

Bilder zum Buch

Grundlagen der Nachrichtentechnik

Carsten Roppel (c.roppe@hs-sm.de)

Carl Hanser Verlag, 2. Aufl. 2023



Die Verwendung der Bilder ist für den eigenen Bedarf unter Angabe der Quelle erlaubt. Eine kommerzielle Verbreitung ist nicht statthaft.

1 Einführung



Bild 1.1: Ein Kommunikationssystem

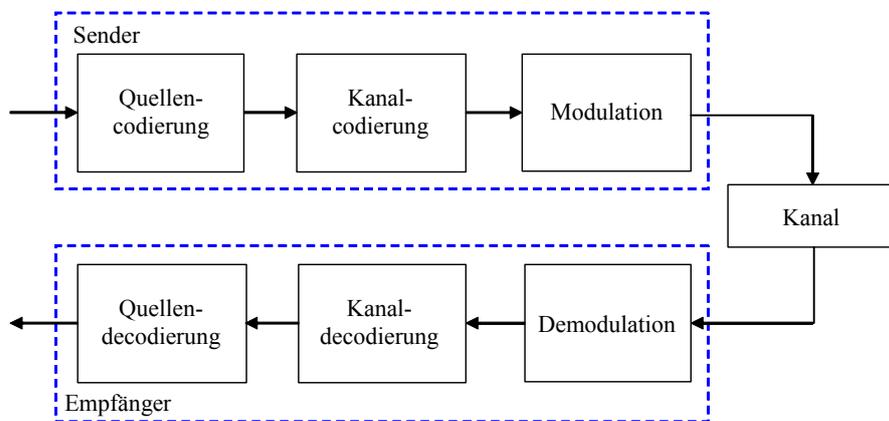


Bild 1.2: Elemente eines Übertragungssystems

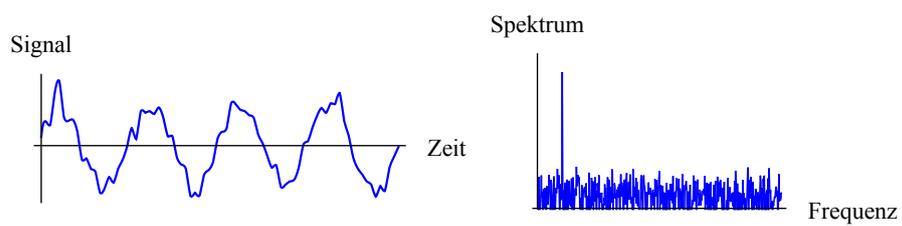


Bild 1.3: Ein Signal im Zeit- und im Frequenzbereich

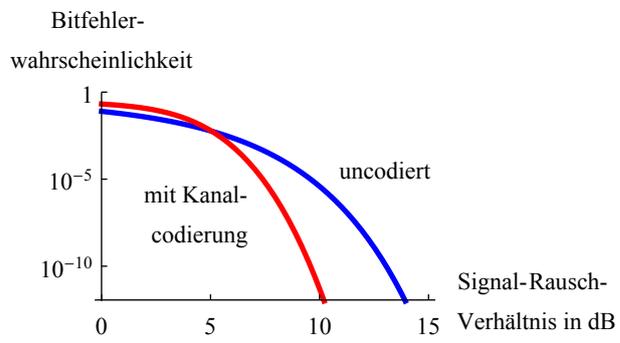


Bild 1.4: Bitfehlerwahrscheinlichkeit und Kanalcodierung

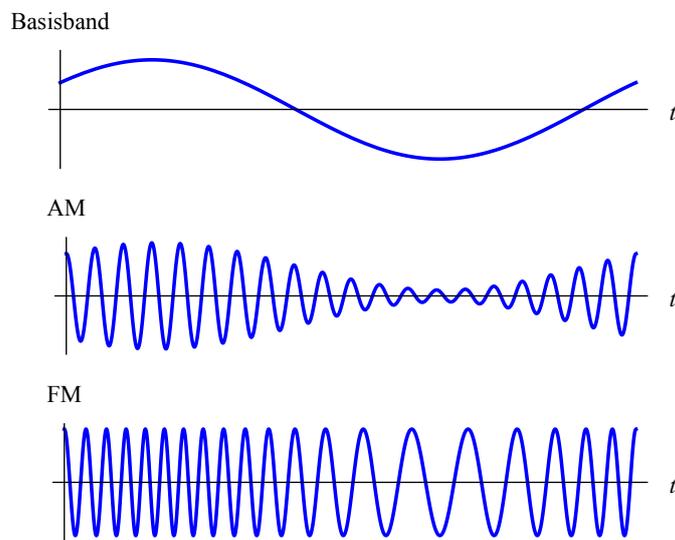


Bild 1.5: Analoge Modulationsverfahren

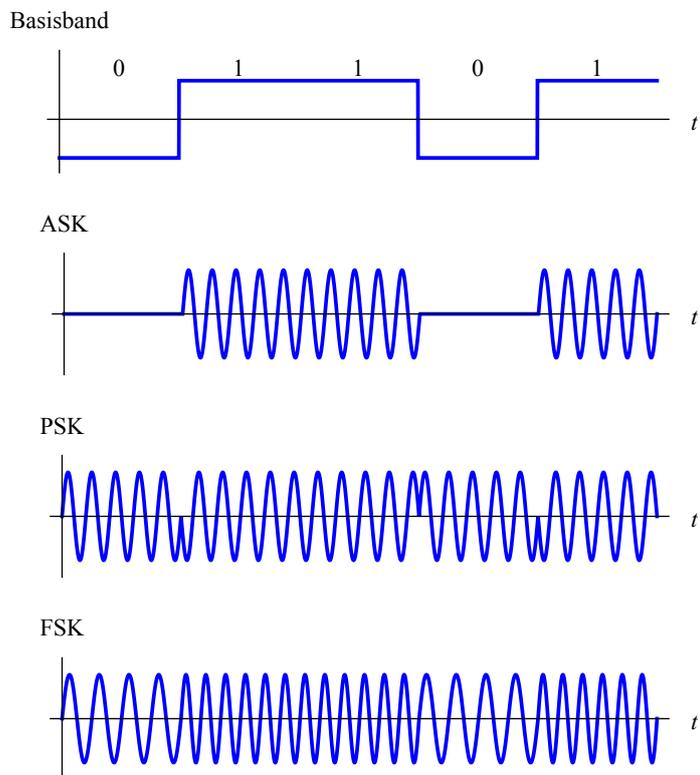


Bild 1.6: Digitale Modulationsverfahren

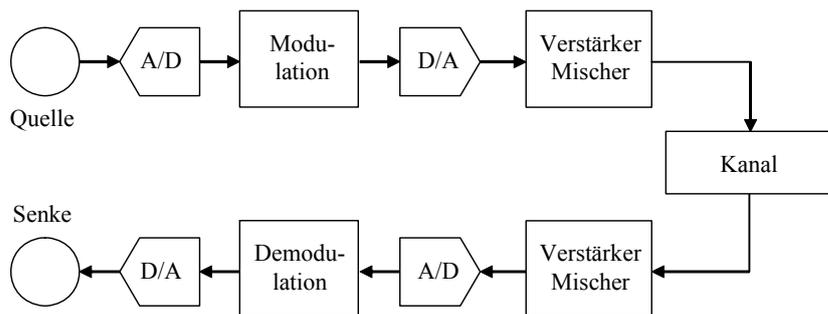


Bild 1.7: Digitale und analoge Signalverarbeitung

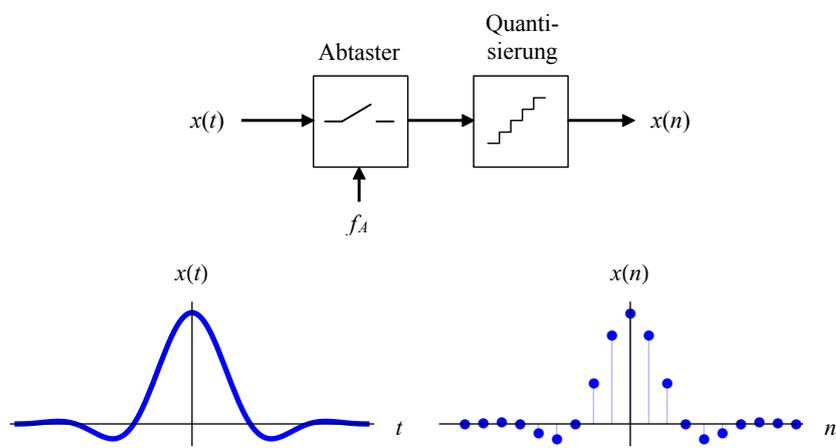


Bild 1.8: Ein zeitdiskretes Signal entsteht durch Abtastung eines analogen Signals

