

Digital Video Broadcasting (DVB)

Einführung in das digitale Fernsehen

Matthias Jung

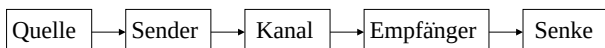
29. Juni 2010

1 Einführung:

Digitales Fernsehen:

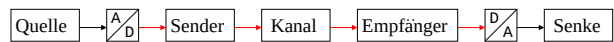
Unter digitalem Fernsehen versteht man die Ausstrahlung digitalisierter Signale, (Ton, Bild, Zusatzinformationen). Diese Datensignale werden zeitkontinuierlichen Trägerschwingungen aufgeprägt um die in den entsprechenden Übertragungskanal einzuprägen.

Analoge Fernsehübertragung:



- Signalerzeugung
- Umwandlung des Signals in eine übertragbare Form (akustisch/optisch → elektrisch)
- Sender: Anpassen des Signals an den Kanal
- Kanal: Führen des Signals: (S/C/T)
Charakterisierung:
→ Bandbreite
→ Signalstörabst. (SNR) $(\frac{S}{N})_{dB} = 10 \cdot \log(\frac{S}{N})$
→ Frequenzgang
- Empfänger: Rückgewinnung des übertragenden Signals

Digitale Fernsehübertragung:



Das Analoge System erfährt eine Erweiterung um folgende Funktionseinheiten:

- Analog-Digital-Umsetzer (ADU)
- Digital-Analog-Umsetzer (DAU)

Nachteile von Analog-TV:

- Geringe Bildqualität
- Schlechte Frequenznutzung
- Hohe rauschempfindlichkeit (→ höhere Sendeleistung nötig)
- Keine Flexibilität für den Betreiber bei der Kanalnutzung und dem Anbieten neuer Dienste

Bitfehlerhäufigkeit (BER = bit error rate):

Ein Merkmal für die Güte eines Übertragungssystems ist die Bitfehlerhäufigkeit.

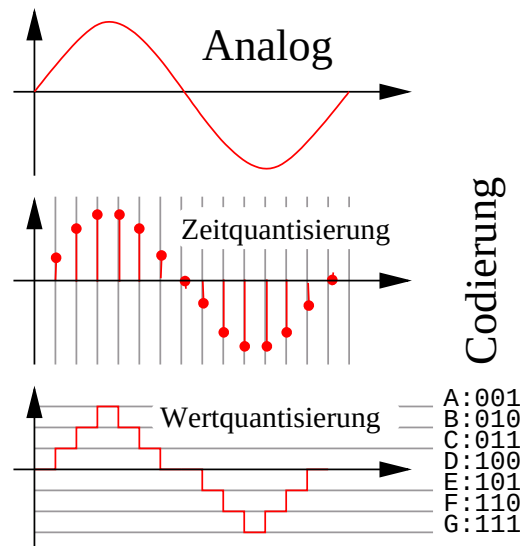
$$BER = \frac{\text{Zahl der fehlerhaften empfangenen Bits}}{\text{Gesamtzahl der empfangenen Bits}}$$

Beim digitalen Fernsehen ist eine $BER = 10^{-5}$ erforderlich.

Digitalisierung analoger Signale:

- **Zeitquantisierung:** Bildung konstanter oder unterschiedlich großer Zeitintervalle und Abtastung bei diesen Intervallen
- **Wertquantisierung:** Bildung konstanter oder unterschiedlich großer Werteintervalle
- **Codierung:** Zuordnung definierter Bitfolgen zu den einzelnen Werteintervallen

Beispiel:



Zeitquantisierung:

Um das Digitale Signal fehlerfrei wiederherstellen zu können muss das Abtasttheorem erfüllt sein:

$$f_A \geq 2 \cdot f_g$$

f_A : Abtastfrequenz

f_g : Größte Frequenz im abgetasteten Signal

$T_A = \frac{1}{f_A}$: Abtastzeitintervall/Abtastperiode

Je größer f_g ist, desto mehr Abtastwerte sind erforderlich (die Bitrate nimmt zu)

Wertquantisierung:

Je feiner die Wertquantisierung gewählt wird, desto länger werden die Bitworte:

$$N = 2^n$$

N : Anzahl der Wertquantisierungstufen

n : Anzahl der Bits

Mit feinerer Stufung nimmt auch die Bitrate zu.

Beispiel: Berechnung der benötigten Bitrate eines SDTV-Signals

Bildformat: 4/3

Bildfrequenz: 25Hz

Zeilen pro Bild: 625

Spalten pro Bild: 864

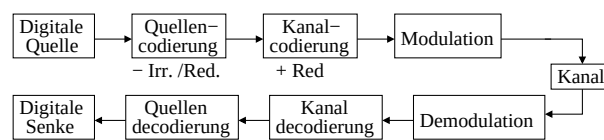
Pixel pro Bild: $625 \cdot 864 = 540000 \frac{\text{Pixel}}{\text{Bild}}$

Bitbreite: $8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}$

Abtastfrequenz für Luminanzsignal: $540000 \frac{\text{Pixel}}{\text{Bild}} \cdot 25 \frac{\text{Bilder}}{\text{s}} = 13.5\text{MHz} (\frac{\text{MPixel}}{\text{s}})$

Abtastfrequenz für Chrominanz (unterabgetastet) : 6.75MHz

$$r_{\text{Bit}} = 13.5 \frac{\text{MPixel}}{\text{s}} \cdot 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}} + 2 \cdot 6.75 \frac{\text{MPixel}}{\text{s}} \cdot 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}} = 324 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$$

Digitale Übertragungskette:

2 Quellencodierung

Ziel der Quellencodierung ist die Reduzierung der Bitrate durch Redundanz- und Irrelevanzreduktion. Verzichtbare Teile werden aus dem Datenstrom entfernt. Der verbleibbare Rest kann dann über schmalere Übertragungskanäle geschickt werden.

