

Digital Amateur TeleVision (D-ATV)

Thomas Sailer, HB9JNX/AE4WA, Wolf-Henning Rech, DF9IC/N1EOW,
Stefan Reimann, DG8FAC, Jens Geisler, DL8SDL
14. März 2002

1 Einleitung

Digitales Satellitenfernsehen nach der DVB (Digital Video Broadcast) Standardfamilie [9] hat in wenigen Jahren die kommerzielle Satellitenfernseh-Landschaft völlig umgekrempelt und das analoge Satellitenfernsehen weitgehend verdrängt. Astra, eine der grossen Satellitenbetreiberfirmen, überträgt beinahe 750 digitale Programme [2], aber nur noch 50 analoge Programme [1], wobei alle analogen Sender auch digital übertragen werden. Der Grund für diese Revolution liegt darin, dass es das digitale Fernsehen erlaubt, über einen Satellitentransponder etwa 5–7 Programme plus Zusatzdienste zu übertragen, während jedes analoge TV-Programm einen eigenen Transponder benötigt.

DVB ermöglicht zudem eine grosse Flexibilität bei der Wahl der Bandbreite, der Anzahl Bild- und Audiokanäle pro Transponder und der Bild- und Tonqualität. DVB bietet zudem die Möglichkeit, schnelle Datendienste mit auszusenden, wie z.B. Programminformationen (“Electronic Program Guide”, EPG). Es ist zwar auch möglich, solche Informationen in Standard-Teletext-Zeilen eines analogen Videosignales zu verpacken [8], doch während das analoge System für einen Übertragungszyklus eine halbe Stunde oder mehr braucht, dauert dies beim DVB-System nur wenige Sekunden.

DVB schickt sich zudem an, auch die terrestrische und die Kabel-Übertragung zu erobern.

Die Vorteile eines Digitalen TV-Systems auch für den Amateurfunk sind unbestritten. So sind auch schon Bandsegmente dafür reserviert. Die Entwicklungskapazität des Amateurfunks reicht aber nicht aus, um ein eigenes Digitalfernsehsystem zu entwickeln. Es ist daher notwendig, dass sich der Amateurfunk kommerzielle Entwicklungen zunutze macht. Die DVB-Standardfamilie mit den dafür entwickelten Geräten bietet sich dafür an.

An der Darmstädter Packet-Radio Tagung 2001 gedieh die Idee, einen Digitalen ATV-Link zu realisieren. Als Empfänger sollte eine handelsübliche DVB-S Settop-Box zum Einsatz kommen, der Sender sollte eine Eigenentwicklung sein. An der Ham Radio 2001 in Friedrichshafen haben wir dann am Adacom-Stand den ersten Prototypen vorgeführt. Die Senderbaugruppen sind nun fertig und sind in Kürze bei [5] erhältlich.

2 Digital Video Broadcast (DVB)

Figur 1 zeigt das Blockschema eines DVB-Coders. Die analogen Video- und Audiosignale werden zuerst digitalisiert und komprimiert. Zum Einsatz kommen MPEG2 Video [6] und MPEG2 Layer II Audio [10]. Zusätzlich dazu kann auch MPEG2 Layer III Audio [10] oder AC-3 [15] Audio verwendet werden. Letzteres kommt normalerweise für 5.1 Surround Audio zur Anwendung. Die vom Video-

