²⁸ vgl.: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“, Prof. Reimers, Seite 5

System	DVB-C	DVB-C2
Interleaving	Bit-Interleaving	Bit-Time- und Frequenz-Interleaving
Guard Interval	Nicht verfügbar	1/64 oder 1/128
Piloten	Nicht verfügbar	Scattered und Continual

Tabelle 04: Parametervergleich DVB-C zu DVB-C2 (Auszug)

Beim Vergleich zwischen DVB-C und DVB-C2 soll Tabelle 04 einmal die wichtigsten Veränderungen anschaulich verdeutlichen.

Aufgrund der Technologiestudie sahen die kommerziellen Anforderungen bei DVB-C2 eine Kapazitätssteigerung, bzw. Effizienzerhöhung von mehr als 30 Prozent, gegenüber DVB-C vor. Durch die Auswahl der entsprechenden QAM Modulation, in Kombination mit einer geeigneten Coderate, kann das DVB-C2 Signal bei einem Signal-Rauschabstand zwischen 11 dB und 35 dB und mit einer Granularität von ca. 2 dB gut an die Eigenschaften des Kabelkanals angepasst werden, sodass eine sehr effiziente Übertragung möglich ist. So kann DVB-C2 gegenüber DVB-C 30 bis 50 Prozent höhere Datenraten übertragen¹²⁹. Wenn durch die Analogabschaltung in absehbarer Zeit zusätzlich weitere Ressourcen in den Kabelnetzen frei werden, könnte mit dem neuen System die Kapazität sogar um mehr als 60 Prozent gesteigert werden¹³⁰.

Als Beispiel sei an dieser Stelle die Kombination der neu hinzu gekommenen 4096-QAM, bei der Fehlerschutzcodierung BCH+LDPC, mit einer Coderate von 9/10 genannt. Durch Einsatz dieser Parameter kann bei DVB-C2 damit die maximale Effizienz erreicht werden. Das bedeutet, dass in einem 8 MHz-Kanal, so eine Datenübertragungsrate von 79 MBit/s zur Verfügung steht, was einer Effizienzerhöhung von 56 Prozent entsprechen würde.

Die Effizienz würde sich auch weiter steigern lassen. Und zwar auf 83 MBit/s und pro 8 MHz. Mann müsste die Bandbreite des DVB-C2 Signals so auf 64 MHz erweitern. Derartig breitbandige Signale würden die Realisierung von sogenannten „Big Pipes“, mit extrem hohen Übertragungskapazitäten erlauben. So wäre im Falle von 64 MHz

¹²⁹ vgl.: „DVB-C2 auf dem Weg in die Implementierung“, Christoph Schaaf, Dirk Jaeger

¹³⁰ vgl.: DVB-C2 Fact Sheet, www.dvb.org

eine Datenübertragungsrate von unglaublichen 664 MBit/s zu erreichen¹³¹.

Die Vorteile von DVB-C2, gegenüber seinem Vorgänger, lassen sich auch sehr gut anhand des folgenden Beispiels erläutern. Wenn in Zukunft die analogen Angebote stetig abnehmen, so ist es dank der flexiblen Bandbreitennutzung von DVB-C2 möglich die frei gewordenen Kanäle exakt mit der zur Verfügung stehenden Bandbreite durch DVB-C2 zu belegen. Unter Verwendung der neu hinzugekommenen Modulationsvariante 1024-QAM, würde so eine Datenübertragungsrate von ca. 115 MBit/s zur Verfügung stehen. Mit MPEG-4 AVC und unter Einsatz eines statistischen Multiplexes könnte man mit DVB-C2 in nur einem einzigen Kanal bis zu 14 HDTV-Programme und das in guter Qualität übertragen¹³².

Abbildung 8 zeigt, was in heutigen, modernen HFC-Kabelnetzen, unter Einsatz von DVB-C2, erreicht werden kann.

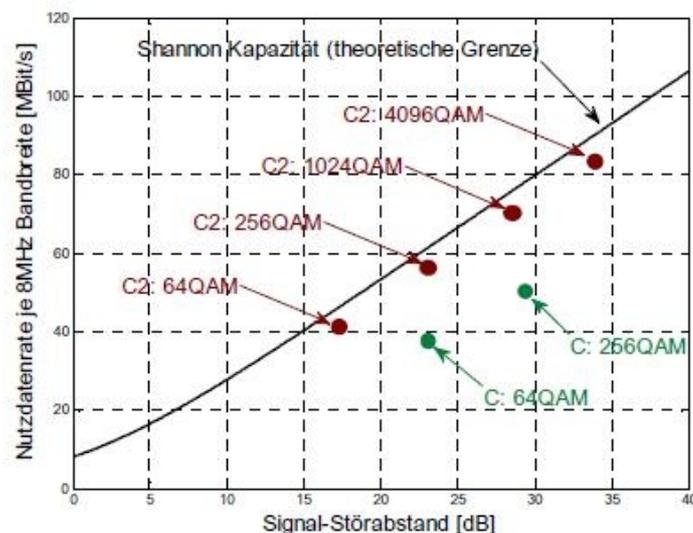


Abb.08: Mögliche Nutzdatenraten bei DVB-C2, im Vergleich zu DVB-C, in einem 8 MHz-Kanal

131 vgl.: „DVB-C2 auf dem Weg in die Implementierung“, Christoph Schaaf, Dirk Jaeger

132 vgl.: „DVB-C2 auf dem Weg in die Implementierung“, Christoph Schaaf, Dirk Jaeger

Auch hier und wie bei den beiden Familienmitgliedern DVB-S2 und DVB-T2 kommt man der theoretischen Leistungsgrenze des Übertragungskanals so nahe, dass man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit behaupten kann, dass es wohl keine dritte Generation mehr geben wird. Dabei ist die Leistungssteigerung der zweiten Generation, im Vergleich zur Ersten, deutlich zu erkennen. Da bereits DVB-C hohe Datenraten, im Vergleich zu beispielsweise DVB-T ermöglichte, ist die Effizienzsteigerung von 30 bis 60 Prozent noch bemerkenswerter.