2 Signalübertragung

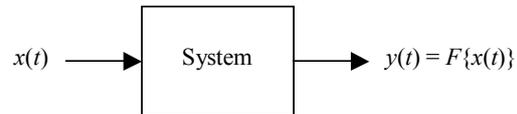


Bild 2.1: Ein System

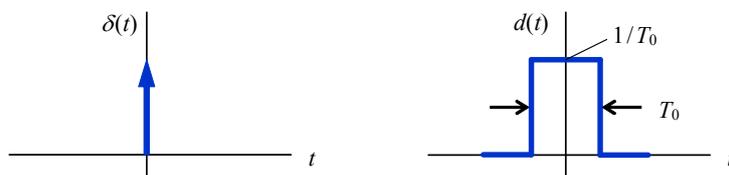


Bild 2.2: Dirac-Impuls und messtechnische Realisierung durch schmalen Rechteckimpuls

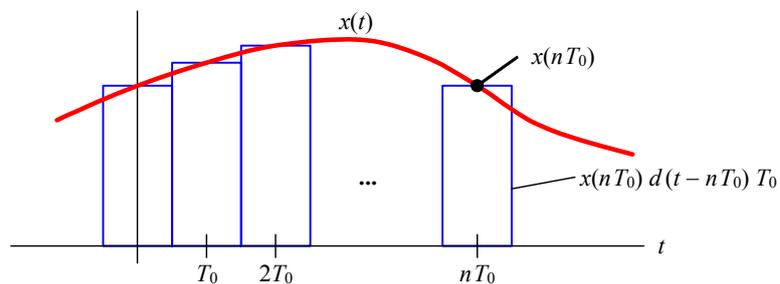


Bild 2.3: Approximation eines Signals $x(t)$ durch eine Folge von Rechteckimpulsen

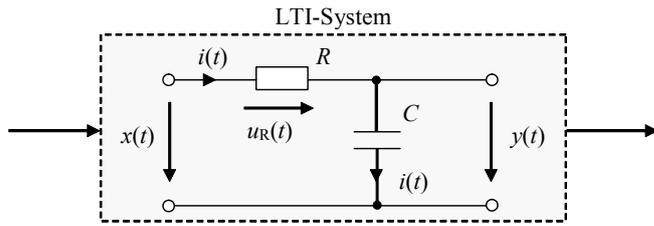


Bild 2.4: Der RC-Tiefpass

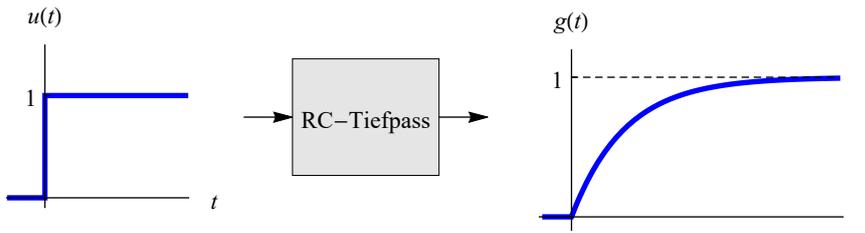


Bild 2.5: Sprungantwort $g(t)$ des RC-Tiefpasses als Reaktion auf den Einheitssprung $u(t)$

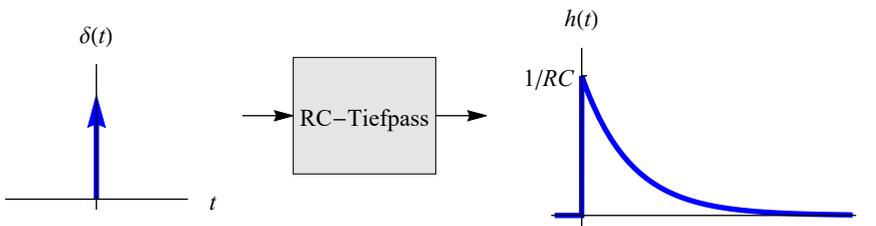


Bild 2.6: Impulsantwort $h(t)$ des RC-Tiefpasses als Reaktion auf den Dirac-Impuls $\delta(t)$

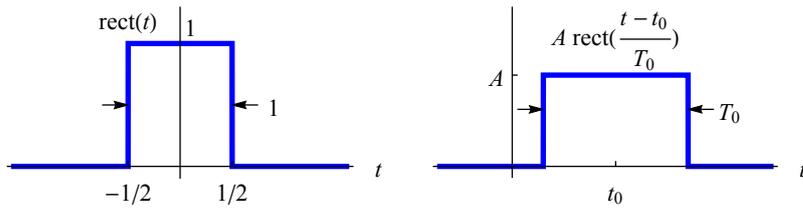


Bild 2.7: Der Rechteckimpuls

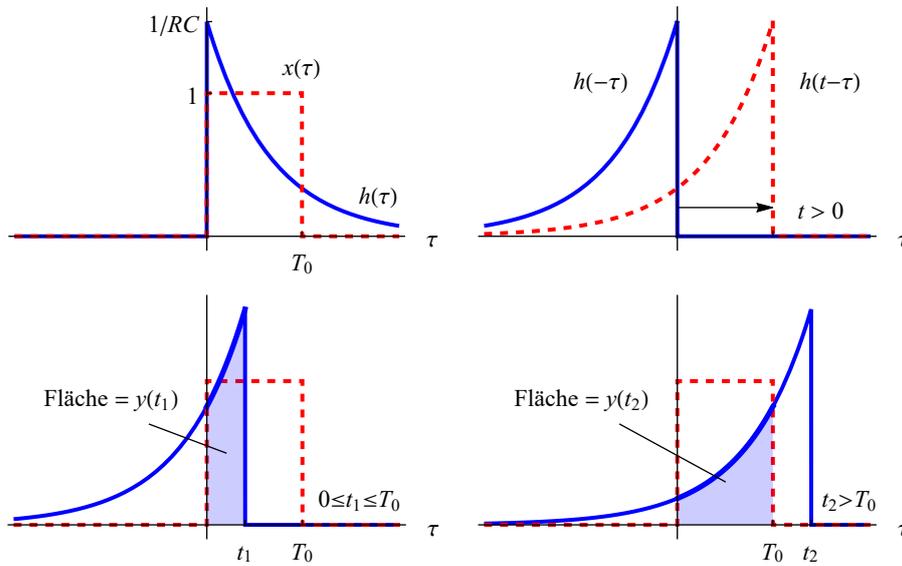


Bild 2.8: Faltung eines Rechteckimpulses der Breite T_0 mit der Impulsantwort des RC-Tiefpasses