Redundanzreduktion (Verlustfrei):

Redundanz: Weitschweifigkeit einer Information. Dazu gehören solche Anteile, die mehrfach vorhanden sind oder sich aus anderen Teilen ergeben/Ableiten lassen

- *Räumliche Redundanz:*

Bereiche in Einzelbildern die eine räumliche Korrelation haben (z.B. Blauer Himmel: es reicht aus das erste Bildelement exakt anzugeben und für die folgenden Bildelemente eine codierte Anweisung, dieses Bildelement zu duplizieren.

- *Zeitliche Redundanz:*

Zwischen aufeinander folgenden Bildern einer Fernsehübertragung sind wegen den 25Hz meist nur geringe Unterschiede gegeben. Die Datenrate wird reduziert indem man nur die Änderungen überträgt.

Irrelevanzreduktion (Verlustbehaftet):

Irrelevanz: Bedeutungslosigkeit einer Information. Dazu zählen solche Anteile, die für die auf der Empfangsseite geforderte Betrachtungsqualität unbedeutend sind

- *Psychooptische Effekte:*

- Das Auge ist für Farbänderung weniger empfindlich als für Helligkeitsänderung (Farbunterabtastung...)
- Das Auge hat ein begrenztes Auflösungsvermögen (Örtlich und Zeitliche [schnell...])

Bei Irrelevanzreduktion werden Bildinhalte weggelassen, deren Verlust nicht wahrgenommen werden kann

Diskrete Cosinus Transformation (DCT):

Die DCT dient zur Dekorrelation, d.h. die meiste Energie eines Signals wird in wenige Transformationskoeffizienten konzentriert.

DCT zur Komprimierung: Irrelevanzreduktion

- Gruppieren der Pixel in Macroblocks (8×8 Pixel)
- Überführung eines Makroblocks aus dem Ortsbereich in den Frequenzbereich mit DCT
- Reelle DCT Koeffizienten (auch 8×8)
- Zu diesem Zeitpunkt wäre die verlustfreie Rekonstruktion des Bildes mit der IDCT möglich
- Quantisierung der DCT Koeffizienten und Runden (Viele 0 entstehen)
- Codierung z.B. Zickzack, Lauflänge, Huffman führt dann zur eigentlichen Komprimierung.
- Zur schnellen Berechnung existiert die FDCT

Das Know-How der Kompression liegt nicht in der DCT selbst (reiner Mathematischer Prozess) Sondern in der Quantisierungsmatrix die das Verhalten des menschlichen Auge berücksichtigt.

Quantisierung = Verlust.

Beispiel:

Macroblock (3×3)

$$\begin{bmatrix} 110 & 106 & 98 \\ 112 & 105 & 97 \\ 109 & 107 & 97 \end{bmatrix}$$

Die Dezimalen Werte sollen den Amplitudenwerten der Luminanzkomponente eines digitalen Videosignals entsprechen

2D-DCT liefert 16 spektrale Koeffizienten:

$$\begin{bmatrix} 202.6 & 14.8 & -0.4 \\ 0.1 & -0.2 & -0.3 \\ -0.1 & 0.3 & -0.1 \end{bmatrix}$$

Gleichanteil
(Niedrigste Frequenz)
Höchste Frequenz

Multiplikation mit Quantisierungstabelle:

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 0.9 \\ 1.0 & 0.9 & 0.8 \\ 0.9 & 0.8 & 0.7 \end{bmatrix}$$

Multiplikation eines jeden Koeff. mit einem individuellen Faktors. Berücksichtigung der Eigenschaften des Auges.

Runden:

$$\begin{bmatrix} 203 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

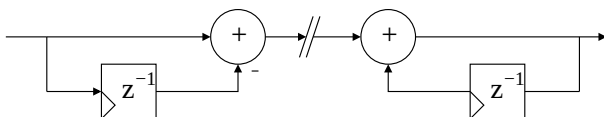
Eine Hohe Anzahl von Koeffizienten ist Null geworden und muss nicht übertragen werden.

Zickzack: 203, 15, 0, ..., 0 →

Nur 203, 15 muss übertragen werden

Differenz Pulscodemodulation (DPCM):

Einfachste DPCM (Prädiktor = Letzer Wert):



Bei der DPCM wird eine Prädiktion (vorhersage) des Signalwertes eines Bildpunktes aus den vorher übertragenen Bildpunkten gemacht. Es wird dann nur die Differenz zwischen aktuellem Bildpunkt und Prädiktion übertragen. Das Ziel ist es eine möglichst gute Prädiktion zu erhalten.