7.3.3 Zusammenfassung.

Durch die Orientierung von DVB-C2 an den digitalen Satelliten- und Antennenstandard der zweiten Generation, ist es den Ingenieuren und Wissenschaftlern gelungen, den wohl weltweit flexibelsten digitalen Kabelstandard zu entwickeln. Je nach genutzten Service können so Kanalbandbreite und Datenrate unterschiedlich gewählt werden. Die neu hinzugekommenen Technologien und Systemvarianten, beispielsweise bei der Modulation, der Coderate und dem Schutzintervall lassen es zu, dass Qualität und Robustheit des Signals an die unterschiedlichsten Bedürfnisse und Netzcharakteristika angepasst werden können.

Bereits in der Einleitung stellte sich die Frage, ob die Kabelnetzbetreiber in naher Zukunft in den neuen Standard DVB-C2 investieren wollen. Diese Frage kann nun mit einem klaren „Ja“ beantwortet werden. Denn immerhin hat DVB-C doch schon einige Jahre auf dem „Buckel“ und es würde sich sicherlich, bestimmt nicht kurzfristig, aber dennoch mittel bis langfristig für die Netzanbieter lohnen, aufgrund der nicht unwesentlichen Effizienzsteigerung, in die zweite Generation des digitalen Kabelstandards zu investieren.

Im Rahmen der DVB-Messe, die bereits im Frühjahr 2010 in Lissabon stattfand, kündigten aufgrund dessen 9 europäische Kabelnetzbetreiber an, demnächst mit der Umrüstung ihrer Technik von DVB-C auf DVB-C2 zu beginnen. Darunter befinden sich auch die beiden größten Deutschen Netzbetreiber Kabel Deutschland und Unitymedia. Dadurch sollen die Kabelnetze für ein breiteres HDTV-Angebot vorbereitet werden. Aber auch neue Dienste, wie Video on Demand sollen so in Zukunft den Kabelendkunden angeboten werden¹³³.

¹³³ vgl.: „Kabel Deutschland für neuen Kabelstandard“, www.digitalfernsehen.de

Mittlerweile sind auch die ersten professionellen Geräte für die Netzbetreiber verfügbar. Auch wird es sicherlich nicht mehr lange dauern bis entsprechende Endgeräte in Form von Empfangsboxen für den Verbraucher auf dem Markt erhältlich sind. Die Industrie ist im Moment jedenfalls eifrig damit beschäftigt die neuen Technologien in die Hardware zu implementieren. Mit ersten Tests soll noch Ende diesen Jahres begonnen werden. Doch mit einer schrittweisen Einführung von DVB-C2 ist wohl nicht vor Mitte 2011 zu rechnen. Und auch diese wohl sehr optimistische Haltung sollte nur unter Vorbehalt erwähnt werden, da besonders die Implementierung der neuen Technik in entsprechende Geräte, die Hersteller vor noch ungelöste Probleme stellt¹³⁴.

134 vgl.: „Kabel Deutschland für neuen Kabelstandard“, www.digitalfernsehen.de

8 Fazit

Nach der Vorstellung der zweiten Generation von DVB-S, DVB-C und DVB-T ist es nun an der Zeit ein kurzes Fazit zu ziehen. Die einzelnen neuen Systeme sind der ersten Generation technisch deutlich überlegen. Mit DVB-S2, DVB-T2 und DVB-C2 verfügt man nun über Technologien, die in Kombination mit MPEG-4 AVC, den Programmanbietern, Netzbetreibern, aber auch Endkunden vollkommen neue Möglichkeiten der Nutzung eröffnen.

Alle drei neuen Systeme sind im Vergleich zu ihren Vorgängern wesentlich flexibler geworden. So werden vor allem die Netzbetreiber in die Lage versetzt, individuell und je nach Einsatz- bzw. Netzsituation die vielen unterschiedlichen technischen Parameter untereinander kombinieren und wählen zu können.

Die Effizienzsteigerung von bis zu 60 Prozent ist enorm. HDTV auf breiter Ebene steht nun absolut nichts mehr im Wege. Durch die Verknüpfung und Anpassung der Datenströme an das Internetprotokoll, können so endlich neue digitale Dienste implementiert und den Nutzer zur Verfügung gestellt werden.

Auch durch die Anwendung neuer Fehlerschutzcodes und zusätzlichen innovativen Technologien, ist das Signal so deutlich robuster geworden. Zwar können Übertragungsfehler nie komplett ausgeschlossen werden, doch ist die Wahrscheinlichkeit, im Vergleich zur ersten Generation, deutlich gesunken.

Ausblick in die Zukunft.

Die neue DVB-X2-Familie kommt, unter Einsatz der neuen Technologien, den theoretischen Grenzen der Übertragungseffizienz so nahe, dass eine Verbesserung daher kaum mehr möglich ist. So könnte es passieren, dass es wohl niemals eine Abschlussarbeit zum Thema „DVB-X3“ geben wird. Trotzdem kann man sich sicher sein, dass die Entwicklung auch beim digitalen Fernsehen wohl nie stagniert und es immer einzelne Parts zu verbessern gilt. Als Beispiel dafür wäre die Einbindung einer noch effizienteren Videocodierung denkbar. Man darf also gespannt darauf sein, was die Ingenieure und Wissenschaftler auch weiterhin und für die Zukunft an technischen Entwicklungen und Innovationen hervorbringen werden.

9 Abkürzungsverzeichnis

APSK	Amplitude and Phase Shift Keying (Ist eine digitale Modulationsart, die die Daten durch Änderung an der Amplitude und der Phase diese einem Trägersignal aufmodulieren. Die APSK kann auch als eine Untergruppe der QAM angesehen werden)
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich- rechtlichen Rundfunkanstalten in Deutschland (In der ARD gestalten die 9 regionalen Rundfunkanstalten der einzelnen Länder das Programm gemeinsam)
ATSC	Advanced Television Systems Committee (In Amerika entwickeltes System für digitales Fernsehen. Genau wie bei NTSC handelt es sich auch hier um eine Organisation, welche die nach ihr benannten digitalen Standards entwickelt)
AVC	Advanced Video Coding (Hocheffiziente Videocodierungstechnologie, auch als H.264 bezeichnet und innerhalb von MPEG-4 als Teil 10 verankert. AVC wird hauptsächlich bei der Komprimierung von HDTV-Inhalten angewendet)
BBC	British Broadcasting Corporation (Englische Rundfunkanstalt und "Förderer" von DVB-T2)
BCH-Codes	Bose Chaudhuri Hoquenghem (Sind zyklische fehlerkorrigierende Codes, welche in der digitalen Datenübertragung- und Speicherung eingesetzt werden)
CAM	Conditional Access Module (Dieses Modul wird in die CI-Schnittstelle hineinsteckt und dient der Aufnahme einer Smartcard → Siehe: Glossar)
CATV	Community Antenna Television (Heißt auf deutsch übersetzt: Gemein-