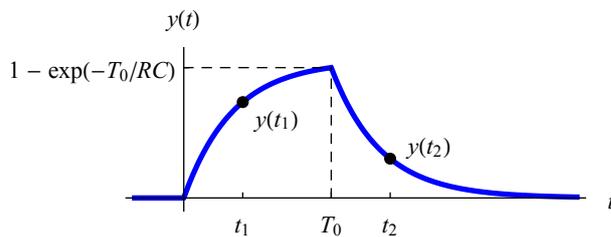


Bild 2.9: Ausgangssignal $y(t)$ des RC-Tiefpasses

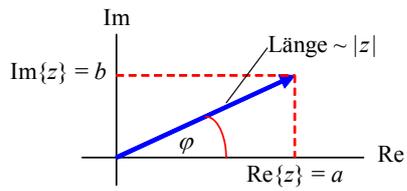


Bild 2.10: Betrag und Phase einer komplexen Größe

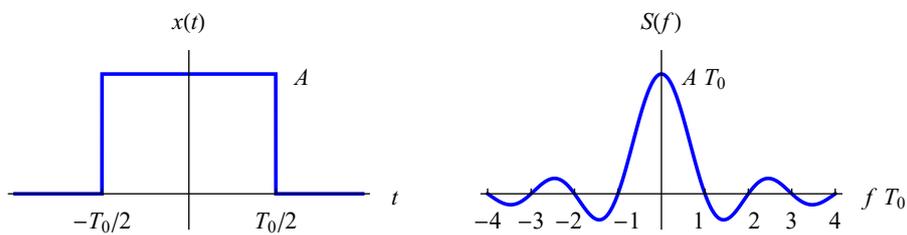


Bild 2.11: Der Rechteckimpuls und dessen Fourier-Transformierte

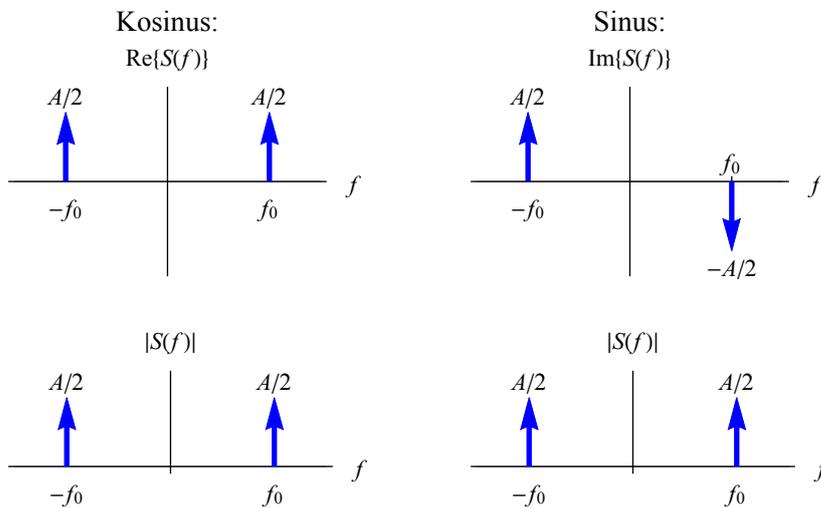


Bild 2.12: Fourier-Transformierte des Kosinus- und des Sinussignals

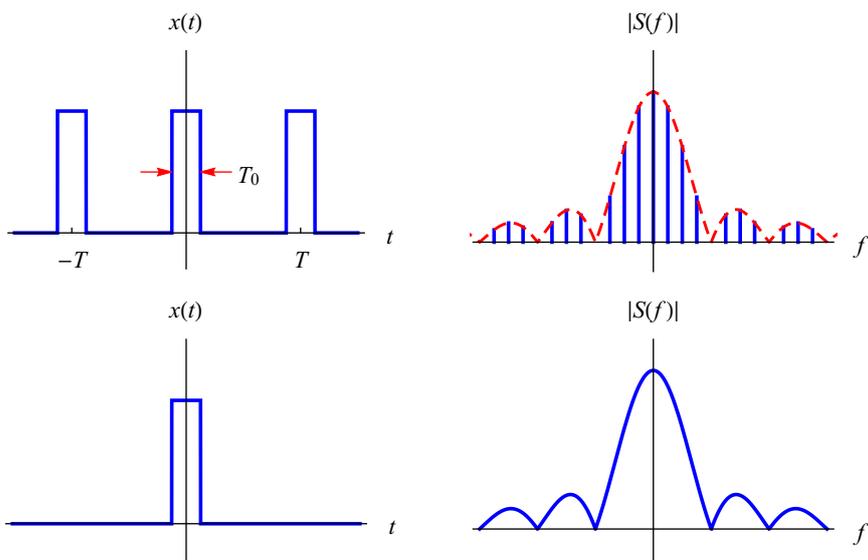


Bild 2.13: Periodisches und nichtperiodisches Signal und deren Spektren

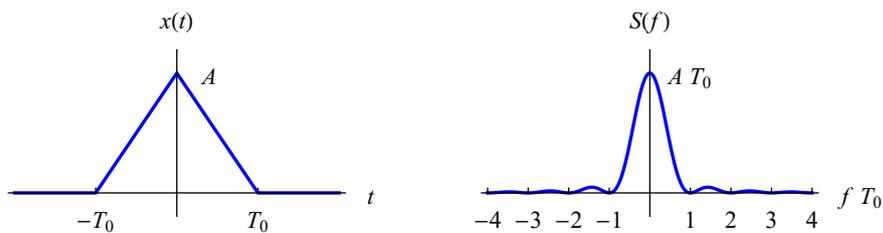


Bild 2.14: Der Dreieckimpuls und dessen Fourier-Transformierte

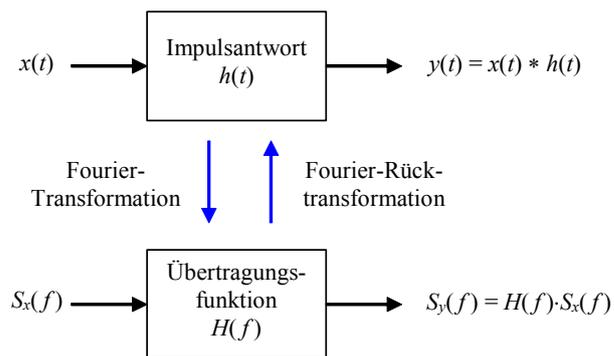


Bild 2.15: Beschreibung eines LTI-Systems im Zeit- und im Frequenzbereich

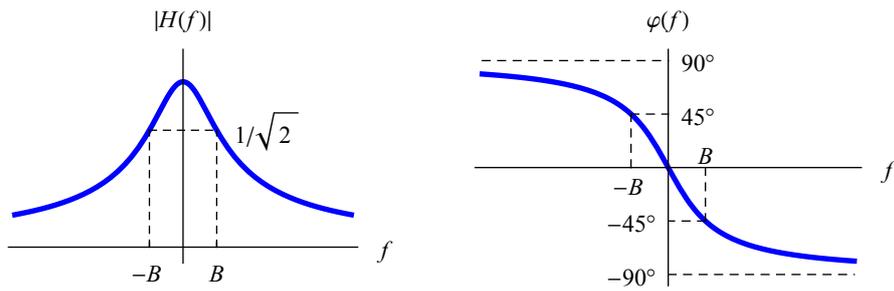


Bild 2.16: Betrag und Phase der Übertragungsfunktion des RC-Tiefpasses

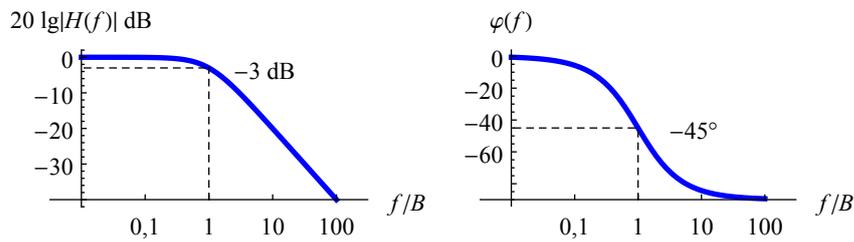


Bild 2.17: Bode-Diagramm der Übertragungsfunktion des RC-Tiefpasses

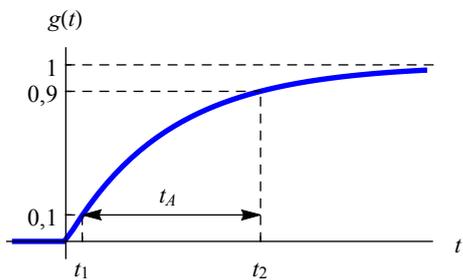


Bild 2.18: Definition der Anstiegszeit t_A

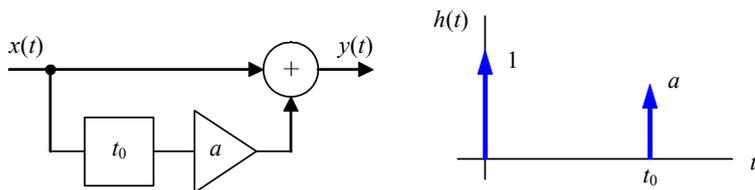


Bild 2.19: Kanalmodell und Impulsantwort bei Mehrwegeempfang

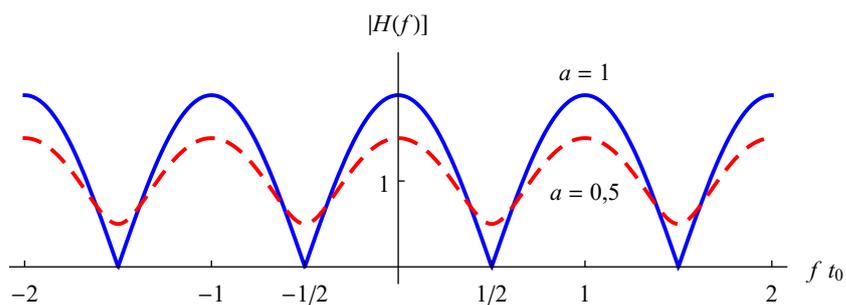