- Eindimensionale Prädiktion (Berücksichtigung vorangegangener Pixel in der selben Zeile)
- Zweidimensionale Prädiktion (Berücksichtigung benachbarter Pixel)
- Dreidimensionale Prädiktion (Berücksichtigung eines Pixels zu verschiedenen Zeitpunkten)

DPCM mit Bewegungskompensation:

- Die Prädiktion kann jedoch zu größeren Fehlern führen, wenn sich der Bildinhalt bei bewegten Vorlagen von Teilbild zu Teilbild ändert
- Man führt eine Bewegungsschätzung durch und leitet hieraus Bewegungsvektoren ab, die zur Bewegungskompensation genutzt werden und zum DPCM decoder übertragen werden.

DPCM nimmt eine Redundanzreduktion vor

MPEG2: (Moving Pictures Expert Group)

Gemeinsame Arbeitsgruppe von ISO

Nutzt Hybride Diskrete Cosinustransformation:

- Zuerst DPCM mit Bewegungskompensation.
- Darin integriert erfolgt DCT mit Quantisierung.
- Multiplex von Ton und Bild!

Bildformate	LDTV 4/3	SDTV 4/3	EDTV 16/9	HDTV 16/9	HDTV 4/3
Abtastfrequenzen:					
Luminanz:	5	13.5	18	72	54
Chrominanz:	2.5	6.75	4.5	36	27
Aktive Pixel:					
Y:	352x288	720x576	960x576	1920x1152	1440x1152
UV:	176x288	360x576	480x288	960x1152	720x1152
Datenrate (8 Bit/ 25 Hz):					
Vor Datenreduktion:	41	166	166	885	665
Nach Datenreduktion:	1-2	5-6	10-12	15-24	15-24

Multiplexing:

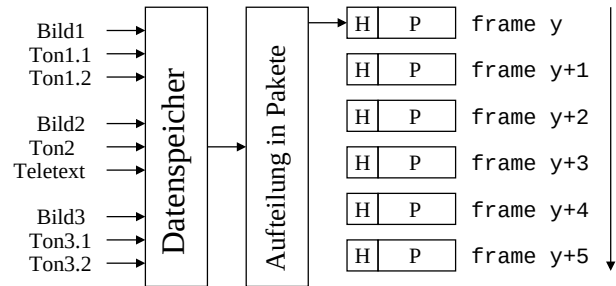
- Die Kapazität eines Übertragungskanal ist erheblich größer als die Bitrate des quellencodierten Signals eines Fernsehprogramms.
- Um die Übertragungskapazität optimal zu nutzen werden gleichzeitig mehrere Programme übertragen.

Beispiel: Kabelkanal BB: $8\text{MHz} \rightarrow \text{ca } 6 \text{ SDTV Prog.}$

Ablauf:

- Zwischenspeichern mehrerer Programme (Video, Audio, Teletext...)
- Aufteilen des kontinuierlichen Bitstroms in konstant lange *Packets*
- Jedes *Packet* bekommt Steuerinfos: *Header* (Synchro., Identifizierung, Verschlüsselung...)
- Es entstehen Rahmen (*Frames*) aus *Header* und *Payload* (Daten)

Beispiel:



Die Summe der Bitraten der einzelnen Programme + die Bitrate des Multiplexing-Overheads ergibt die Bitrate des Multiplex Signals. Aufgrund der Header ist dein Demultiplexing möglich.

Bei DVB:

Header: 4 Byte

Payload: 184 Byte

Gesamt: 188 Byte

3 Kanalcodierung

Erforderliche Bit Error Rate:

Nach der Quellencodierung ist das komprimierte Signal sehr empfindlich gegenüber Übertragungsfehler.

Einzelne Bitfehler können bereits katastrophale Folgen für die Rekonstruktionsqualität haben.

- LDTV: $BER \leq 10^{-9}$
- SDTV: $BER \leq 10^{-10}$
- HDTV: $BER \leq 10^{-11}$

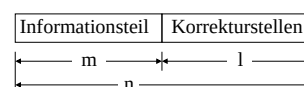
Im Falle solch niedriger BER spricht man von *quasi error free*-Übertragungssystemen.

Kanalcodierung stellt eine elegante Lösung da, derartige robuste Übertragungssysteme zu erhalten.

Eigenschaften der Kanalcodierung:

- Kanalcodierung fügt wieder Redundanz hinzu $\rightarrow$ Fehlerschutz (Im Gegensatz zur Quellcodierung)
- Redundanz wird in einer mathematischen Form angefügt damit der Empfänger Fehler erkennen und Korrigieren kann
- Mathematische Formen sind *Blockcodes*, *Faltungscodes*, oder *verkettete Codes*

Coderate:



$$R = \frac{m}{n} = \frac{m}{m+l}$$

Nach der Kanalcodierung ist die Fatenrate um den Faktor $\frac{1}{R}$ erhöht. Die Leistungsfähigkeit eines Codes wächst mit zunehmendem l .

Blockcode z.B: Reed Solomon Code:

Bei Blockcodes wird der Redundanzteil blockweise an den Informationsteil angefügt.