	schaftsantennenanlage und hat seinen Ursprung in den USA. Auf Basis dessen entstanden die ersten Kabelfernsehnetze)
CI	Common Interface (Schnittstelle für DVB Empfangsgeräte, um Bezahlfernsehangebote nutzen zu können)
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (Die Verbindung der Vorwärtsfehlerkorrektur mit der OFDM-Modulation führt zu dieser Bezeichnung)
DF1	Digitales Fernsehen 1 (Erster Bezahlfernsehen-Anbieter in Deutschland, der digital sendete)
DMB	Digital Multimedia Broadcasting (In Deutschland entwickeltes digitales Übertragungssystem für die Video/-Audio- und Datenübertragung)
DVB	Digital Video Broadcasting (Digitales Rundfunksystem)
DVB-C	Digital Video Broadcasting-Cable (Digitaler Rundfunkstandard für die Verbreitung über das Kabelnetz)
DVB-S	Digital Video Broadcasting-Satellite (Digitaler Rundfunkstandard für die Verbreitung über Satellit)
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial (Digitaler Rundfunkstandard für die Verbreitung via Antenne)
EBU	European Broadcasting Union (Die Europäische Rundfunk Organisation ist ein Zusammenschluss von Rundfunkanstalten, aus mehreren Ländern Europas, Nordafrikas und Vorderasiens, mit Sitz in Genf. Unter anderen standardisiert sie technische Neuentwicklungen aus dem Bereichen Hörfunk und Fernsehen)
ELG	European Launching Group (War eine europäische Vereinigung zur Erarbeitung digitaler Übertragungsstandards. Daraus gründete sich das internationale Industriekonsortium DVB-Projekt)

EPG	Electronic Programm Guide (Elektronische Fernsehzeitung, die man über eine entsprechende Bildschirmoberfläche betrachtet und mit der Fernbedienung steuert)
ERIP	Equivalent isotropically radiated Power (Auf deutsch: Äquivalente isotrope Sendeleistung. Allgemein und vereinfacht kann man diese auch als Strahlungsleistung der Antenne bezeichnen)
FEC	Forward Error Correction (Auf deutsch: Vorwärtsfehlerkorrektur. Gehört zu den Fehlerkorrekturverfahren und dient dazu die Fehlerrate bei der Speicherung und Übertragung digitaler Daten zu senken und im Idealfall gänzlich zu beseitigen)
GSE	Generic Stream Encapsulation (Neue Technologie, die bei DVB-X2 eingesetzt wird, um neue Dienste durch das Internet implementieren zu können)
HD-MAC	High Definition-Multiplexed Analogue Components (Europäisches analoges HDTV-System, welches zum einheitlichen HD-Sendestandard werden sollte)
HDTV	High Definition Television (Hochauflösende Darstellung des Fernsehbildes. Dieses sorgt beim Betrachter für ein wesentlich schärferes Bild. Details werden dadurch besser dargestellt oder überhaupt erst sichtbar)
HFC	Hybrid Fiber Coax-Netz (So wird in der Fachsprache ein Fernseekabelnetz bezeichnet, welches eine hybride Struktur, bestehend aus Glasfaser- und Koaxialkabelnetz, aufweist)
IDR	Initiative Digitaler Rundfunk (Wurde 1998 auf Beschluss der Bundesregierung gegründet, um die Digitalisierung des Rundfunks in Deutschland voranzutreiben)
IRT	Institut für Rundfunktechnik (Gemeinsame Forschungseinrichtung der öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten im deutschsprachigen Raum, mit Sitz in München)

ISDB	Integrated Service Digital Broadcasting (In Japan entwickeltes System für digitales Fernsehen)
ITU	International Telecommunication Union (Weltweit tätige Unterorganisation der Vereinten Nationen, kurz UN, mit Sitz im schweizerischen Genf, welche sich mit technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt)
LDPC-Code	Low Density Parity Check (Sind lineare Blockcodes, die für die Fehlerkorrektur bei der Übertragung und Speicherung von digitalen Daten angewendet werden)
LNB	Low Noise Block Converter (Auf deutsch: Rauscharmer Signalumsetzer. Ein LNB ist eine elektronische Baugruppe, die sich genau im Brennpunkt einer Parabolantenne befindet)
MHP	Multimedia Home Plattform (Interaktive TV-Plattform für die Übertragung und Darstellung interaktiver Dienste, die auf der Programmiersprache Java basiert)
MIMO	Multiple Input Multiple Output (MIMO ist in diesem Zusammenhang die Bezeichnung für eine Technik, die innerhalb eines Sendernetzes mehr als nur eine Empfangsantenne benötigt)
MISO	Multiple Input Single Output (MISO ist eine Technologie die DVB-T Gleichwellennetze unterstützt und auch weiterhin nur eine Empfangsantenne benötigt)
MPEG	Moving Picture Expert Group (Auf deutsch: Expertengruppe für bewegte Bilder. Befasst sich mit der Entwicklung und Standardisierung von Video- und Audiokompression und ist weltweit tätig und anerkannt)
MUSE	Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding (Ein in Japan entwickeltes, analoges, Kompressionsverfahren und Übertragungssystem für HDTV-Signale)