Bild 2.20: Betrag der Übertragungsfunktion des Kanals aus Bild 2.19

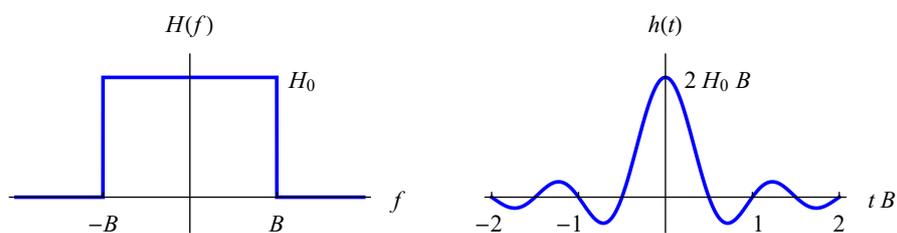


Bild 2.21: Übertragungsfunktion und Impulsantwort des idealen Tiefpasses

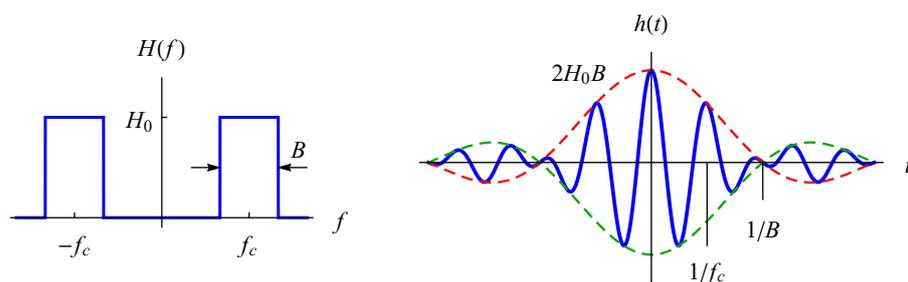


Bild 2.22: Übertragungsfunktion und Impulsantwort des idealen Bandpasses

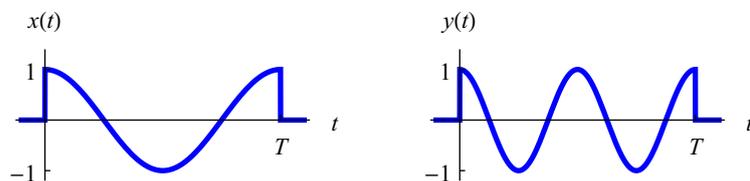


Bild 2.23: Beispiel orthogonaler Signale

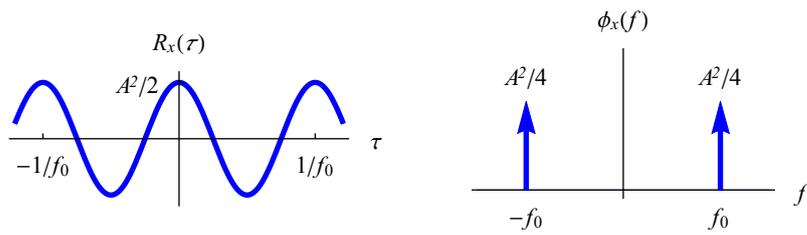


Bild 2.24: Autokorrelationsfunktion und Leistungsdichtespektrum des Kosinussignals

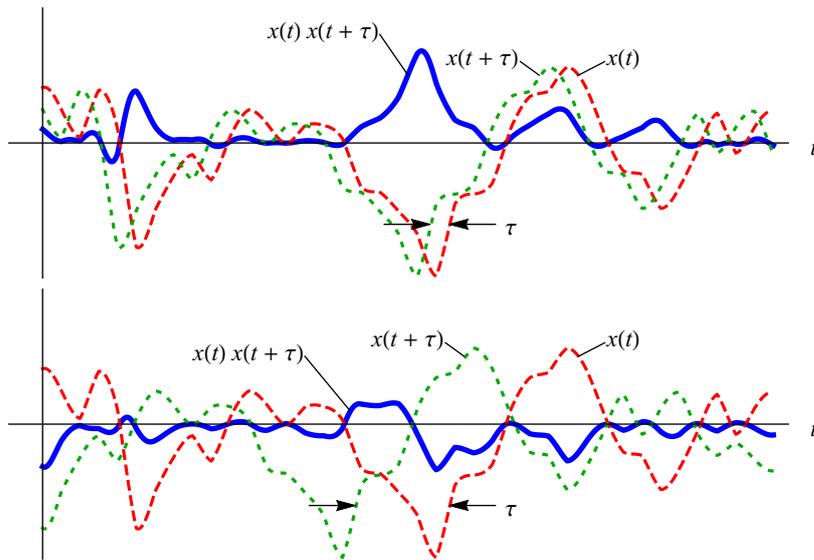


Bild 2.25: Die Autokorrelationsfunktion ist der zeitliche Mittelwert des Produktes $x(t)x(t + \tau)$

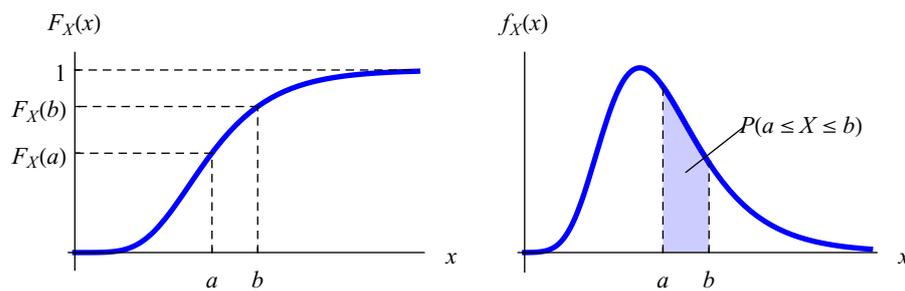


Bild 2.26: Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichte einer stetigen Zufallsvariablen

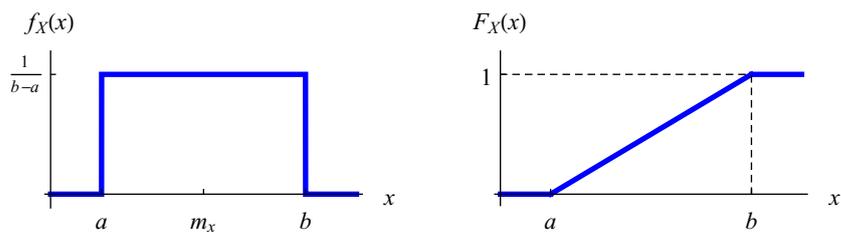


Bild 2.27: Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion der Gleichverteilung

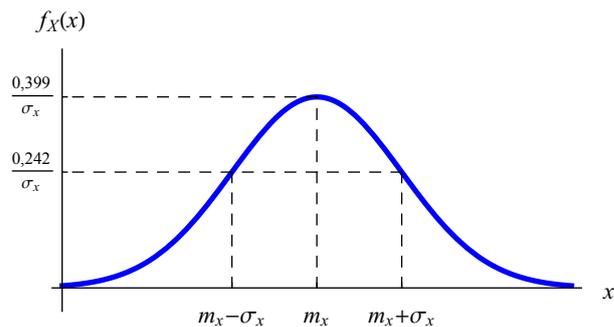


Bild 2.28: Wahrscheinlichkeitsdichte der Normalverteilung

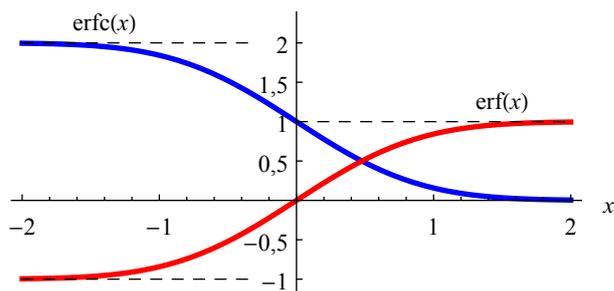


Bild 2.29: Fehlerfunktion $\text{erf}(x)$ und komplementäre Fehlerfunktion $\text{erfc}(x)$