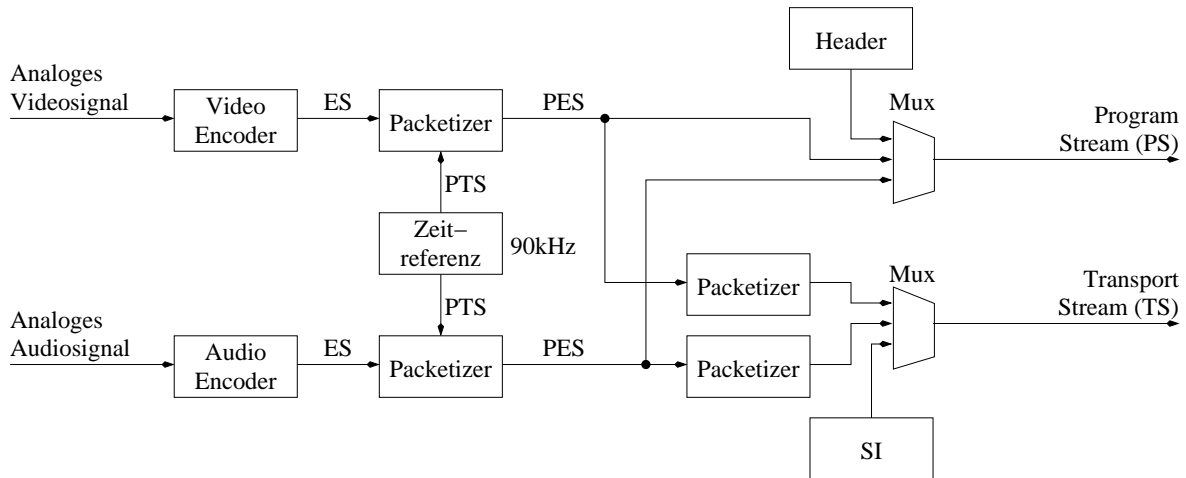


Abbildung 1: System-Diagramm

und Audioencoder produzierten Elementary Streams (ES) werden durch die Packetizer unterteilt und mit dem Presentation Timestamp (PTS) versehen. Der PTS wird vom Empfänger zur Synchronisation der Video- und Audiodatenströme verwendet.

Die Packetized Elementary Streams (PES) können nun einem PES-Multiplexer zugeführt werden. Daraus entsteht dann ein Program Stream (PS), welcher vor allem für Speicheranwendungen (z.B. DVD) verwendet wird. PES-Pakete können aber recht gross sein, Video-PES-Pakete sind oft über 50kBytes. Dies ist für Übertragungssysteme recht unpraktisch. Deshalb werden die PES-Pakete weiter unterteilt in Transport Stream (TS) Pakete. TS-Pakete haben eine feste Länge von 188 Bytes (4 Bytes Header, 184 Bytes Nutzdaten) und lassen sich daher sehr einfach weiter multiplexen. Ein Transport Stream kann somit mehrere Programme enthalten. Damit der Empfänger herausfinden kann, zu welchem Datenstrom ein TS-Paket gehört, enthält der TS-Header einen 13bittigen Packet Identifier (PID). Einige PID-Werte sind reserviert; 0x1fff kennzeichnet ein Paket ohne Nutzdaten, und 0x00–0x1f sind reserviert für Systemtabellen.

Damit ein Empfänger nun selbständig herausfinden kann, welche Programme/Dienste in einem TS enthalten sind, fügt der Sendemultiplexer dem TS "Service Information" (SI) Tabellen [12] bei. Tabelle 1 listet die wichtigsten Tabellen auf.

Der fertig zusammengestellte Transport Stream wird nun dem Modulator zugeführt. Die ETSI hat nun drei verschiedene Modulatoren für verschiedene Kanäle spezifiziert. Zusätzlich dazu hat das amerikanische Advanced Television Systems Committee (ATSC) noch einen eigenen Modulator spezifiziert.

DVB-C DVB-Cable [11] wurde für Kabelfernsehnetzwerke entwickelt und verwendet Quadraturamplitudenmodulation (QAM) mit grosser Signalkonstellation. Es werden dafür sehr lineare Sender und grosse Signal-Rauschabstände benötigt, weshalb DVB-C für den Amateurfunkeinsatz ungeeignet ist.

PID	Tabelle	Inhalt
0x00	Program Association Table (PAT)	Verweise auf die PMT jedes Programmes
0x10	Program Map Table (PMT)	Listet die zu einem Programm gehörenden Video-, Audio- und Teletextdatenströme auf
0x11	Network Information Table (NIT)	Beschreibt den TS
0x12	Service Descriptor Table (SDT)	Beschreibt die einzelnen im TS enthaltenen Programme
0x14	Event Information Table (EIT)	“Electronic Program Guide”
0x14	Time and Date Table (TDT)	aktuelle Uhrzeit

Tabelle 1: SI Tabellen

DVB-S DVB-Satellite [7] wurde für den Satellitenkanal entwickelt. Weil Satellitensender ziemlich nichtlineare Wanderfeldröhrensender (Travelling Wave Tube, TWT) verwenden, wurde QPSK verwendet. Weil DVB-S nur geringe Linearitätsanforderungen an die Sendeendstufe hat und Mehrwegeausbreitung dank der im Amateurfunk normalerweise eingesetzten Richtantennen kein Problem ist, ist DVB-S für den Amateurfunkeinsatz gut geeignet.