NHK	Nippon Hoso Kyokai (Japanischer Rundfunksender und "HDTV-Pionier")
NTSC	National Television Systems Committee (Amerikanische Institution und weltweit erste Fernsehnorm, mit der gleichen Bezeichnung)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex (Ist ein spezielles digitales Mehrträgermodulationsverfahren, welches mehrere orthogonale Träger-signale zur Übertragung verwendet)
PAL	Phase Alternation Line (In Deutschland entwickelte Farbfernsehnorm, mit der das Fernsehbild im analogen Verfahren zum Konsumenten übertragen wird)
PLP	Physical Layer Pipes (PLP ist eine neue Technologie, die bei DVB-T2 angewendet wird und es ermöglicht, verschiedene Dienste innerhalb eines Kanals mit unterschiedlicher Robustheit anzuwenden)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Ist eine digitale Modulationsvariante, welche die Amplitudenmodulation und die Phasenmodulation miteinander kombiniert)
QEF	Quasi Error Free (Geeignete Fehlerkorrekturverfahren stellen ein Bild auf Empfängerseite "quasi Fehlerfrei" dar. Hier wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass es zu eindeutigen Fehlern in der Übertragung kommt, gegen Null geht)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Die Quadraturen Phasenumtastung, auch "4PSK" genannt, ist ein digitales Einträgermodulationsverfahren)
RRC 06	Regional Radiocommunication Conference (Die RRC 06 war eine Funkplanungskonferenz, welche in Genf, im Jahr 2006 stattfand. Diese legte die Frequenzen zur Verbreitung des digitalen Rundfunks fest.)
RTL	Radio Television Luxemburg (Privater deutscher Programmanbieter der "ersten Stunde")

SDTV	Standard Definition Television (Konventionelle Darstellung des Fernsehbildes auf dem Bildschirm. Aufgrund der geringen Auflösung sind die Bildpunkte bei geringen Betrachtungsabstand zu erkennen)
SECAM	Sequentiel Couleur a Memoire (In Frankreich entwickelte weltweit dritte Fernsehnorm, zur Übertragung von analogen Fernsehsignalen)
SFN	Single Frequency Network (Ein sogenanntes Gleichwellennetz (→ Glossar), bei dem alle Sender innerhalb eines terrestrischen Netzes mit der gleichen Frequenz arbeiten)
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers (Internationaler Verband, aus dem Bereich professioneller Film- und Videotechnik mit Sitz im amerikanischen White Plains. Diese Vereinigung dient unter anderem dem Zweck, Standards zu dokumentieren)
SNR	Signal to Noise Ratio (Auf deutsch: Signal-Rausch Verhältnis. Siehe Glossar→ Störabstand)
UHF	Ultra High Frequency (So bezeichnet man elektromagnetische Wellen, mit einem Frequenzbereich von 300 MHz bis 3 GHz)
VHF	Very High Frequency (In Analogie zu VHF, aber im Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 Mhz.)
VOD	Video on Demand (Auf deutsch: Video auf Abruf. Onlinevideothek, in der man sich Filme gegen Bezahlung, entweder downloaden oder im Streamingverfahren anschauen kann)
ZDF	Zweites Deutsches Fernsehen (Wurde in den Sechzigern als Alternative zur ARD, als zweite öffentlich- rechtliche Rundfunkanstalt gegründet)

10 Glossar

Auflösung (Bildschirm).

Bei der Anzahl der Bildpunkte (Pixel) auf einem Bildschirm (Display) handelt es sich um die Auflösung. Bei der vertikalen Auflösung spricht man von der Anzahl der Zeilen, bei der horizontalen Auflösung von der Anzahl der Bildpunkte innerhalb einer Zeile. Umso mehr Zeilen (vertikal) und Bildpunkte pro Zeile (horizontal) innerhalb eines Bildschirms dargestellt werden, desto detailreicher und schärfer ist das Bild.

Backbone.

Backbone ist ein Wort aus dem englischsprachigen Raum und heißt auf deutsch soviel wie: Rückrat, bzw. Hauptstrang. Innerhalb der Telekommunikationstechnik wird dieses Wort für den verbindenden Kernbereich eines Telekommunikationsnetzes mit sehr hohen Datenübertragungsraten bezeichnet.

Bandbreitenausnutzung.

Die Bandbreitenausnutzung sagt aus, wieviele Bits pro Sekunde und pro benötigter Bandbreite übertragen werden können.

Bit.

Bit ist eine Bezeichnung aus der Digitaltechnik. Dabei ist Bit die Abkürzung für „Binary Digit“ und heißt ins Deutsche übersetzt: Binäre Zahl. Wie es das Wort „binär“ schon ausdrückt, handelt es sich hierbei um eine Zahl die bei einem Bit genau zwei Zustände darstellen kann, nämlich 0 oder 1.

Byte.

Byte ist ein Mengenbegriff in der Digitaltechnik und Informatik. 1 Byte entspricht dabei genau 8 Bit.

Coderate.

Die Coderate R ist das Verhältnis zwischen dem eigentlichen Nutzsignal und dem Gesamtsignal. Das Gesamtsignal setzt sich zusammen aus den eigentlichen Nutzbits und der Menge der gesamten Fehlerschutzbits.

Folglich ist:

$$\text{Gesamtsignal} = \text{Nutzbits} + \text{Summe der Fehlerschutzbits.}$$

$$\text{Coderate} = \text{Nutzsignal} / \text{Gesamtsignal}$$

Die Qualität, bzw. die Wirksamkeit des Fehlerschutzes hängt unmittelbar von der gewählten Coderate, also der Anzahl der gesamten Fehlerschutzbits, ab. Bei kleiner Coderate von zum Beispiel $\frac{1}{2}$, ist ein starker Fehlerschutz vorhanden, wohingegen bei einer Coderate von beispielsweise $\frac{7}{8}$ der Fehlerschutz eher gering ausfällt.

Um so höher allerdings der Fehlerschutz ausfällt, desto weniger Platz ist für das eigentliche Nutzsignal vorhanden. Folglich sinkt die einsetzbare Nutzdatenrate.

Deinterlacing.

Das Deinterlacing, zu deutsch: Zeilenentflechtung, bezeichnet ein Verfahren bei dem Bilder eines im Zeilensprungverfahren übertragenen Videosignals in Vollbilder konvertiert (umgewandelt) werden müssen. Insbesondere gilt das für Flachbildschirme, welche ausschließlich mit Vollbilddarstellung arbeiten.

Encoder.