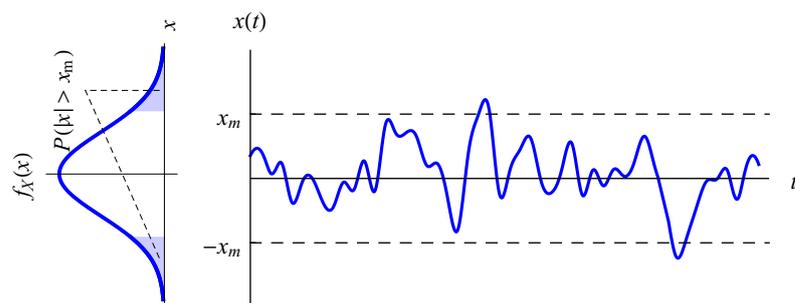


Bild 2.30: Ein normal verteiltes Zufallssignal

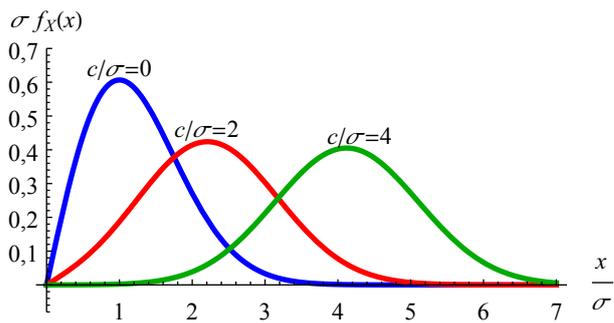


Bild 2.31: Wahrscheinlichkeitsdichte der Riceverteilung

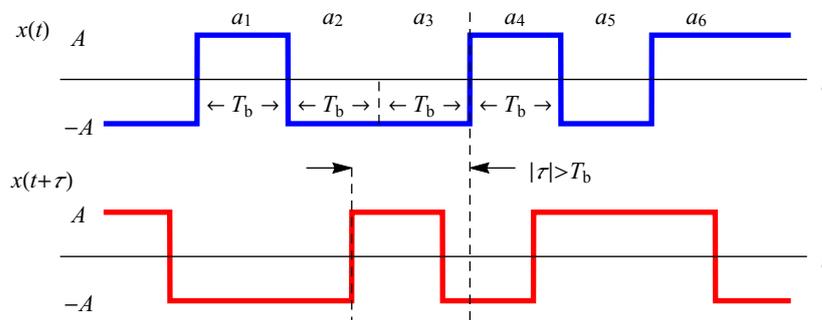


Bild 2.32: Zur Bestimmung der AKF des binären Zufallssignals für $|\tau| > T_b$

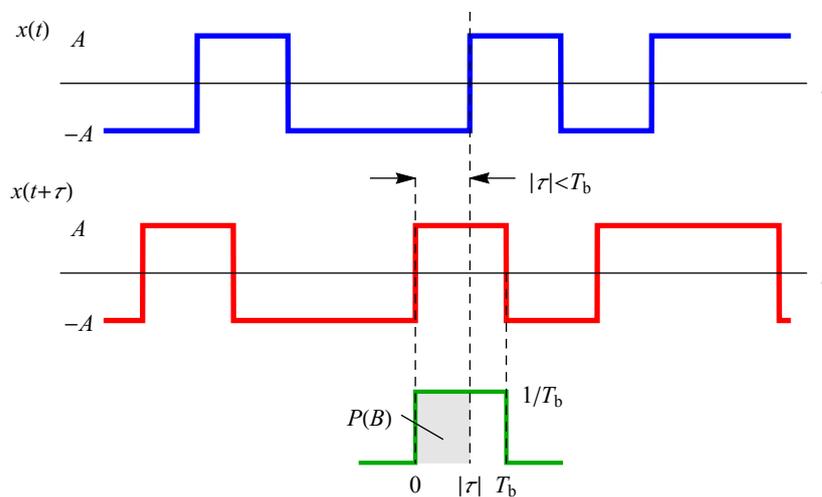


Bild 2.33: Zur Bestimmung der AKF des binären Zufallssignals für $|\tau| \leq T_b$

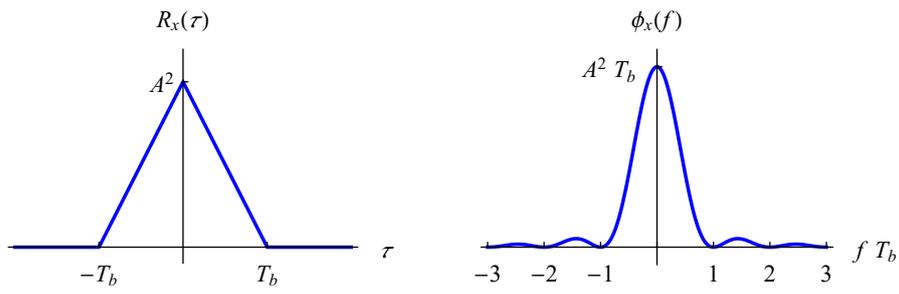


Bild 2.34: AKF und Leistungsdichtespektrum des binären Zufallssignals

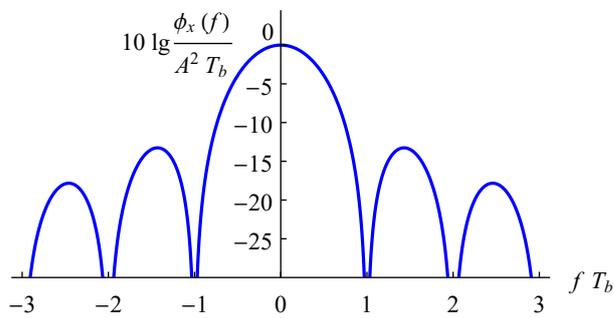


Bild 2.35: Leistungsdichtespektrum im logarithmischen Maßstab

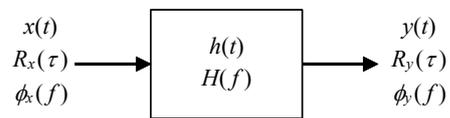


Bild 2.36: Zufallssignal und LTI-System

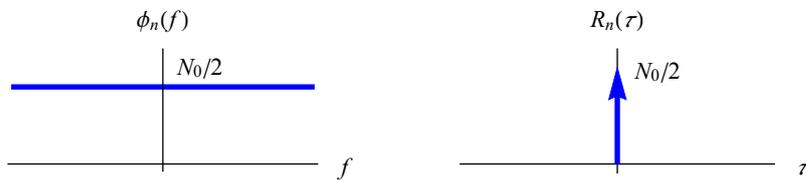


Bild 2.37: Leistungsdichtespektrum und Autokorrelationsfunktion von weißem Rauschen

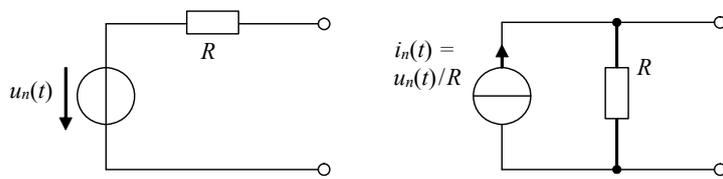


Bild 2.38: Ersatzschaltbild eines rauschenden Widerstandes mit Spannungs- bzw. Stromquelle

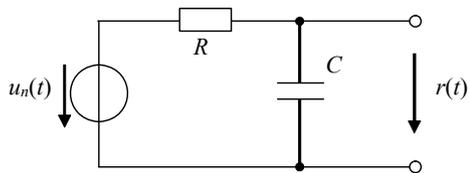


Bild 2.39: Ausgangssignal $y(t)$ des RC-Tiefpasses

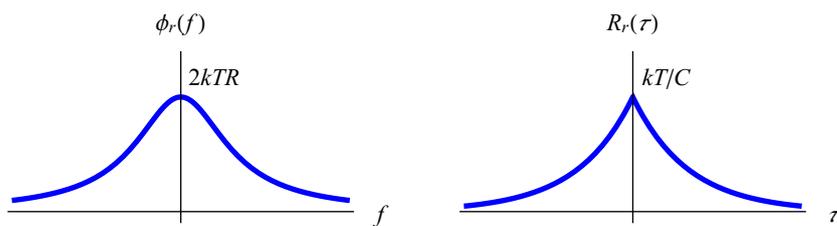


Bild 2.40: Leistungsdichtespektrum und Autokorrelationsfunktion des gefilterten weißen Rauschens