- Symbolorientierter Code (Ein Symbol besteht aus 8 Bit)
- Die Fehlerkorrektur erkennt welches Symbol falsch ist
- Korrektur von kurzen Bündelfehlern möglich
- Es können $l/2$ (Bytes) Korrigiert werden

Beispiel:

RS-(204,188)-Code:

$n = 204$ Byte

$m = 188$ Byte

$k = 16$ Byte

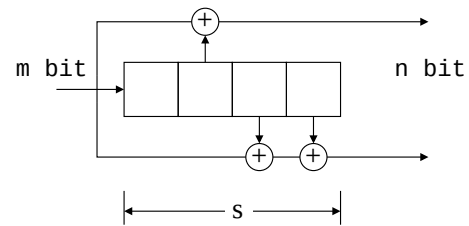
Es können bis zu 8 Fehlerhafte Bytes Korrigiert werden.

$$R = \frac{188}{204} \approx 0.92$$

Faltungscodes:

- Redundanz wird kontinuierlich hinzugefügt
- Faltungscode sind Binärcodes
- Die Information wird über mehrere zu übertragende Bits verschmiert
- Speicherung der Eingangsdaten erfolgt in einem Schieberegister
- Erzeugung der Ausgangsdaten durch Kombination verschiedener Abgriffe des Schieberegisters
- Sehr gut geeignet für die Korrektur einzelner Bitfehler
- Die Leistungsfähigkeit steigt mit zunehmendem p
- Die Übertragungsgeschwindigkeit muss erhöht werden
- Fehlerschutz wird mit kleiner werdender Code rate $R = m/n$ besser
- Decodierung mittels Viterbi

Beispiel:



- Modulo 2 Addition: $\oplus$ XOR
- s : Länge des Schieberegisters
- $p = (s + 1) \cdot m$ Beeinflussungslänge
Bezeichnet die Gesamtzahl aller am Codierungsprozess beteiligten Bits
- $s \cdot m$ Speichertiefe des Faltungscodes
- $2^{s \cdot m}$ Die Zahl der möglichen internen Zustände des Faltungscodes

Verkettete Codes:

Kombination von:

- Blockcodes
(effizient bei bereits hohen Coderaten, Korrektur von Bündelfehlern)
- Faltungscodes
(effizient bei niedrigen Coderaten, Korrektur von Einzelfehlern)

Neue Coderate: $R_g = R_1 \cdot R_2$

Die Datenrate vergrößert sich um den Faktor $\frac{1}{R_1 \cdot R_2}$

Interleaver:

Der Interleaver wird zwischen äußerem und innerem Codierer eingefügt. Der Interleaver sortiert den Datenstrom so um das aus langen Bündelfehlern auseinanderliegende Einzelfehler werden. Es gibt Block bzw. Faltungsinterleaver...

Beispiel:

Ohne Interleaver:

aaaabbbbccccdddd $\rightarrow$ aaaabb????ccdddd

Mit Interleaver:

abcdababcdababcd $\rightarrow$ abcdab????cdabcd

Deinterleaving: aa?abb?bc?ccd?dd

Anwendung bei DVB:

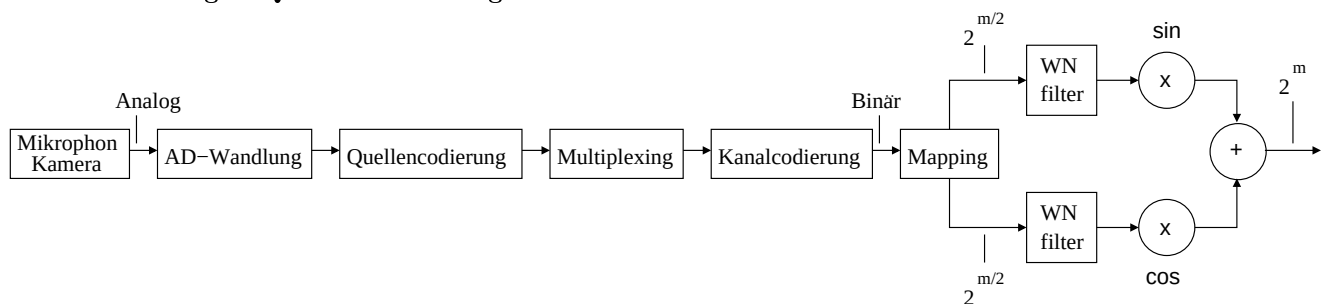
DVB-S: verketteter Code

DVB-C: Blockcode

DVB-T: verketteter Code

4 Digitale Modulation

Von der Analogen Quelle bis zur Digitalen Modulation:



Mapping:

- Nach der Kanalkodierung
- Zusammenfassen von m bits und abbilden auf ein Komplexwertiges Symbol
- Zwei parallele $2^{\frac{m}{2}}$ -stufige Symbolfolge ($\Re/\Im$)

Wurzel-Nyquist-Filterung:

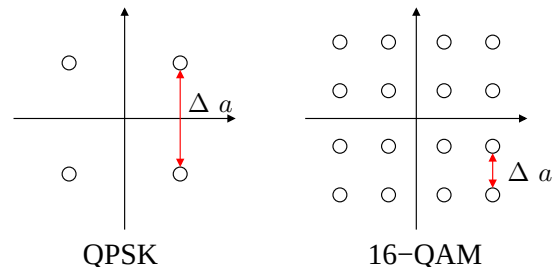
- Nach dem Mapping
- Bandbegrenzung und Sendeimpulsformung
- Verhindern ISI
- Roll-off-Faktor α (Ideal: $\alpha = 0$, Real $\alpha \neq 0$)