DVB-T DVB-Terrestrial [13] wurde für die terrestrische Übertragung entwickelt. Es verwendet Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM), ist deshalb sehr robust gegenüber Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekten bei bewegten Empfängern und erlaubt die Realisierung von Gleichwellennetzen (Single Frequency Networks, SFN), stellt aber sehr hohe Anforderungen an die Linearität des Senders.

ATSC A/53 Nordamerika hat sich für einen Alleingang bei der terrestrischen Übertragung entschieden [14]. Der vorliegende Standard ist zwar etwas einfacher zu implementieren als DVB-T, hat aber sehr grosse Probleme mit Mehrwegeausbreitung und bewegten Empfängern, so dass dessen Realisierung wenig wünschenswert erscheint.

Wir haben uns für DVB-S entschieden, weil es eine grosse Auswahl an ausgereiften DVB-S Empfängern (ab etwa €200) auf dem Markt gibt, deren Eingangsfrequenzbereich ($\approx 900\text{MHz} - 2\text{GHz}$) das 23cm Amateurfunkband enthält und moderate Ansprüche an den Sender stellt.

Die Empfängerseite ist somit einfach realisiert. Sie besteht aus einem handelsüblichen Satelliten-Digitalreceiver. Je nach Band und Empfindlichkeit des Empfängers wird noch ein Umsetzer oder Antennenvorverstärker benötigt. Ausserdem sind auch DVB-S Empfängerkarten für den PC erhältlich.

Auf der Senderseite sieht es anders aus. Fernsehstudio-Equipment liegt wohl ausserhalb des Amateur-Budgets, deshalb haben wir uns entschlossen, den Sender selber zu entwickeln.

3 Der D-ATV Sender

Figur 2 zeigt das Blockschaftbild des Senders. Eine normale analoge Videoquelle z.B. von einer Kamera wird der MPEG2 Encoder-Baugruppe zugeführt. Diese digitalisiert und komprimiert das Videosignal und sendet es als Transport Stream zum Basisbandprozessor. Der Basisbandprozessor kann mehrere Quellen zusammenmultiplexen, fügt die nötigen Tabellen bei, codiert und moduliert die Daten und erzeugt das IQ-Basisbandsignal. Der IQ Modulator mischt das Signal in die Trägerlage. Die Endstufe verstärkt das Sendesignal, welches dann von der Antenne abgestrahlt wird.

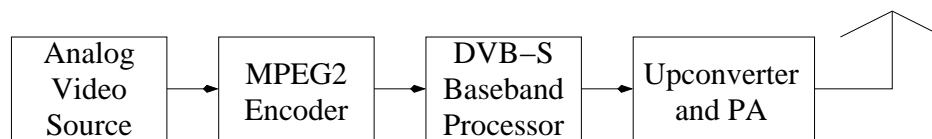


Abbildung 2: Block Diagram

3.1 Der MPEG2 Encoder

Verschiedene Chiphersteller bieten hochintegrierte MPEG2 Encoder-IC's an. Wir haben uns für den Fujitsu MB86390 entschieden, weil SR Systems [5] bereits ein Evaluationsboard für Fujitsu entwickelt hat. Der D-ATV Encoder basiert auf dem Evaluationsboard-Design, erhält aber die Encoder-Firmware vom Basisbandboard. Damit kann auf einen eigenen Mikrocontroller und Flash auf dem Encoder verzichtet werden, was das Board billiger macht, dafür läuft es aber auch nur mit dem D-ATV-Basisbandboard. Bild 3 zeigt ein D-ATV Basisbandboard und zwei Encoderboards.

3.2 Der Basisbandprozessor

Figur 4 zeigt die im Basisbandprozessor implementierten Funktionen. Der Basisbandprozessor hat vier Transport Stream Eingänge. Diese Eingänge bestehen im Wesentlichen aus 8 Datenleitungen und einem Bytetaktsignal. Die Eingänge müssen erst einmal synchronisiert werden. TS1 und TS2 werden noch durch ein FIFO gepuffert und sind daher universell verwendbar. TS3 und TS4 sind nur für den Anschluss eines D-ATV MPEG2 Encoders geeignet.