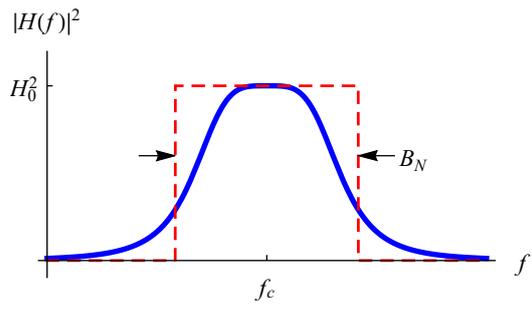


Bild 2.41: Definition der Rauschbandbreite

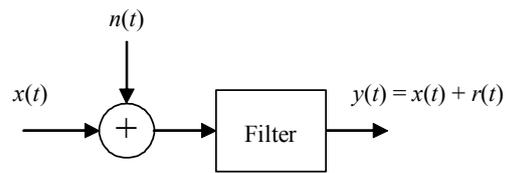


Bild 2.42: Additives Rauschen

3 Signalabtastung und Quantisierung

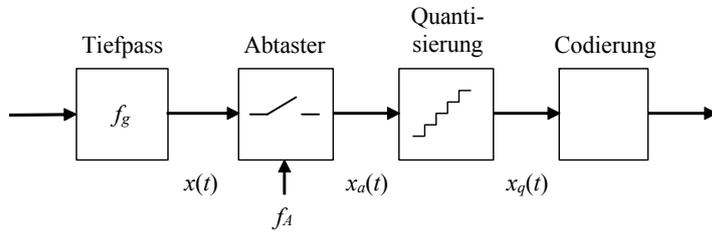


Bild 3.1: Prinzip der Analog-Digital-Wandlung

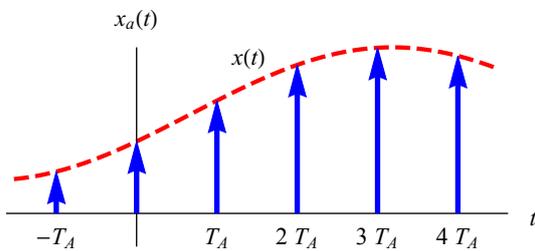


Bild 3.2: Abtastung eines Signals $x(t)$ durch eine Dirac-Impulsfolge

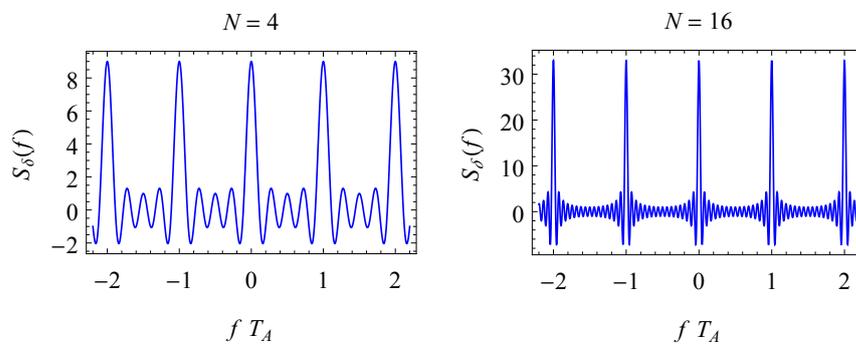


Bild 3.3: Approximation von $S_\delta(f)$ durch eine Teilsumme $1 + 2 \sum_{n=1}^N \cos(2\pi n f T_A)$

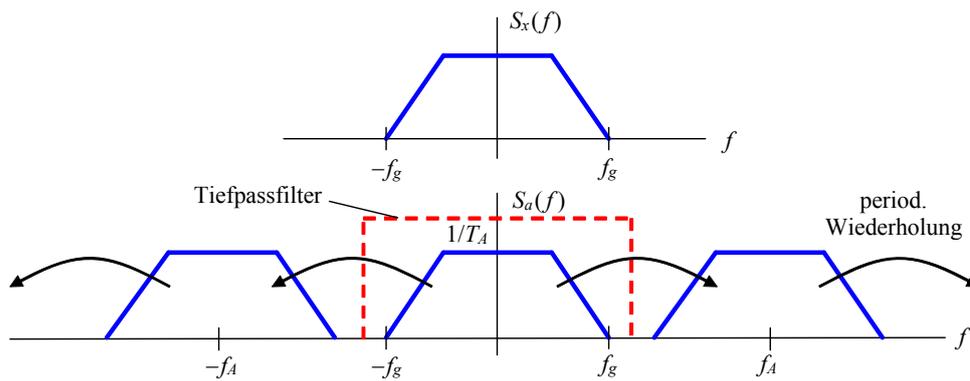


Bild 3.4: Fourier-Spektren des analogen Signals $x(t)$ und des abgetasteten Signals $x_a(t)$ für $f_A > 2f_g$

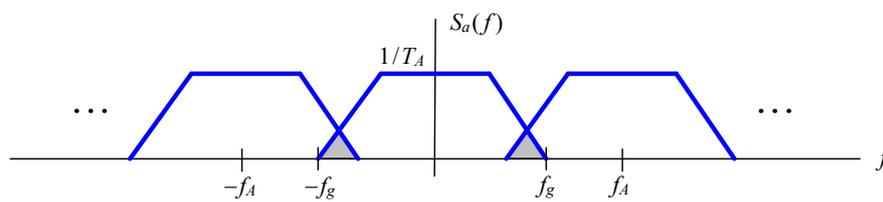


Bild 3.5: Fourier-Spektrum von $x_a(t)$ für $f_A < 2f_g$

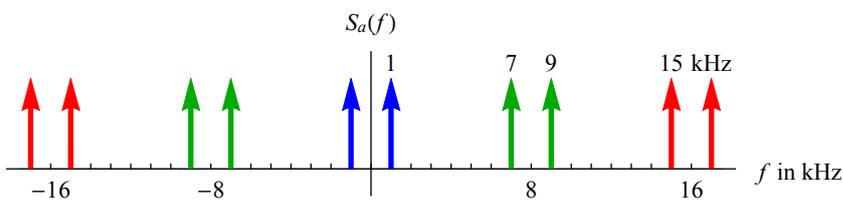


Bild 3.6: Spektrum eines Kosinussignals der Frequenz 1 kHz, abgetastet mit $f_A = 8$ kHz

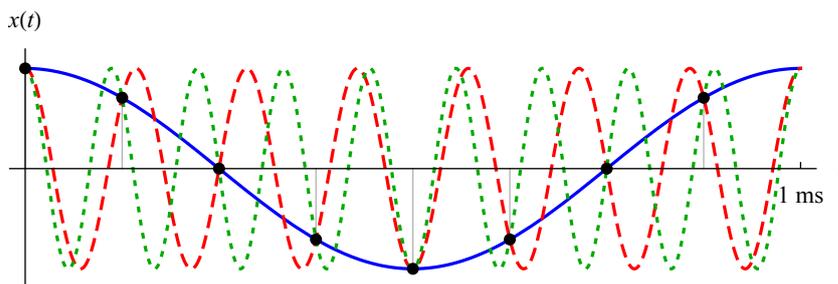


Bild 3.7: Die Abtastwerte repräsentieren ein Kosinussignal der Frequenz 1 kHz, 7 kHz oder 9 kHz

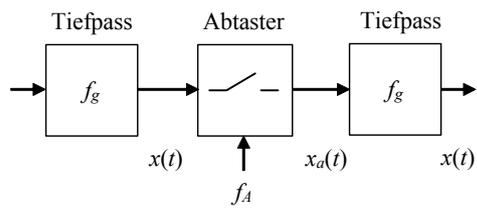


Bild 3.8: Rekonstruktion von $x(t)$ aus $x_a(t)$

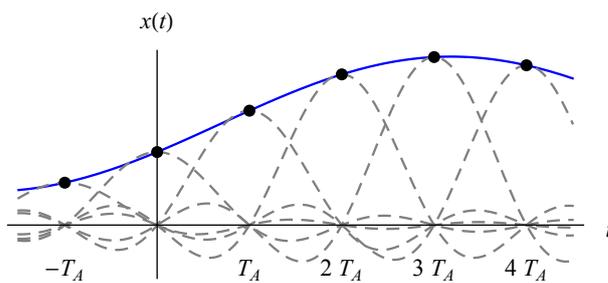


Bild 3.9: Exakte Rekonstruktion von $x(t)$ durch Interpolation der Abtastwerte durch ein ideales Tiefpassfilter