Modulation:

- Nach der Filterung
 - Signal wird in einen höheren Frequenzbereich überführt.
 - $\Re$ (Inphaseteil) moduliert ein $\cos$ förmiges Trägersignal
 - $\Im$ (Quadraturteil) moduliert ein $\sin$ förmiges Trägersignal
- 2 trägerfrequente Schwingungen deren Addition das zu übertragende Signal ergibt

Bezeichnungen:

m=2: QPSK (Quadratur Phase Shift Keying)
 m=4: 16-QAM (Quadratur Amplituden Modulation)
 m=6: 64-QAM
 m=8: 256-QAM

**Eigenschaften:**

- Je höher die Modulationsart, desto größer ist die spektrale Effizienz E . (anzahl bit/s je Hz Bandbreite)
- Je höher die Modulationsart desto höher die Empfindlichkeit gegenüber Störungen.
- Im idealfall $E = m$
- Durch nichtidealer Filter ist der Wert um den Faktor $\frac{1}{1+\alpha}$ kleiner

Beispiel:

Bandbreite Kanal: 8Mhz

Filter: $\alpha = 0,15$

Anzahl der Bits: $m = 6\text{bit} \rightarrow 64\text{QAM}$

Bruttobitrate: $R_{Brutto} = 6\text{bit} \cdot 8\text{Mhz} = 48 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$

Nettobitrate: $R_{Netto} = \frac{1}{1+\alpha} \cdot R_{Brutto} = 41.7 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$

5 Kanalkapazität

Kanal:

In jedem technischen System ist der Übertragungskanal bestimmend für den Umfang der übertragbaren Information.

Im DVB: Satellit, Kabel, Terrestrisch

Eigenschaften des Kanals:

- Bandbreite
- Längenabhängige Dämpfung
- Frequenzabhängigkeit
- Rauschen
- sonstige Störungen

führen zu bestimmten Werten für SNR und BER

Kanalkapazität:

- Die übertragbare Bitrate ist abhängig von der Bandbreite B und dem SNR
- Kanalkapazität bei Gausverteilterm Rauschen:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right]$$

- In vielen Fällen gilt: (Wenig rauschen, Hohe Signalleistung...)

$$\frac{S}{N} \gg 1 \rightarrow C \approx \frac{1}{3} \cdot B \cdot \left(\frac{S}{N} \right)_{dB}$$

- Die Beziehung für die Kanalkapazität ergibt sich aus der Shannonschen informationstheorie

Deutung:

Bandbreite B und SNR sind reziprok zueinander:

- Auch bei geringem B können Hohe Übertragungsraten mit einem hohen SNR Verhältnis realisiert werden
- Umgekehrt kann bei Kanälen mit kleinem SNR (hohe Rauschwirkung) die Übertragungsrate durch vergrößerung von B gesteigert werden.

6 Übertragungsverfahren

Klassisches Einträger Übertragungsverfahren:

Problem: Rauschen und Mehrwege Empfang (ISI) verzerren Signal

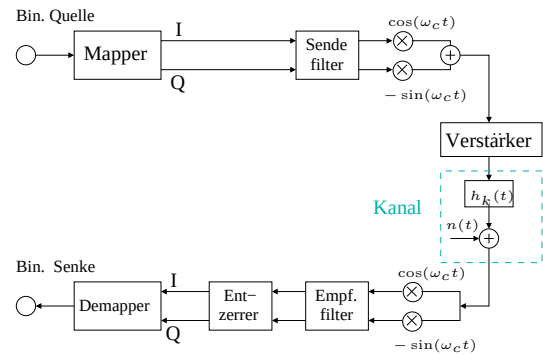
Prinzip der adaptiven blinden Entzerrung:

Die Grundstruktur besteht aus einem einstellbaren Filter, der Signalbewertung und dem Adaptionsalgorithmus. Diese Blöcke bilden einen Regelkreis / Adaptives Filter.

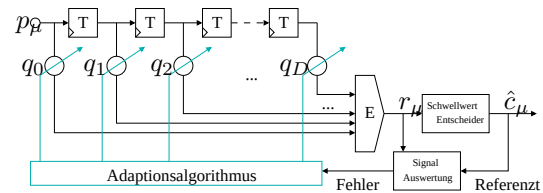
- Eingangssignal p_μ
 - Filterung mit den Koeff. q_ν zum Signal r_μ
 - Aus r_μ und einem geschätzten Referenzsignal wird ein skales Fehlermaß gebildet
 - Der Adaptionsalgorithmus passt die Koeffizienten q_ν an um diesen Fehler zu minimieren
- Optimale Entzerrung wird erreicht.

Blinde Entzerrung da mit geschätzter Referenz und keinem Trainingssignal gearbeitet wird.