Der Multiplexer fügt die vier Transport Streams zu einem einzigen zusammen, und der Arbiter sorgt für eine faire Verteilung der Kapazität.

Der Framing-Block erzeugt Steuersignale für die weiteren Blöcke.

The Pseudo-Random Byte Sequence (PRBS) Generator scrambelt den Datenstrom mit einer Pseudozufallsfolge und sorgt so für eine ausreichende Anzahl Nulldurchgänge.

Der äussere Vorwärtsfehlerkorrektur-Coder verwendet einen Reed Solomon RS(255,239,8) Code, verkürzt auf RS(204,188,8). Der RS Coder operiert in $GF(2^8)$, also Bytes. Einem 188 Byte langen MPEG2 Transport Stream Paket fügt er 16 redundante Bytes an, die es dem Empfänger ermöglicht, Übertragungsfehler zu korrigieren.

Der Interleaver ändert die Reihenfolge der Daten. Seine Hauptaufgabe ist es, Fehler-Bursts auf mehrere 204 Byte Reed-Solomon Blöcke zu verteilen.

3.3 Der Modulator und die Sendeendstufe



Abbildung 3: D-ATV Basisbandboard und zwei Encoderboards

Der Parallel→Seriell-Wandler serialisiert den Bytestrom und versorgt den inneren Vorwärtsfehlerkorrektur-Coder. Der innere Coder ist ein Faltungs-Coder, der zwei Ausgangsbits pro Eingangsbit erzeugt. Einige der redundanten Bits können durch den Punktierer wieder entfernt werden. Die Coderate kann somit auf $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ oder $\frac{7}{8}$ eingestellt werden, um die Übertragung bezüglich Datenrate und Fehlerresistenz den Bedürfnissen anzupassen.

Der QPSK Signal Mapper generiert das QPSK Signal aus zwei Bits aus dem Punktierer, und leitet das Signal an den 4–16-fach Oversampling Raised-Cosine (RC) Filter.

Der grösste Teil der Funktionsblöcke ist in einem Xilinx XC2S150 FPGA implementiert. Ein Mikrocontroller initialisiert den FPGA, lädt die Firmware in die MPEG2-Encoder-IC's, und generiert die Tabellen und das Teletext-Signal. Ein schnelles synchrones statisches SRAM dient als TS-FIFO und dem Mikrocontroller als Speichererweiterung. Ein Doppel-DAC wandelt das digitale IQ-Signal in ein analoges. Der DAC wird mit 124 MHz (2×62 MHz) getaktet, damit können Symbolraten zwischen $7\frac{3}{4}$ und 31 MSymbolen/s, Bandbreiten zwischen 10 und 40 MHz und Datenraten zwischen 7 und 50 MBit/s erzeugt werden. Kleinere Datenraten und Bandbreiten können durch langsamere Taktung des FPGA/DAC erreicht werden.

3.3 Der Modulator und die Sendeendstufe

Ein QPSK-HF-Sender kann entweder als Superhet oder als Direktkonversions-Sender aufgebaut werden. Das Superhet-Konzept erreicht üblicherweise eine bessere Träger- und Seitenbandunterdrückung, weil die Arbeitsfrequenz des Modulators kleiner ist (typischerweise unter 100 MHz). Die