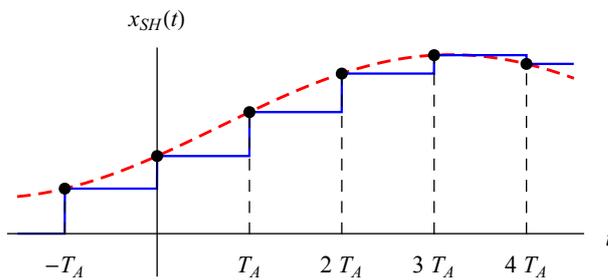


Bild 3.10: Näherungsweise Rekonstruktion von $x(t)$ durch ein Abtasthalteglied

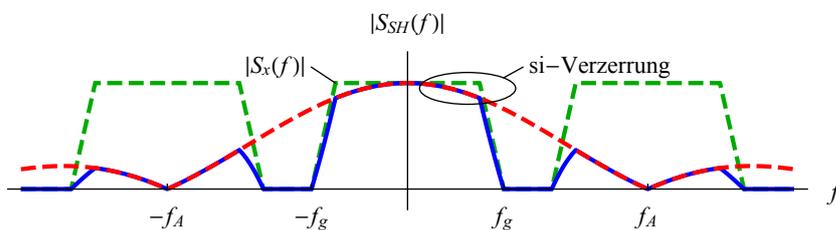


Bild 3.11: Spektrum des rekonstruierten Signals

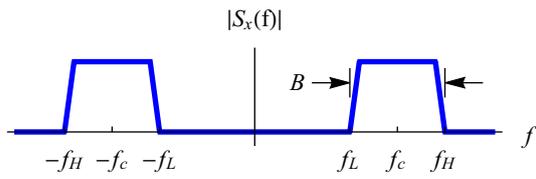


Bild 3.12: Fourier-Spektrum eines Bandpasssignals

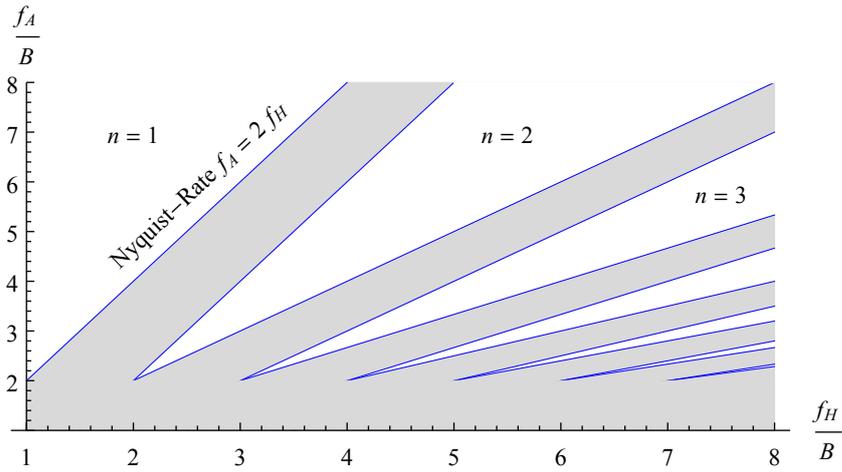


Bild 3.13: Zulässige Abtastraten gemäß Gl. (?): Die schraffierten Bereiche sind nicht zulässig.

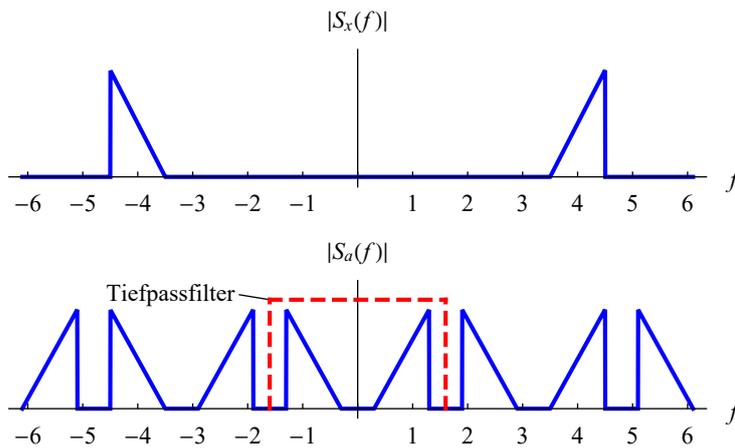


Bild 3.14: Fourier-Spektren eines Bandpasssignals $x(t)$ und des abgetasteten Signals

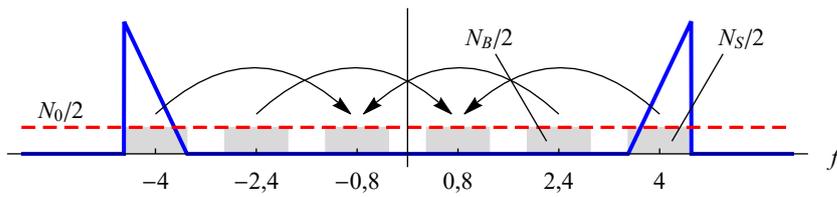


Bild 3.15: Zur Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei Bandpassabtastung

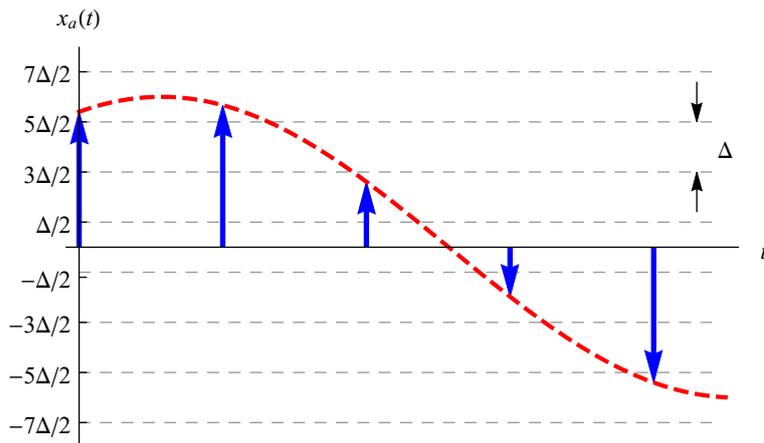


Bild 3.16: Quantisierung der Abtastwerte

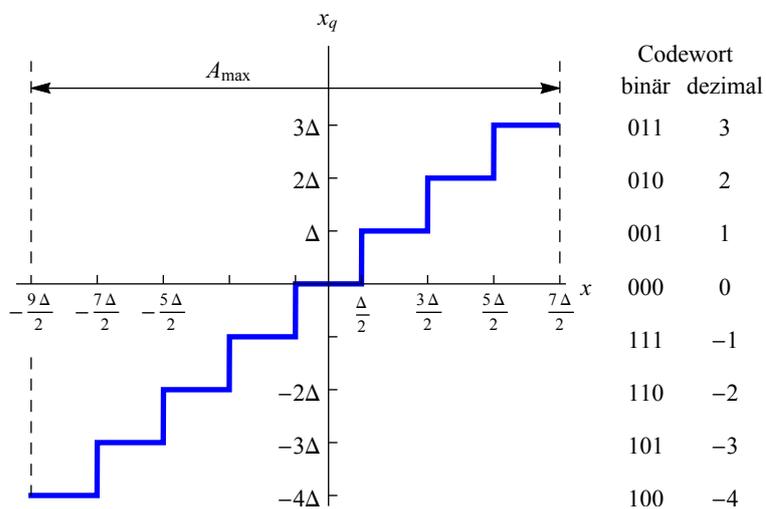


Bild 3.17: Quantisierungskennlinie bei linearer Quantisierung mit 3 bit

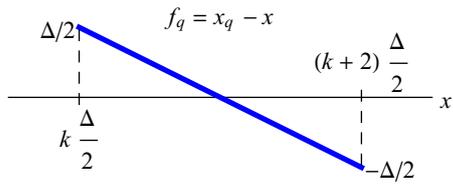


Bild 3.18: Der Quantisierungsfehler f_q
 ($k = \pm 1, \pm 3, \dots$)