Struktur eines Einträgersystems:



Struktur des Blinden Entzerrers:



Mehrträger Übertragungssystem: OFDM

- Frequenzmultiplex Verfahren bei dem mit N Trägerschwingungen N Symbole übertragen werden.
- Die Sendesymbolfolge c_μ wird in Blöcke von je N aufeinanderfolgenden Symbolen unterteilt.
- Der k -te Block erhält die Symbole $c_{k,\alpha}$ ($\alpha = 0 \dots N-1$)
- Damit wird ein OFDM-Sendesymbol $m_k(t)$ der Dauer T_{Nutz} erzeugt:
- N identische Sendegrundimpulse $h_s(t)$ werden mit den Sendesymbolen $c_{k,\alpha}$ gewichtet.
- Danach erfolgt eine Modulation mit den N äquidistanten Trägerfrequenzen f_α
- $h_s(t)$ ist ein Rechteckimpuls der Dauer T_{Nutz}
- Die α -te Trägerfrequenz: $f_\alpha = \alpha/T_{Nutz}$
- Diese Frequenzwahl gewährleistet ein orthogonales Funktionensystem → einfache Rekonstruktion möglich.
- Das k -te Sendesymbol:

$$m_k t = \sum_{\alpha=0}^{N-1} c_{k,\alpha} \cdot e^{j2\pi f_\alpha t}$$

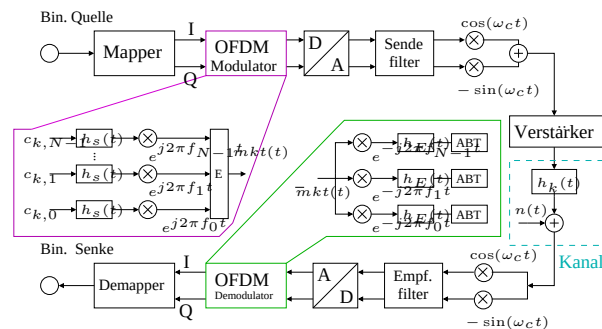
- Abtastung mit $t = \beta \cdot T_{Nutz}/N$:

$$m_k \left(\beta \cdot \frac{T_{Nutz}}{N} \right) = m_{k,\beta} = \underbrace{\sum_{\alpha=0}^{N-1} c_{k,\alpha} \cdot e^{j2\pi \cdot \alpha \cdot \beta / N}}_{IDFT(c_{k,\alpha})}$$

- → Rückgewinnung der Symbolwerte $c_{k,\alpha}$ aus den Abtastwerten $m_{k,\beta}$

$$c_{k,\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{\beta=0}^{N-1} m_{k,\beta} \cdot e^{-j2\pi \cdot \alpha \cdot \beta / N}$$

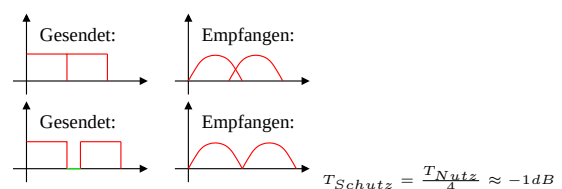
Struktur eines Mehrträgersystems:



Einfügen eines Schutzintervalls:

- Fehlerfreie Rekonstruktion der Sendesymbole nur dann, wenn einzelnen Träger Orth. bleiben
- Mit ISI- Kanäle zerstören diese Orthogonalität es muss ein Schutzintervall eingefügt werden
- $T_{GES} = T_{Nutz} + T_{Schutz}$
- Die Trägerfrequenzen f_α bleiben erhalten das Signal wird einfach periodisch fortgesetzt
- Auswertung vom Empfänger nur bei T_{Nutz}
- T_{Schutz} muss kleiner sein als Das Kanalgedächtnis (Kanalverzerrung, Impulsantwort...)
- Nachteil: Energieverlust

Beispiel Schutzintervall:



Vergleich von Ein- und Mehrträgersystemen:

	Einträgersys.	Mehrträgersys.
Signalverarbeitung und Übertragung:	Seriell	Blockweise-Parallel
Schutzintervall:	nein	ja → Verlust
Nichtlinearität:	robust	empfindlich (TWTA vs. Hüllkurven schwankungen)
Synchronisation:	einfach	aufwendig
Entzerrer	fast immer notwendig	geringer Entzerreraufwand
Gleichwellennetz:	nur geeignet bei stark erhöhtem Entzerreraufwand	sehr gut geeignet

Highpower Amplifier (HPA:) Hochleistungsverst.

Hochleistungsverstärker haben oft die Eigenschaft nichtlinear zu sein. Bei einem solchem System gelten Superposition und Proportionalität nicht mehr. Es gibt Nichtlinearitäten in Amplitude (AM/AM) und Phase (AM/PM)

TWTA: Guter Wirkungsgrad bei wenig Leistung (Satellit!) aber AM/AM und AM/PM

SSPA: Besserer Wirkungsgrad aber dafür nur AM/AM

7 Standards

7.1 DVB-S

Grundlagen:

- Position: geostat. Orbit 36 Mm über Äquator
 - Energieversorgung über Solarzellen
- nur geringe Leistung!
- Deswegen ist ausreichend Bandbreite vorhanden (10,7-12,7 GHz Bandbreite zwischen 26 und 54Mhz)
 - Verstärker TWTA: ist effizient bei wenig Leistung aber nichtlinear und deswegen wird kein OFDM verwendet!