Unter einem Encoder, zu deutsch: Kodierer, versteht man ein System, bzw. eine technische Einheit, die ein bestimmtes Signal (Audio, Video, ect.) in ein für einen bestimmten Kanal geeignetes Format umwandelt. Ein Kodierer arbeitet dabei immer nach einer Kodiervorschrift, damit der Decodierer auf der Empfängerseite das Signal wieder in das ursprüngliche Format zurückkonvertieren (zurückwandeln) kann.

ERIP.

Dabei handelt es sich um die Abkürzung der Äquivalenten isotropen Sendeleistung

einer Antenne. Diese ist das Produkt, der in eine Sendeantenne eingespeisten Leistung, multipliziert mit deren Antennengewinn.

Gleichwellennetz.

Bei einem Gleichwellennetz handelt es sich um ein terrestrisches (erdnahes) Sendernetz, bei welchem mehrere Sender vollkommen synchron und unter Benutzung derselben Frequenz, absolut identische Datenströme ausstrahlen. Die Topographie eines solchen Sendernetzes wird im wesentlichen durch den maximal zulässigen Abstand benachbarter Sender beschrieben.

LNB.

Ein LNB (→ Abkürzungsverzeichnis) ist eine elektronische Baugruppe, die sich genau im Brennpunkt einer Parabolantenne befindet. Das LNB bündelt die hochfrequenten Mikrowellen (im Gigahertzbereich), die es von einem Satelliten aus dem All empfängt und wandelt diese rauscharm in niederfrequenteren Wellen (im Megahertzbereich) um, sodass die weitere Übertragung der Signale über ein Koaxialkabel, bis hin zum Receiver gewährleistet werden kann.

Mehrwegeempfang.

Mehrwegeempfang ist ein Problem bei der erdnahen (terrestrischen) Verbreitung von Signalen. Durch Bebauung, Bewuchs und topografischer Lage des Umfeldes der Sende- und Empfangsantennen kann es dazu kommen, dass das Signal des Senders den Empfänger nicht nur auf direkten Wege erreicht. So kann eine Reflexion an Häuserwänden oder Bergen beispielsweise dazu führen, dass das Signal mehrfach und mit Laufzeitunterschieden beim Empfänger ankommt. Dies führt in der Konsequenz zu groben Signalverfälschungen, bis hin zur kompletten Auslöschung.

Modulation.

Die Modulation (vom lat. modulatio, zu deutsch: Takt, Rhythmus) beschreibt in der Nachrichtentechnik ein Verfahren, bei dem ein zu übertragendes Nutzsignal, wie beispielsweise Musik und Bilder, ein sogenanntes Trägersignal verändert. Dadurch wird die Übertragung des niederfrequenten Nutzsignals durch das höherfrequente Trägersignal ermöglicht.

Multiplex/Multiplexverfahren.

Multiplexverfahren, zu deutsch: vielfach, vielfältig, beschreibt Methoden, indem mehrere Signale zusammengefasst werden, um diese simultan (gleichzeitig) über ein bestimmtes Medium (Kabel, Luft) zu übertragen. Die Bündelung erfolgt, nachdem die Nutzdaten auf ein entsprechendes Trägersignal moduliert wurden.

MPEG-2.

MPEG-2 ist ein generischer MPEG-Standard (→ Abkürzungsverzeichnis) zur Kompression (Kodierung) von Video- und Audiodaten. MPEG 2 wurde bereits 1994 eingeführt. Generisch heißt in diesem Zusammenhang, dass ein Datenformat und Dekodierungsverfahren festgelegt wird, ohne dabei Parameter, wie zum Beispiel die Auflösung vorzuschreiben, welche die Qualität bestimmen. MPEG 2 gliedert sich in insgesamt 10 Teile (Parts), welche die einzelnen technischen Parameter beschreiben.

MPEG-4.

Bei MPEG-4 handelt es sich um den Nachfolger von MPEG-2. Dieser ist, vor allen in Kombination mit AVC (→ Abkürzungsverzeichnis) hocheffizient und wird vor der Übertragung, bzw. Speicherung von Daten und innerhalb der Quellencodierung zur Datenreduktion von hochauflösenden Bewegtbildinformation eingesetzt.

Nomenklatur.

Einen Nomenklatur (vom lat. Nomenclatura, zu deutsch: Namensverzeichnis) ist eine für bestimmte Bereiche verbindliche Aufzählung.

Oszillator (Elektronik).

Ein Oszillator ist eine Baugruppe zur Erzeugung von ungedämpften elektrischen Schwingungen. Damit die Schwingung auch als ungedämpft bezeichnet werden kann, diese also ständig vorhanden ist und nicht innerhalb der Zeit gegen Null abnimmt, bedarf es einer ständigen Energiezufuhr. Diese Aufgabe übernehmen elektronische Schwingkreise.

Pixel.

Pixel ist ein Kunstwort und setzt sich zusammen aus den englischen Wörtern: Picture (umgangssprachlich verkürzt „pix“) und Element. Ins Deutsche übersetzt also Bildelement, bzw. Bildpunkt. Ein Pixel ist dabei die kleinste Einheit in einem Grafikraster. Ein Pixel ist genauer genommen nur ein Farbwert, dessen Größe abhängig von dessen Interpretation ist.

Polarisation (Antennen).

Die Polarisation beschreibt die Abstrahlungsrichtung einer Antenne. Hier unterscheidet man die vertikale und die horizontale Polarisationsebene. Die Empfangsantenne muss dabei in der gleichen Polarisation ausgerichtet sein wie die Sendeantenne. Nur so kann ein einwandfreier Empfang gewährleistet werden.

Punktierung (Faltungscodes).

Bei Faltungscodes lässt sich durch eine Punktierung des Codewortes gezielt eine bestimmte Coderate wählen. Bei der Punktierung werden bestimmte Bitpositionen des Codewortes weggelassen ("punktiert"). Dadurch wird die Coderate erhöht. Der Decoder muss dieses sogenannte Punktierungsschema kennen und bei der Decodierung berücksichtigen.

Rauschen.