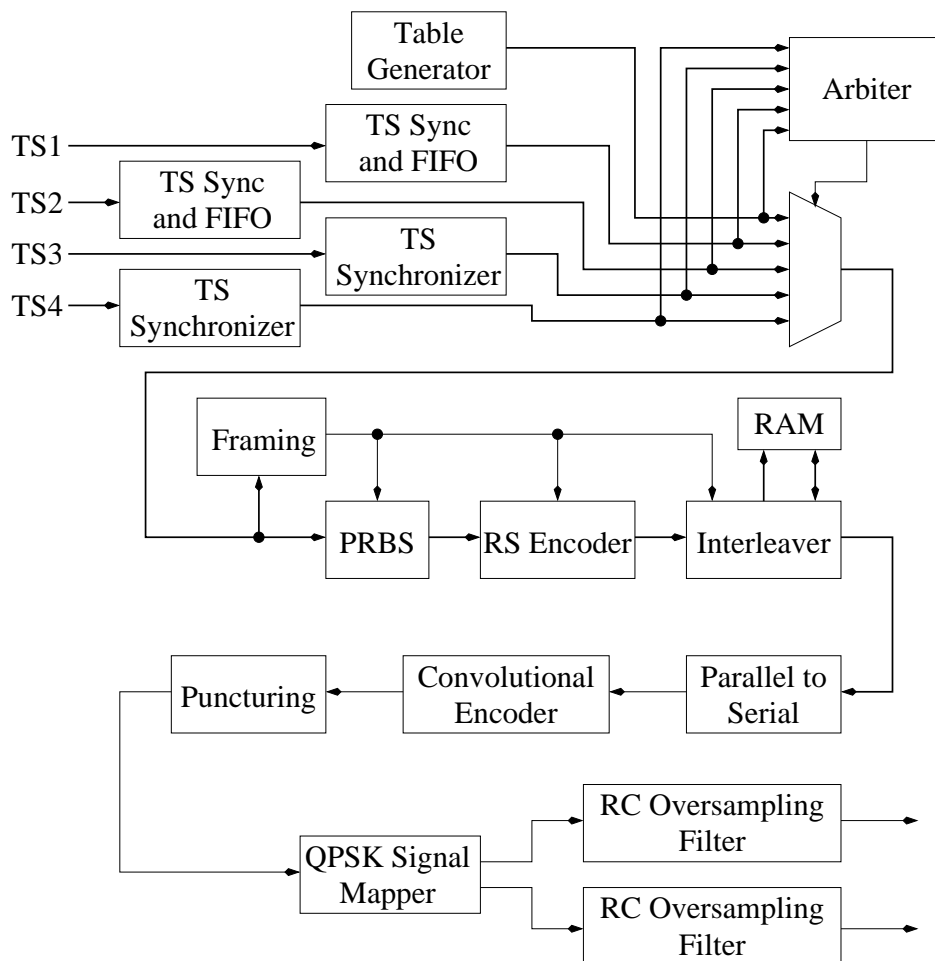


Abbildung 4: The DVB-S Baseband Processor

Leistungsdaten moderner integrierter IQ-Modulatoren genügt aber für QPSK, sogar bei 2.4 GHz. Deshalb wurde ein Direktkonversionssender realisiert, weil er kein Bandpassfilter benötigt und deshalb weniger Komponenten und keine Abgleichpunkte benötigt.

Um den Modulator zu vereinfachen wurde ein IC mit eingebautem 90° Phasenschieber verwendet. Beispiele dafür sind RF2422 (RFMD, 0.8-2.5 GHz), AD8346 (Analog Devices, 0.8-2.5 GHz), PMB2201 (Infineon, 0.8-1.5 GHz) or MAX2721 (Maxim, 2.1-2.5 GHz). Der RF2422 wurde wegen seiner grossen Bandbreite und der einfachen Erhältlichkeit ausgewählt. Der MAX2721 wurde ebenfalls für 2.4 GHz getestet, verursachte aber grosse Stabilitätsprobleme¹. Der RF2422 funktioniert gut, erreicht 30...35 dB Träger- und Seitenbandunterdrückung, ist aber empfindlich auf negative Spitzen an den Modulationseingängen. Nach zweimaligem Ersetzen (und dem Reparieren einiger Leiter) wurde das Problem gefunden und Klemmdioden am Eingang eingebaut. Der AD8346 ist für zukünftige

¹Das Maxim EV kit benutzt ein 4-Lagen-PCB mit Abblockkondensatoren im 0402 SMD Format

3.3 Der Modulator und die Sendeendstufe

Versuche angedacht.

Der Oszillator verwendet einen MAX2620 VCO mit einigen SMD-Bauelementen im Schwingkreis. Er kann zwischen 1200 und 1300 MHz mit einer Spannung von 0-5 V abgestimmt werden. Eine etwas stärkere Kopplung der Kapazitätsdiode kann für die Vergrößerung des Abstimmereiches nützlich sein. Ein LM2331 PLL-IC von National wurde ausgewählt, weil es erhältlich war, die meisten 2 GHz PLL IC's wären der Aufgabe aber gewachsen. Eine 2.4 GHz-Version des Senders ist in Entwicklung. Sie benutzt einen MAX2753 vollintegrierten VCO und eine LM2330 PLL. Das Basisbandboard programmiert die PLL in 250 kHz Schritten. Die Schleifenbandbreite ist ungefähr 1 kHz.