Detail:

- MPEG-2 Stream (Paket=188 Byte (4H))
- RS-Codierer: RS(204,188) 8 Bytes Korrigierbar
- PC-Codierer: Faltungscodierer $R_2 = \frac{1}{2}$...
- Interleaver der mit Länge = 12
- Wegen der Punktierung sind weitere Coderaten möglich (höhere Datenrate, weniger Korrekturfähigkeit)
- QPSK Mapper: Gray-Codierung (Benachbarte Zustände unterscheiden sich nur in einem Bit)
- Sendefilter: WNF mit $\alpha \leq 0.35$
- Sender-Frontend: Modulation und TWTA
- Satellitenkanal:
 - Nichtlineare Verzerrungen durch TWTA
 - Rauschen = Hauptstörung auf dem Kanal

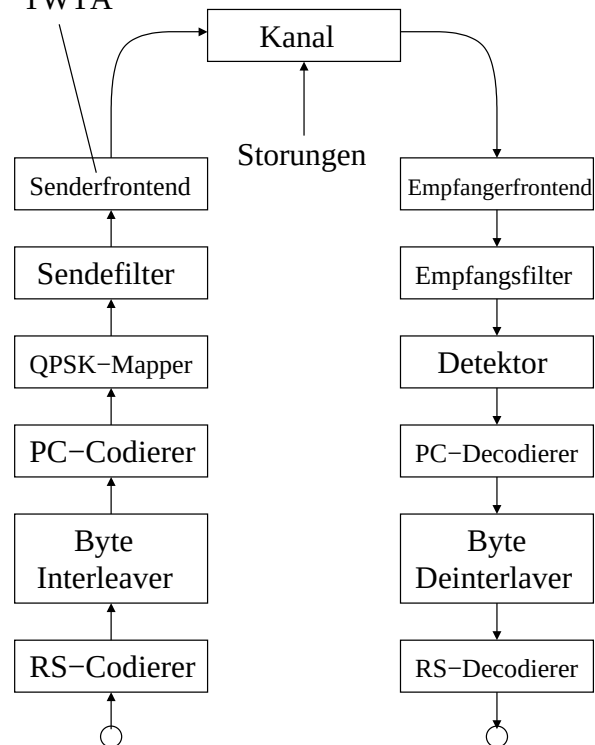
Nettodatenrate:

$$R_u = B \cdot m \cdot \frac{1}{1 + \alpha} \cdot R_1 \cdot R_2$$

Um eine $BER = 10^{-11}$ zu erreichen muss auch ein bestimmter SNR vorliegen!

Struktur:

Modulation TWTA



// QPSK = Sehr Robust!
 // Coderate kann bei starkerr Sendeleistung
 // reduziert werden

Verschiedene Bitraten Möglich:

$B[Mhz]$	$R_2 = \frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{7}{8}$
54	38,9	51,8	58,3	64,8	68
36	25,9	35,6	38,9	43,2	45,4
26	18,7	25	28,1	31,2	32,8

7.2 DVB-C

Grundlagen der Kanalübertragung:

Die Kabelgebundene Übertragung der Rundfunksignale ist in vier abschnitte aufgeteilt: Studio, TV-Schaltstelle, Kabelkopfstelle, Übergabepunkt, Endgerät

- Hyperband des BK-Netzes (342-446 MHz)
- Bandbreite: 8Mhz (13 Kanäle)
- Störungen durch:
 - Nichtlinearer Verarbeitung
 - Thermisches Ruaschen
 - Reflexionen durch nichtidealen Abschluss
- Standard: 64-QAM

Detail:

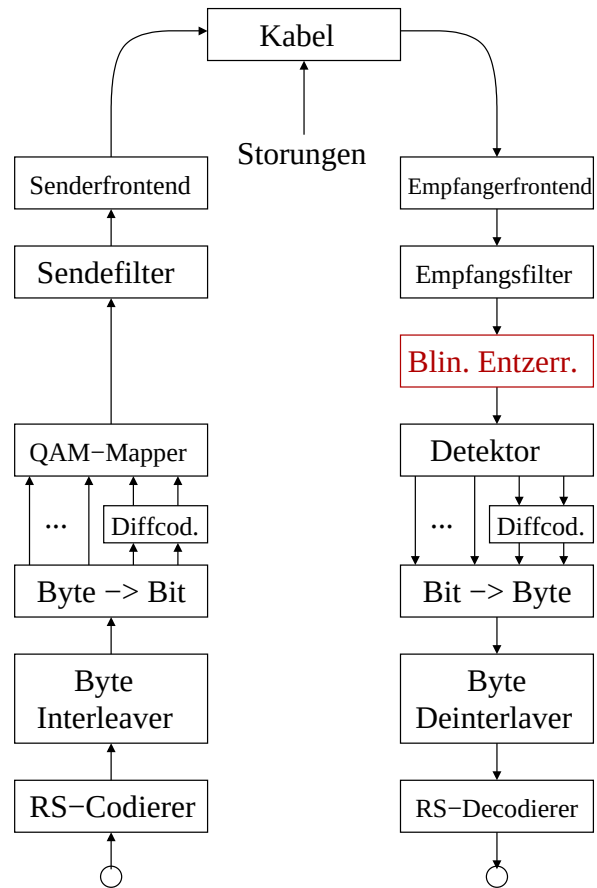
- Quelle, RS-Codierer und Byteinterleaver wie bei DVB-S
- Bit2Byte umsetzung bildet den bunären Datenstrom neu ab damit das Mpping durchgeführt werden kann
- Differentielle Codierung der beiden höchstwertigsten Bits wegen besserer rückgewinnung der Trägerphase im Empfänger (Quadrant)
- Senderfrontend führt Modulation und Verstärkung durch
- Der Empfänger hat noch einen Blinden Entzerrer.