Unter Rauschen versteht man in der Physik eine Störgröße mit breitem und unspezifischem Frequenzspektrum, welche Schwingungen und Wellen des Nutzsignals überlagert und so unerwünschte Signalverfälschungen hervorruft. Dabei bildet das Rauschen in der Nachrichten-, also auch in der Fernsehtechnik die größte Störquelle. Die Rauschquellen treten dabei im gesamten Übertragungssystem, also vom Sender über den Übertragungskanal, bis hin zum Empfänger auf.

Redundanz (Digitaltechnik).

Der Begriff Redundanz (von lat.: Redundare, zu deutsch: „im Überfluss vorhanden“) bezeichnet in der Digitaltechnik das Vorhandensein von mehreren Informationen mit ein und demselben Inhalt. Dabei können bei der nötigen Datenreduktion auf Senderseite beispielsweise mehrfach vorhandene Informationen entfernt werden, um

dadurch die zu übertragene Datenmenge zu reduzieren. Andersherum nutzt man die Redundanz bei der Vorwärtsfehlerkorrektur dazu, zusätzliche Informationen hinzuzufügen, um gegebenenfalls auf Empfängerseite die verfälschten Signale, bzw. Informationen wieder vollständig und in den Originalzustand korrigieren zu können.

Richtcharakteristik (Antenne).

Die Richtcharakteristik beschreibt die Winkelabhängigkeit einer Antenne, bezogen auf die Empfindlichkeit gesendeter oder empfangener elektromagnetischer Wellen.

Rundfunk.

Der Begriff Rundfunk kommt von "Rund herum funken" und stammt aus dessen Anfangszeiten. Demnach gab es am Anfang nur eine Verbreitungsart, nämlich die terrestrische, also über die Antenne. Diese verbreitet die Rundfunkinhalte über elektromagnetische Wellen in der „Rundstrahlcharakteristik“, also im Winkel von 360 Grad. Rundfunk (in Englisch: Broadcast) ist in der heutigen Zeit der Oberbegriff für Fernsehen und Hörfunk. Auch wenn im Laufe der Zeit einige neue Verbreitungswege, wie zum Beispiel Satellit und Kabel hinzukamen und diese Bezeichnung so eigentlich nicht mehr zutreffend ist, blieb man doch bei der alten, klassischen Bezeichnung.

Service-Zuverlässigkeit (DVB-S).

Die Service-Zuverlässigkeit bezieht sich auf die Zuverlässigkeit eines DVB-S Systems innerhalb eines Jahres. 99,99 Prozent bedeuten einen Ausfall von durchschnittlich 53 Minuten im Jahr. Während dieser Zeit sind die Empfangsbedingungen, zum Beispiel, durch eine starke Gewitterfront, so schlecht, dass die eingesetzte Fehlerkorrektur komplett versagt.

Shannon-Hartley Gesetz.

In Abhängigkeit zur Bandbreite und dem Signal-Rausch Verhältnis, beschreibt das Shannon-Hartley Gesetz die theoretisch maximal mögliche Datenrate eines Übertragungskanals, über den mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine fehlerfreie Datenübertragung möglich ist. Öfters wird hier auch von der theoretischen Leistungsgrenze des Übertragungskanals oder der Shannon-Grenze gesprochen.

Signal.

Ein Signal ist eine elektrische Größe (Strom, Spannung), welches Informationen in analoger oder digitaler Form, überträgt und diese auf der Empfängerseite durch die entsprechende Technik darstellt.

Simulcastbetrieb.

Als Simulcastbetrieb bezeichnet man das gleichzeitige (parallele) senden einer beliebigen Information, bzw. eines beliebigen Inhaltes (Text, Video, Audio) in unterschiedlicher Form (zum Beispiel: analog und digital oder SDTV und HDTV).

Smartcard.

Eine Smartcard ist eine spezielle Plastikkarte mit eingebauten Schaltkreisen (Chips), die man von speziellen Programmanbietern gegen eine monatliche Grundgebühr erhält, wenn man dessen verschlüsseltes Pay-TV Angebot nutzen möchte. Zusammen mit dem CAM (Conditional Access Module) gewährleistet sie den uneingeschränkten Zugang zu den entsprechenden Programminhalten.

Spartenprogramm/Themenprogramm.

Als Spartenprogramm oder auch Spartenkanal/Themenkanal genannt, bezeichnet man nach §2, Abs. 2, Nr. 4 des Rundfunkstaatsvertrages: „[...] ein Rundfunkprogramm mit im wesentlichen gleichartigen Inhalten [...]“. Damit handelt es sich also um Programminhalte, die sich im wesentlichen mit einem bestimmten Thema (wie unter anderen: Sport, Kultur, Angeln, Nachrichten ect.) beschäftigen, um damit so eine bestimmte Zielgruppe anzusprechen. Das Spartenprogramm stellt somit das Gegenteil eines Vollprogramms dar.

Spektrale Effizienz.

Die spektrale Effizienz, auch Bandbreiteneffizienz genannt, beschreibt das Verhältnis zwischen Datenübertragungsrate (Bit/s) und gegebener Bandbreite (Hz) im Übertragungskanal. Dabei ist die spektrale Effizienz eine wichtige Kenngröße für die Effizienz einer bestimmten Modulationsart. Umso effizienter die Modulation, desto höher ist dementsprechend die spektrale Effizienz. Die spektrale Effizienz wird angegeben in Bit pro Sekunde pro Hertz (Bit/s/Hz).

Spezifikation.

Eine Spezifikation ist eine formale Beschreibung einer bestimmten Technik, bzw. eines bestimmten Produktes und definiert dessen Inhalt und Merkmale.

Statistischer Multiplex.

Ein statistischer Multiplex ist ein dynamisches Multiplexverfahren, bei der die Datenblöcke nicht nach einem festen Takt, sondern abwechselnd und nach Bedarf übertragen werden. Wenn also ein Programm, aufgrund von beispielsweise schnellen Bildsequenzen, mehr Datenrate beansprucht, kann diese einem Programm innerhalb des gleichen Multiplexes, was weniger Datenrate beansprucht „abgezogen“ werden. Das Gegenteil dazu stellt der statische Multiplex dar, in dem jedes Programm immer mit einer festgelegten Datenrate übertragen wird.

Störabstand.