Adäquate Isolation zwischen Modulator und VCO ist unerlässlich, um das Ziehen des VCO klein zu halten und damit wenig Modulationsverzerrungen zu erreichen. Der MAX2620 hat zwar eine eingebaute Pufferstufe mit etwa 35 dB Isolation, trotzdem wurde ein Dämpfungsglied und ein INA340 (Agilent) Puffer eingebaut. Deshalb bedeckt ein Abschirmblech die VCO-Schaltung und schirmt sie von der Strahlung des Ausgangsverstärkers ab. Die ganze Schaltung wurde in ein Zinngehäuse mit Durchführungskondensatoren für die Versorgungsspannung und Tiefpassfiltern (bestehend aus Ferritperlen und kleinen Kondensatoren auf der Rückseite der Platine) in den Modulationseingängen eingebaut. So kann der Modulator nahe bei der Sendeantenne betrieben werden. Bild 5 zeigt den IQ Modulator und das VCO-Modul.

Der Ausgangsstufe benutzt ein Breitband-MMIC mit starker interner Rückkopplung – nicht weil diese Bausteine so einfach zu benutzen sind ², sondern weil die Rückkopplung die Linearität verbessert. Die Ausgangsstufe NGA-489 (Stanford Microdevices) hat ein überdurchschnittlich hoher $IP_3 = +39$ dBm mit nur +17.5 dBm 1-dB-Kompression und 80 mA bei 5 V Versorgungsstrom. Bei +13 dBm (20 mW) durchschnittlicher Ausgangsleistung oder ungefähr +18 dBm PEP kann eine Nachbarkanalunterdrückung (ACPR) von 50 dB erreicht werden.

Die Schaltung wurde auf einer gewöhnlichen doppelseitigen FR4-Platine mit einer Massefläche auf der Rückseite realisiert.

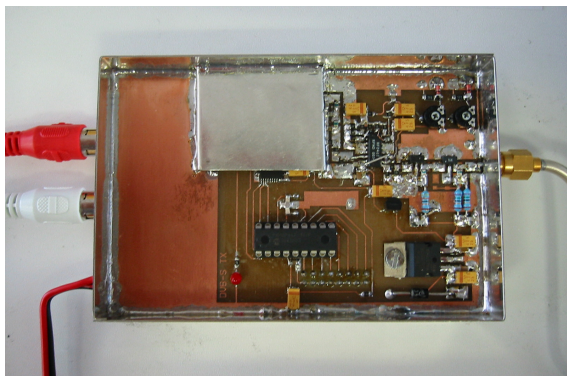


Abbildung 5: IQ-Modulator und VCO

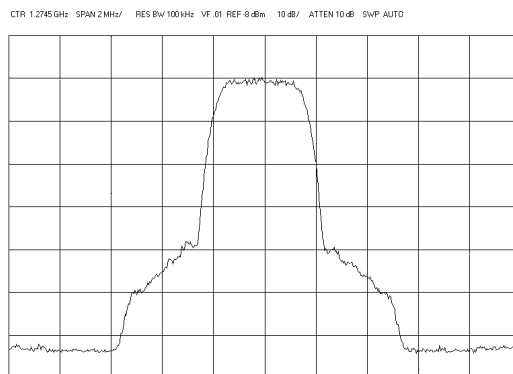


Abbildung 6: Das Spektrum des Leistungsverstärkers

²Die Senderkette hat auf 10 GHz bei der ersten Inbetriebnahme geschwungen

Der Leistungsverstärker soll das Signal lediglich verstärken, ohne zu viel Verzerrung zu verursachen. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe hängt von der geforderten Nachbarkanalunterdrückung ab. Sind 40 dB oder mehr nötig – man stelle sich einen ATV-Repeater mit einer Rundstrahlantenne in der Nähe anderer Dienste im selben Band vor –, sollte entweder ein guter Klasse AB-Verstärker mit optimierten linearen 24 V Transistoren oder ein Klasse A Verstärker verwendet werden. Für unseren Demonstrator modifizierten wir einen M57762 (Mitsubishi), in dem wir die interne Arbeitspunkteinstellung entfernten und externe aktive Arbeitspunktschaltungen für jede der drei Stufen einbauten. Bei 4 A Ruhestrom bei 13 V und einem grossen Kühlkörper liefert der Leistungsverstärker 3 W (Durchschnitt) mit nur 10 mW Ansteuerleistung und 40 dB Nachbarkanalunterdrückung. Bild 6 zeigt das Ausgangsspektrum des Leistungsverstärkers.

Anstelle dieser Lösung kann auch ein Klasse AB Linearverstärker in ‘SSB Qualität’ (ungefähr 20...25 dB Intermodulationsunterdrückung), gefolgt von einem Bandpass zum ‘Aufräumen’ des Spektrums, verwendet werden. Dieses Filter kann in Aluminium als Kammlleitung oder Interdigital-Resonator Struktur für eine Bandbreite von ungefähr 10 MHz bei 1...2 dB Einfügedämpfung und sorgfältigem Abrleich auf minimale Gruppenlaufzeitverzerrung realisiert werden. Der Entwurf eines solchen Filters für kleinere Bandbreiten (kleine Symbolraten), kleiner Einfügedämpfung und guter thermischer Stabilität ist anspruchsvoller.

Für die höheren Mikrowellenbänder, z.B. 10 GHz, ist die Spektrum-Reinheit normalerweise weniger wichtig für den Funkamateure, so dass Leistungsverstärker mit moderater Linearität benutzt werden können. Ein Sender kann durch Hochmischen eines 1 oder 2 GHz modulierten Signals realisiert werden; aber ein 10 GHz Direkt-IQ-Modulator mit 30 dB Trägerunterdrückung (nach Abgleich) wurde auch schon publiziert [17].

4 “Gimmicks”

Neben den bis zu vier Programmen, die über die vier TS-Schnittstellen zugeführt werden können, gibt es noch ein fünftes, im Basisbandboard generiertes Programm. Dieses Programm kann ein Standbild und einen Teletext-Datenstrom enthalten.

4.1 Standbild

Das Basisbandboard kann mit relativ niedriger Wiederholrate ein einzelnes Standbild übertragen. Damit kann z.B. das Logo einer D-ATV-Repeater-Betreibergruppe übertragen werden. Dazu wird ein JPEG-File (vorzugsweise mit 704×576 Pixeln) in ein einzelnes Intra-Codiertes MPEG2-Frame gewandelt und in den FLASH-Speicher des Basisbandboards geschrieben. Dazu kann z.B. der Referenzencoder des MPEG2-Konsortiums verwendet werden, der in den MJPEG-Tools [4] zu finden ist. Diese Aussendung ist aber nicht ganz DVB-Kompatibel, so dass einige Empfänger mit der Darstellung etwas Mühe haben.

4.2 Teletext

Das Basisbandboard enthält ebenfalls einen einfachen Teletextencoder. Die Seitenanzahl ist zwar begrenzt (derzeit auf 8), sie lassen sich aber aus den Level 1 Fähigkeiten [16] frei programmieren. Die Seiten können auch Laufzeitdaten wie z.B. Paketzähler enthalten.

4.3 EPG

4.3 EPG

Es ist wünschenswert, dass der Zuschauer auf Knopfdruck das Rufzeichen der Sendestation eingeblendet bekommt. Die Service Descriptor Table enthält zwar den Sendernamen ("Service Name"), dieses Feld wird aber von den üblichen DVB-S Empfängern höchstens während dem Sendersuchlauf ausgewertet und dann in der Sendertabelle gespeichert. Im Amateurfunk wechselt das auf einer Frequenz sendende Rufzeichen aber häufig. Deshalb generiert der Basisbandprozessor eine Event Information Table, welche als aktuellen Eintrag das Senderrufzeichen enthält. Damit kann der Zuschauer durch Druck auf die "Info", "Guide" oder "EPG"-Taste eine Rufzeicheneinblendung erhalten.

5 Zusammenfassung & Ausblick

Die hier vorgestellten Senderbaugruppen, Basisbandboard, MPEG-Encoder und Modulator, sind nach der Tagung bei SR-Systems [5] erhältlich. Weitere Informationen sind auch auf der D-ATV Homepage [3] zu finden. Tabelle 2 listet nochmals die Eigenschaften des D-ATV-Senders auf.