Nettodatenrate:

$$R_u = B \cdot m \cdot \frac{1}{1 + \alpha} \cdot R_1$$

Um eine $BER \leq 10^{-4}$ vor dem RS-Codierer zu erreichen muss auch ein bestimmter SNR vorliegen!

Struktur:



Kenngrößen:

$$B = 8MHz$$

$$\alpha = 0,15$$

$$R_1 = \frac{188}{204}$$

$$R_2 = 1 \text{ da keine Faltungscodierung}$$

$$R_u(64 - QAM) = 38,45Mbit/s$$

$$SNR(64 - QAM) = 16dB$$

7.3 DVB-T:

Grundlagen zur terrestrischen Ausstrahlung:

- Klassische Technik des Rundfunks
- Flächendeckender stationärer Empfang mit Dachantenne
- Aber auch mit portablen Empfängern
- Frequenzbereich 470
- Kanalbandbreite 8Mhz
- Ausstrahlung in einem Terrestrischen Gleichwellennetz
- Reflexionen (an Bergen, Gebäuden...) verschlechtern das eigentliche Nutzsignal

AWGN-Kanal (Additive White Gaussian Noise) gerichtete Empfangsantennen, nur direkte Empfang

RICE-Kanal gerichtete Empfangsantennen, Mehrwegeempfang

Rayleigh-Kanal ungewichtete Empfangsantennen, Mehrwegeempfang aber es dominiert nicht unbedingt ein Signalpfad

Detail:

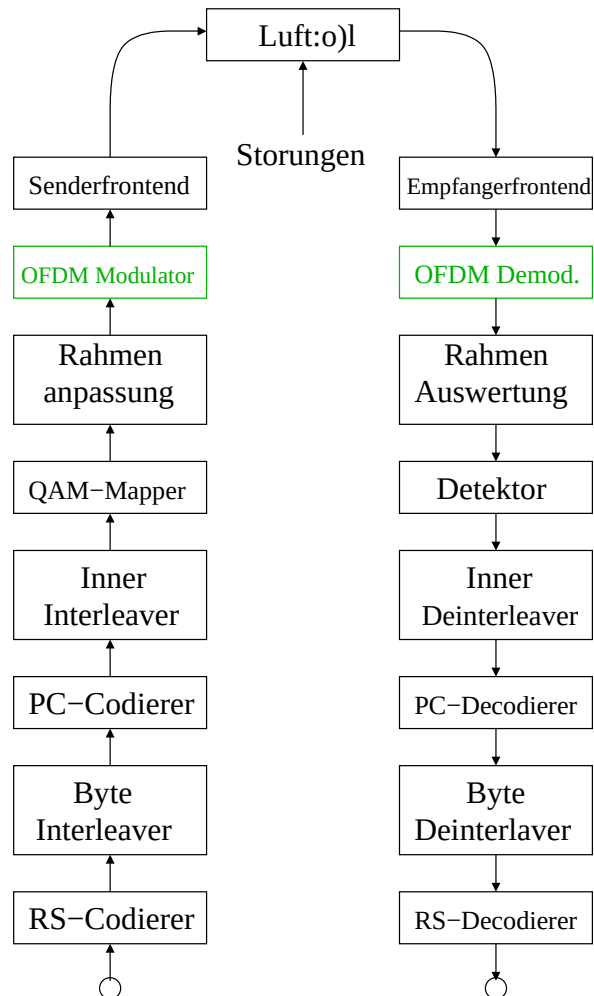
- Quelle, RS-Codierer, Byte-Interleaver, PC-Codierer wie bei DVB-S
- Innerer Interleaver
- Mapping (QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
- OFDM Parameter:

Für den Maximalen Abstand der Sender ist die Länge des Schutzintervalls von Bedeutung:

$$\Delta s = T_{Schutz} \cdot c$$

$$T_{Schutz} \geq \text{Laufzeit des Signals}$$

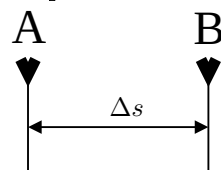
Struktur:



Gleichwellennetze:

Bestehen aus Sendern, die synchron zueinander und unter Nutzung derselben Sendefrequenz absolut identische Datenströme ausstrahlen. Jeweils benachbarte Sender unterstützen einander in ihrer Versorgungsaufgabe

Beispiel Gleichwellennetze:



$$\Delta s = 60 \text{ km}$$

$$\Delta \tau = \frac{\Delta s}{c} \approx 200 \mu s$$

$$T_{Schutz} \geq \Delta \tau$$

Der benötigte SNR ist abhängig von:

Modulationsart, Coderate Charakteristik des Kanals: Stationär (AWGN, RICE) Portabel (Rayleigh)

ETSI Standard:

