

DVB Multiplex

- ca. 6 Programme im Multiplex → Komprimierung kann dies erreichen → digitale Dividende → schafft Platz für Mobilfunkanwendungen im Frequenzbereich
- Transportstream = Datencontainer → alle Formate enthalten (Video, Audio, Daten, PCR) → freie Auswahl, welche Daten enthalten sind
- Vgl. DAB → genaue, starre Festlegung, kaum Flexibilität
- DTS (decoding time stamp) → vor der Dekomprimierung muss man vom komprimierten Signal sprechen → danach von linearem Verfahren (dazwischen ein Verhältnis von 30:1) → Betrachtung der Speichernutzung
- Transportmultiplex → PES (packet elementary stream) → auf Schicht 6 des OSI Modells → z.B. MP3 (Länge 1-6 kbit): Header (u.a. Paketlänge, Stream ID), Zusatzheader (u.a. PTS, DTS), Daten
- Transportstream TS → Schicht 2 (Länge 15 kbit) RS-Code (204,188) → Header, Payload (hier werden die Daten aus den PES (teils segmentiert) in die Rahmen verpackt)
- PID = 0 → man erhält die PAT (programm association table) → Tabelle mit Informationen über die im Stream enthaltenen Programme und ihre PIDs
- Auswahl eines PIDs leitet weiter zur entsprechenden PMT (program map table), welche die Informationen über die zum Programm zugehörigen Streamdaten enthält (Video, Audio, Daten, ...)
- Reaktive Willkürlichkeit im Transportstream → besteht aus den PES (packet elementary streams)
- Bsp. RST (running status table) → Aufzeichnung zu einer bestimmten Zeit → Schicht 5 nach OSI → geplante Abläufe steuern (Wie und Wann) → Digitalisierung hat einen Teil der Computerstrukturen in den Broadcastbereich übertragen

Satellitenstandard bei DVB

- Ablauf:
Daten, Takt → Basisbandschnittstelle (→ roll-off-Faktor) → Energieverwischung ($R = 1$) → äußerer RS-Code (188/204) → Faltungsinterleaver ($R = 1$) → innerer Faltungscoder → Basisband-Filterung → QPSK-Modulation (2 Bit pro Zustand) → Sendeeinheit (Leistungsverstärkung)

Energieverwischung

- Periodisches Zeitsignal → diskretes Spektrum
- Periodische Abläufe sind beim Videobild häufig vorhanden → Zeilen bzw. Bildweise Abtastung
- Gleichanteil in MPEG-Matrizen → diskretes Spektrum → auch nach Kompression liegt noch ein periodisches Signal vor
- Nebenkeulen nicht vergessen → Anteile in Nachbarbereichen (Schultern)
- Wünschenswert ist eine Verteilung in den Kanalgrenzen
- Während codiert wird, ist noch nicht klar, dass ein PES einmal eine Funkstrecke vor sich hat, über welche es gesendet wird → Bearbeitung erst dann, wenn dies feststeht
- Wie macht man die spektrale Formung? → Multiplikation des Zeitsignals mit einem Code / einer Signatur (Pseudo-Zufallsrauschen)
→ Im Frequenzbereich wird mit einem Pseudo-Zufallsrauschen gefaltet (ebenfalls ein Rauschen)

- Bei diskreten Spektren entstehen Summen und Differenzanteile bei der Faltung
- Bei der Faltung einer Spektrallinie mit einem Pseudorauschen im Frequenzbereich entsteht ein Pseudorauschen, welches um die Spektrallinie herum entsteht

Faltungssinterleaver

- Nach dem Viterbi-Decoder entstehen oft längere Fehlerfolgen (Muster)
- Längere Störungen (z.B. Ausfall der SAT-Schüssel, Blitzeinschlag) → es fehlen nicht nur 8 Bit innerhalb eines Rahmens, sondern komplette Folgen
- Man spreizt die Rahmen und verschränkt mehrere gespreizte Rahmen
→ Großes Problem wird auf kleine herunter gebrochen (zeitliche Verwürfelung → geschickte Form)
- Leistungsfähigkeit des RS-Codes wird besser ausgeschöpft
- Bei allen digitalen Übertragungsstrecken liegt ein Interleaving vor (→ unterschiedliche Typen → Bezug auf z.B. Echtzeitanwendungen)

Fortsetzung Satellitenstandard

- Downlink: typisch für die Nachrichtentechnik → es werden alle Schritte des Uplinks in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen und damit rückgängig gemacht
- RS-Code → korrigiert bis zu 8 Symbole
- Faltungscoder wird punktiert → daraus entstehen Verhältnisse wie 1/2, 3/4, 5/6 → Umsortierung bei I und Q Signalen im Modulator
- QPSK bei SAT → Hochleistungsverstärker sind nicht-linear → QAM als leistungsstärkere Modulation benötigt Linearität

Beispielrechnung für die Datenrate am Beispiel ASTRA 1E:

$$r = 0,309; R_{\text{außen}} = \frac{188}{204}; R_{\text{innen}} = \frac{3}{4}; B_{\text{Ü}} = 36 \text{ MHz}; \varepsilon_{\text{QPSK}} = 2 \frac{\text{bit} / \text{s}}{\text{Hz}}$$

$$B_N = \frac{B_{\text{Ü}}}{1+r} = \frac{36 \text{ MHz}}{1,309} = 27,5 \text{ MHz} \Rightarrow S = 27,5 \text{ Mbaud}$$

$$R_{\text{brutto}} = \varepsilon_{\text{QPSK}} \cdot B_N = 2 \frac{\text{bit} / \text{s}}{\text{Hz}} \cdot 27,5 \text{ MHz} = 55 \text{ Mbit} / \text{s}$$

$$R_{\text{netto}} = R_{\text{brutto}} \cdot R_{\text{außen}} \cdot R_{\text{innen}} = 55 \text{ Mbit} / \text{s} \cdot \frac{188}{204} \cdot \frac{3}{4} = 38,01 \text{ Mbit} / \text{s}$$

Baud = Schritte pro Sekunde (→ daher auch hier interpretiert als Hz)

Punktsymmetrische Eigenschaft der Abfallkurve des Roll-off-Faktors → im Basisband auf beiden Seiten (auch negativ) → Faktor 2 einberechnen → entfällt hier, weil auf einem Träger gearbeitet wird

Kabelstandard

- Wie beim Satellit fand die Digitalisierung über dieselben Wege wie die analoge Übertragung statt
- QAM-Modulation wird genutzt (typ. 64-QAM)
- Analoge Übertragung sollte weiterhin möglich sein → digitale Signale im Hyperband ab 300 MHz (bis zu 70 dB SNR → gab es bis 300 MHz schon in den 80er Jahren → bis heute nur im Frequenzbereich erweitert worden auf 864 MHz)
- Signalpegel des digitalen Signals ca. 10-13 dB unter den analogen Pegeln → Verstärker sollten nicht verändert werden → digitales Signal hat bis zu Faktor 20 bzgl. der Leistung → 20 digitale Signale brauchen so viel Leistung wie ein analoges
- Struktur konnte übernommen werden, nur der Modulator musste davor gesetzt werden
- Eigentlich bräuchte man keine RS-Codierung und den Faltungscoder, beides ist aber trotzdem enthalten → innerer Fehlerschutz fällt allerdings weg
- Durch die Höherwertigkeit der QAM bekommt man auch höhere Datenraten → z.B. bis zu 38,45 Mbit/s netto bei 64-QAM (vgl. Satellit hat bei QPSK auch 38 Mbit/s)

Systemübertragung

- Am besten wäre, wenn an der Kabelkopfstelle auch direkt die Sendeanstalten sitzen würden → es würde direkt für die Übertragung im Kabel moduliert und kanalcodiert werden
- Da nicht alle Sendeanstalten, die über Kabel senden, direkt an den Kopfstellen sitzen, wird eine Satellitenstrecke als Überbrückung genutzt → diese benötigt andere Verfahren
- Studio → Kabelkopfstelle: Q-PSK Modulation, RS-Coder, Faltungscoder, Transpondergröße 36 MHz
- Kabelkopfstelle → STB: QAM-Modulation, RS-Coder, Bandgröße 8 MHz
- Rechenbeispiele:
SAT

$$B = 36 \text{ MHz}, S = 27,5 \text{ Mbaud}, R_{\text{brutto}} = 55 \text{ Mbit} / \text{s}, R_{\text{RS-codiert}} = R_{\text{brutto}} \cdot \frac{3}{4} = 41,25 \text{ Mbit} / \text{s}$$

$$R_{\text{netto}} = R_{\text{RS-codiert}} \cdot \frac{188}{204} = 38,01 \text{ Mbit} / \text{s}$$

Kabel

$$B = 8 \text{ MHz}, S = 6,9 \text{ Mbaud}, R_{\text{brutto}} = 41,4 \text{ Mbit} / \text{s} (64\text{-QAM})$$

- Unterschied im Bereich von 0,3-0,4 %, in denen die Datenrate bei der Satellitenstrecke kleiner ist
- Die Bruttodatenrate ist jene auf der Übertragungsstrecke, die Nettodatenrate ist jene, welche nur die Nutzdaten enthält
- Gründliche Anschauung vor Beginn des DVB-Standards, was wirklich möglich war und wurde
- Kanalcodierungen wirken zusammen → äußere Kanalcodierung oft als Ende-zu-Ende Codierung, innere für kritische Strecken (z.B. Funkstrecken wie SAT-Strecke mit 120 dB Verlust)