	Modulator
Band	23cm oder 13cm
	Basisband
Symbolrate	$7\frac{3}{4}$ –31 MSymbole/s (mit anderem Quarz bis 3 MSymbole/s)
Bandbreite	10–40 MHz (mit anderem Quarz bis 4 MHz)
Symbolrate	7–50 MBit/s
Faltungscoderate	$\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}$
Oversamplingfaktor	4, $4\frac{1}{3}$, $4\frac{1}{2}$, $4\frac{2}{3}$, 5, $5\frac{1}{3}$, $5\frac{1}{2}$, 6, $6\frac{1}{2}$, 7, $7\frac{1}{2}$, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
Taktfrequenz	≤ 124 MHz (Quarzfrequenz $\times 2$)
Eingänge	4
	MPEG-Encoder
MPEG2	MP@ML, 4:3
Auflösung	D1 (704 \times 576), HD1, SIF, QSIF
Framerate	25/s
Bitrate	1.5–6MBit/s
Eingang	Composite oder S-Video
	Basisband-Programm
Standbild	frei programmierbar
Teletext	8 Seiten frei programmierbar
EPG	Rufzeicheneinblendung auf Knopfdruck

Tabelle 2: Eigenschaften D-ATV Sender-Baugruppen

Wir stehen erst am Anfang des digitalen Amateurfunkfernsehzeitalters. Mit der Erhältlichkeit der Senderbaugruppen ist zu hoffen, dass die Anzahl der Sende- und Empfangsstationen steigt.

Weiter ist zu Hoffen, dass auch das eine oder andere Repeater-Projekt startet. In diesem Zusammenhang sind auch noch einige Arbeiten zu verrichten, z.B. die Ansteuerung von analogen und digitalen Tunermodulen.

Ein schneller digitaler Link kann aber nicht nur für die Übertragung von Bilddaten genutzt werden, sondern auch für schnelle Datenlinks. Die flexible Struktur des DVB-Systems erlaubt es auch, dass Datendienste und Videolinks sehr einfach denselben Sender benutzen können, auch dynamische Bandbreitenumverteilungen sind überhaupt kein Problem. Dazu müssen aber Interfaces geschaffen werden und die Kapselung von Datenpaketen (z.B. AX.25) in Transport Stream Pakete definiert werden.

Literatur

- [1] Astra analogue tv. <http://www.astra.lu/tv-radio/downloads/downloadables/AnalogTV.csv>.
- [2] Astra digital tv. <http://www.astra.lu/tv-radio/downloads/downloadables/DigTV.csv>.
- [3] D-ATV Homepage. <http://www.d-atv.de>.
- [4] MJPEG Tools. <http://mjpeg.sourceforge.net/>.
- [5] SR Systems. <http://www.sr-systems.de>.
- [6] ISO/IEC13818-2 Coding of moving pictures and associated audio – Part 2: Video, 1996.
- [7] ETSI EN 300 421 V1.1.2 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S), 08 1997.
- [8] ETSI ETS 300 707 Electronic Programme Guide (EPG); Protocol for a TV Guide using electronic data transmission, May 1997.
- [9] ETSI TR 101 200 V1.1.1 Technical Report Digital Video Broadcasting (DVB); A guideline for the use of DVB specifications and standards, 09 1997.
- [10] ISO/IEC13818-3 Coding of moving pictures and associated audio – Part 3: Audio, 1997.
- [11] ETSI EN 300 429 V1.2.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems (DVB-C), 04 1998.
- [12] ETSI EN 300 468 V1.4.1 European Standard (Telecommunications series) Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems, 07 2000.
- [13] ETSI EN 300 744 V1.4.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T), 01 2001.
- [14] Advanced Television Systems Committee. *ATSC Digital Television Standard*, revision b edition, August 2001. A/53B.

LITERATUR

- [15] Advanced Television Systems Committee. *Digital Audio Compression Standard (AC-3)*, revision a edition, August 2001. A/52A.
- [16] European Telecommunications Standards Institute (ETSI). *ETS 300 706: Enhanced Teletext Specification*, May 1997.
- [17] Matjaz Vidmar. *DUBUS Technik-Buch V*, chapter No-Tune SSB Transceivers for 1.3, 2.3 , 5.7 and 10 GHz, pages 203–291. DUBUS, 1995–1997.