Der Störabstand wird auch als Signal-Rausch Verhältnis (SNR → Abkürzungsverzeichnis) bezeichnet. Er ist im wesentlichen ein Maß für die Qualität eines Signals innerhalb eines bestimmten Übertragungskanals. Der Störabstand definiert das Verhältnis der mittleren Leistung des Nutzsignals, zur mittleren Rauschleistung des Störsignals.

Symbol (Digitaltechnik).

In der digitalen Übertragungstechnik heißen die kleinsten Zeicheneinheiten Symbole. Bei der digitalen Modulationsart QPSK (→ Abkürzungsverzeichnis) beispielsweise, beträgt die Zeichenlänge zwei Bit pro Zeichen. Damit lassen sich insgesamt vier Symbole darstellen. Die Menge der definierten Symbole innerhalb eines Codierverfahrens nennt man dann Konstellation, welche in der Ebene der komplexen Zahlen, mit einem Konstellationsdiagramm graphisch dargestellt werden.

Trägersignal.

Ein Trägersignal ist eine sich periodisch ändernde Größe mit konstanten Parametern, wie unter anderem Frequenz, Phase oder Amplitude. Ein Trägersignal selbst ist bezüglich des zu übertragenen Nutzsignals ohne Bedeutung. Es dient ausschließlich der Anpassung an die physikalischen Eigenschaften des jeweiligen Übertragungskanals. Die Frequenz des Trägersignals muss vor allem größer sein, als die höchste im Nutzsignal

vorkommende Frequenz.

Vollprogramm.

Bei einem Vollprogramm handelt es sich laut §2, Abs.2, Nr. 3 des Rundfunkstaatsvertrages, um „[...] ein Rundfunkprogramm mit vielfältigen Inhalten, in welchen Informationen, Bildung, Beratung und Unterhaltung einen wesentlichen Teil des Gesamtprogramms bilden [...].“ Damit soll nicht nur eine, sondern mehrere Zielgruppen über den ganzen Tag verteilt angesprochen werden.

Wanderfeldröhre.

Eine Wanderfeldröhre verstärkt einkommende elektrische Signale, indem freie Elektronen einen Teil ihrer Bewegungsenergie abgeben. Wanderfeldröhren werden zur rauscharmen Signalverstärkung im Frequenzbereich von 300 MHz bis 50 GHz eingesetzt.

Wellenwiderstand (Leitung).

Als Wellenwiderstand wird die Eigenschaft eines bestimmten Mediums genannt, indem sich eine physikalische Welle ausbreitet. In diesem Fall handelt es sich um einen Leitungswellenwiderstand. Der Leitungswellenwiderstand beschreibt das Verhältnis zwischen sich in eine Richtung ausbreitende Strom- und Spannungswellen.

11 Quellenverzeichnis

Internet

ard.de: „HDTV-FAQs“,

http://www.daserste.de/service/hd/allround_dyn~uid,wokonzemfp7ia02~cm.asp

Aufruf am 26.06.2010

digitalfernsehen.de: „Deadline für Analogabschaltung steht“,

http://www.digitalfernsehen.de/news/news_899644.html,

Aufruf am 10.06.2010

digitalfernsehen.de: „Erster DVB-T2 Empfänger in Großbritannien auf dem Markt“,

http://www.digitalfernsehen.de/news/news_883914.html

Aufruf am 15.08.2010

digitalfernsehen.de „Kabel Deutschland für neuen Kabelstandard“,

http://www.digitalfernsehen.de/news/news_889412.html

Aufruf am 16.08.2010

dvb.org: „Die Geschichte des DVB-Projektes“,

http://www.dvb.org/about_dvb/history/index.xml,

Aufruf am 01.06.2010

irt.de: „IRT sendet DVB-T2 Testsignale“,

http://www.irt.de/no_cache/de/aktuell/news/view/article/irt-sendet-dvb-t2-testsignale.html

Aufruf am 06.08.2010

schnittpunkt.de: „HDTV Standards in Europa“,

http://www.schnittpunkt.de/wissen/Fachartikel/HDTV_Formate/hdtv_formate.htm

Aufruf am 26.06.2010

test.de: „ARD und ZDF starten HD-Programme“,

<http://www.test.de/themen/bild-ton/meldung/Hochaufloesendes-Fernsehen-ARD-und-ZDF-starten-HD-Programme-1843755-2843755/>,

Aufruf am 20.06.2010

t-online.de: „Analoges Satelliten-TV wird abgeschaltet“,

http://computer.t-online.de/satelliten-fernsehen-abschaltung-des-analogen-sat-tv-beschlossen/id_20876122/index

Aufruf am 07.06.2010

tu-braunschweig.de „Weltpremiere in Braunschweig: DVB-C2 erstmalig „live“ übertragen“,

<http://www.tu-braunschweig.de/presse/medien/presseinformationen?year=2010&pinr=50>

Aufruf am 26.05.2010

Wikipedia: „Gottfried Wilhelm Leibniz“,

<http://de.wikipedia.org/wiki/Leibniz>,

Aufruf am 10.05.2010

Wikipedia: „OFDM“,

<http://de.wikipedia.org/wiki/OFDM>

Aufruf am 07.07.2010

Wikipedia: „Gleichwellennetz“,

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gleichwellennetz>

Aufruf am 08.07.2010

Wikipedia: „Kabelfernsehen“,

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kabelfernsehen>

Aufruf am 26.07.2010

Wikipedia: „HDTV/Datenrate“,

http://de.wikipedia.org/wiki/High_Definition_Television

Aufruf am 10.08.2010

Wikipedia: „H.264“,

<http://de.wikipedia.org/wiki/H.264>

Aufruf am 10.08.2010

Literatur

Digitales Fernsehen in Deutschland

Frank Zervos, 2003, „Medienpolitische und medienwirtschaftliche Herausforderungen des zukünftigen Fernsehens“

DVB-Digitale Fernsehtechnik

Ulrich Reimers, 2006, 3. Auflage

Sonstige Quellen

PDF-Dokumente.

Digitalisierungsbericht 2009: Daten und Fakten

http://www.alm.de/fileadmin/forschungsprojekte/GSDZ/Digitalisierungsbericht_2009

Download am 11.06.2010

DVB-C2 Fact Sheet

Mai 2010

http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-C2_Factsheet.pdf

Download am 19.06.2010

DVB Document A122, DVB-T2

<http://www.dvb.org/technology/dvbt2/a122.tm3980r5.DVB-T2.pdf>

Download am 23.07.2010

DVB-GSE Fact Sheet**Mai 2010**

[http://www.dvb.org/\(RoxenUserID=4f860710e87c2ac32436f8378c3dbe75\)/technology/fact_sheets/DVB-GSE_Factsheet.pdf](http://www.dvb.org/(RoxenUserID=4f860710e87c2ac32436f8378c3dbe75)/technology/fact_sheets/DVB-GSE_Factsheet.pdf)

Download am 27.07.2010

DVB-S2 Fact Sheet**Mai 2010**

http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-S2_Factsheet.pdf

Download am 19.06.2010

DVB-T Abschlussbericht Deutschland

<http://www.ueberallfernsehen.de/>,

Download am 07.06.2010

„DVB-T2-Call for Technologies“

http://www.dvb.org/technology/dvbt2/sb1644r1.01.T2_CfT.pdf

Download am 27.07.2010

„DVB-T Leitfaden“

http://www.ueberallfernsehen.de/media/dvb-t_leitfaden.pdf

Download am 28.06.2010

„Wege zu gutem DVB-T Empfang“

http://www.ueberallfernsehen.de/media/wege_zu_gutem_dvb-t_empfang.pdf

Download am 28.06.2010

DVB-T Fact Sheet**Mai 2010**

http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T_Factsheet.pdf

Download am 20.06.2010

DVB-T2 Fact Sheet**Mai 2010**

http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf

Download am 19.06.2010

EBU-TECH 3299: „High Definition- Image Formats for Television Production“**Januar 2010**<http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3299.pdf>

Download am 23.06.2010

FKT-Bericht über das FKTG-Symposium:- „IPTV und Mobile Television“http://fkt.schieleschoen.de/117/11419/FKT20709503/Bericht_ueber_das_FKTG_Symposium_IPTV_und_Mobile_Television.html

Download am 28.04.2010

Glossar HDTV vom ZDFhttp://www.unternehmen.zdf.de/fileadmin/files/Download_Dokumente/DD_Technik_Glossar_HDTV.pdf,

Download am 26.06.2010

**CableVision: „DVB-C2 auf dem Weg in die Implementierung“,
von Christoph Schaaf (CTO Kabel Deutschland) und Dr. Dirk Jaeger (Institut für
Nachrichtentechnik-TU Braunschweig)**http://www.ict-redesign.eu/fileadmin/documents/0911_CableVision6_DVB-C2-Implementierung.pdf

Download am 10.06.2010

**Publikation von Prof. Reimers, Institut für Nachrichtentechnik Braunschweig
„Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“**<http://www.vde-verlag.de/proceedings-en/453126087.html>

Download am 26.07.2010

„Quo Vadis High Definition?“ Fernseh- und Kino-Technik, 10/2001, Peter C. Slanskyhttp://www.hff-muenchen.de/studium/2/2/5/artikel_hd.pdf

Download am 15.06.2010

„Übergang vom analogen zum digitalen terrestrischen Fernsehen“http://www.ueberalltv.de/downloadAG_DVBT1Rep_9907.pdf,

Download am 11.06.2010

Vorlesungunterlagen.

HDTV

Vorlesungunterlagen von Professor Götz, Wintersemester 2008/2009
Hochschule Mittweida

Hochschulschriften.

„Das Fernsehen im Wandel der Zeit-HDTV und seine weitreichenden Veränderungen“

Bachelorarbeit, 2006, Dörpinghaus Philipp, HS Mittweida

„Das Übertragungsverfahren bei DVB-T“

Bachelorarbeit, 2007, Franz Franziska, HS Mittweida

„DVB-T2: Neue Perspektive für das digitale Fernsehen“

Bachelorarbeit, 2009, Flöter Marc, HS Mittweida

„Format und Qualität-Das Bildseitenverhältnis 16:9 und dessen Einführung bei der ARD/HR, unter besonderer Betrachtung auf HDTV“

Bachelorarbeit, 2008, Mundt Sascha, HS Mittweida

„Untersuchung der Bildqualität von HD- und SD- Signalformaten auf modernen Flachdisplays, in Abhängigkeit von der Datenrate und dem Kodierverfahren“

Diplomarbeit, 2006, Driesnack Dagmar, HS Mittweida

12 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 01** **HDTV Logo**
http://www.hdtv-haas.de/images/10_hdtvlogo_k.jpg
- Abb. 02** **SD-Fisch**
<http://de.wikipedia.org/wiki/HDTV>
- Abb. 03** **HD-Fisch**
<http://de.wikipedia.org/wiki/HDTV>
- Abb. 04** **Satelliten-Ausleuchtzonen in Europa**
<http://www.astra.de/Empfang/footprints/index.php>
- Abb. 05** **HFC-Netzstruktur**
Aus dem Buch: „DVB-Digitale Fernsehetechnik“, Ulrich Reimers, 3.Auflage,
Seite 254
- Abb. 06** **DVB-T Verbreitung weltweit**
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Digital_broadcast_standards.svg&filetimestamp=20100617001402
- Abb. 07** **Konzept der Physical Layer Pipes bei DVB-T2**
PDF-Dokument: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“
Prof. Ulrich Reimers
- Abb. 08** **Nutzdatenrate DVB-C2 im Vergleich zu DVB-C**
PDF-Dokument: „Weiterentwicklung des digitalen Fernsehens“
Prof. Ulrich Reimers

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 01** **HDTV-Systeme**
EBU-TEC 3299, „High Definition-Image Formats for Television
Production“, Januar 2010
- Tabelle 02** **Vergleich DVB-S zu DVB-S2**
Aus dem DVB-S2 Fact Sheet, www.dvb.org
- Tabelle 03** **Vergleich DVB-T zu DVB-T2**
Aus dem DVB-T2 Fact Sheet, www.dvb.org
- Tabelle 04** **Vergleich DVB-C zu DVB-C2**
Aus dem DVB-C2 Fact Sheet, www.dvb.org

13 Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass diese Bachelorarbeit ausschließlich von mir persönlich und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde.

Mittweida, den 24.08.2010

Andre Heinrich