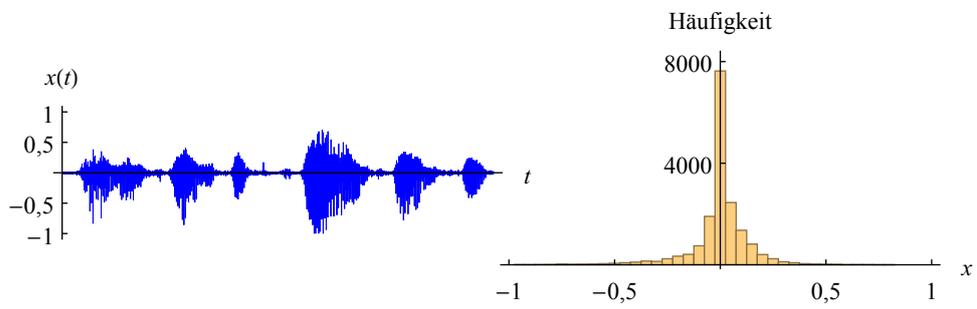


Bild 3.19: Sprachsignal und dessen Häufigkeitsverteilung der Amplitudenwerte

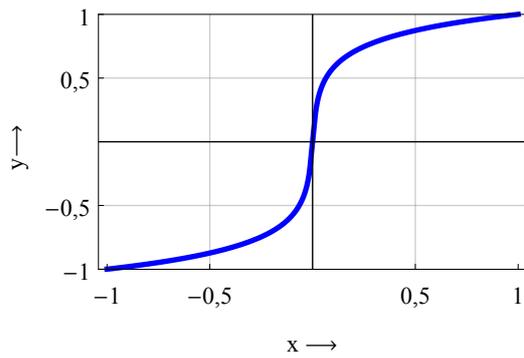


Bild 3.20: A-Kennlinie zur nichtlinearen Quantisierung

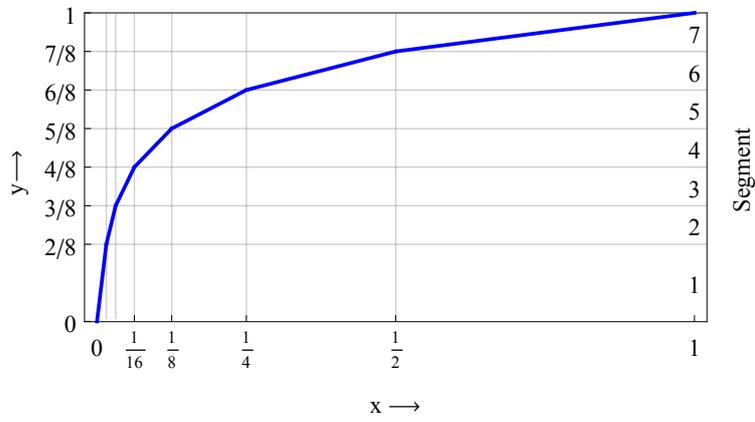


Bild 3.21: 13-Segment-Kennlinie nach G.711

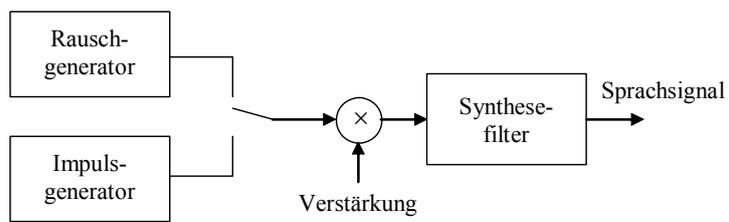


Bild 3.22: Modell der Spracherzeugung bei LPC

4 Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtentechnik

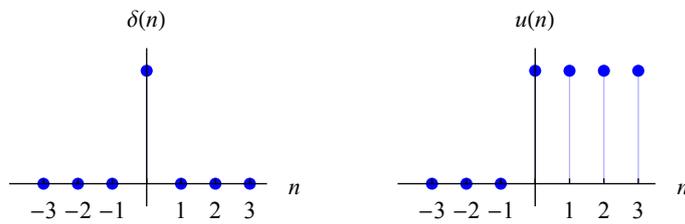


Bild 4.1: Einheitsimpuls und zeitdiskreter Einheitsprung

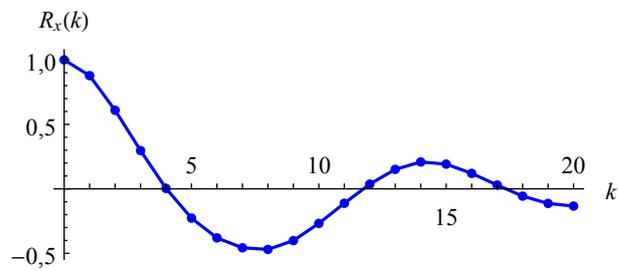


Bild 4.2: Autokorrelationsfunktion des Sprachsignals aus Bild 3.19

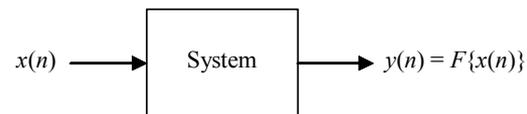


Bild 4.3: Ein zeitdiskretes System

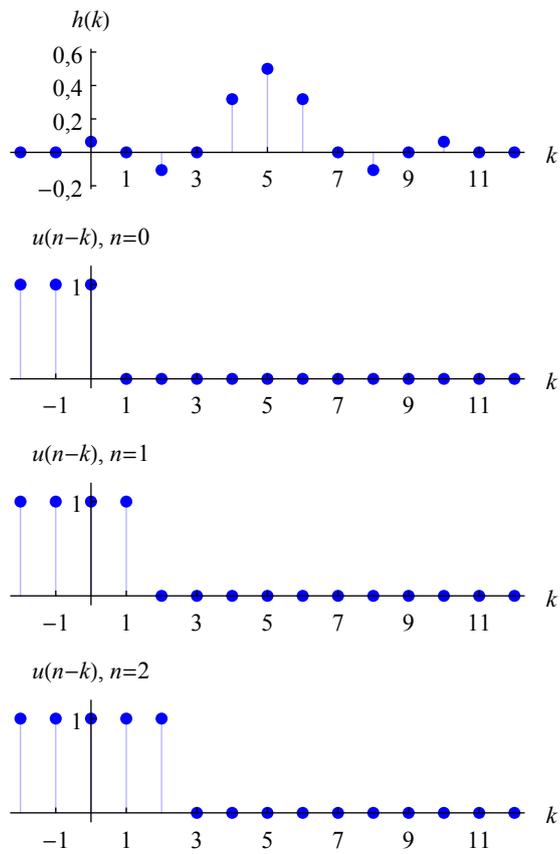


Bild 4.4: Zur Auswertung der Faltungssumme

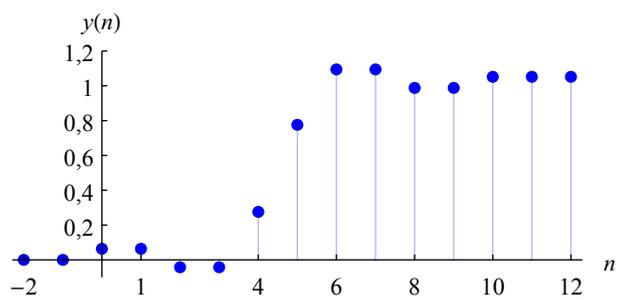


Bild 4.5: Ausgangssignal

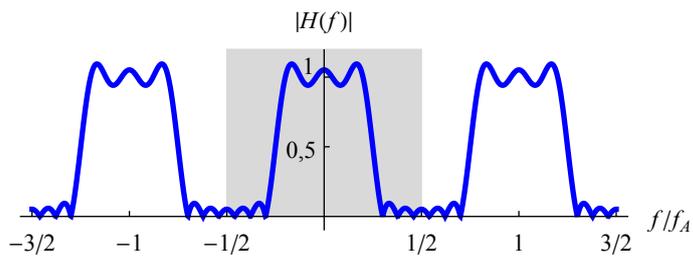


Bild 4.6: Betrag der Übertragungsfunktion des Systems aus Beispiel ??

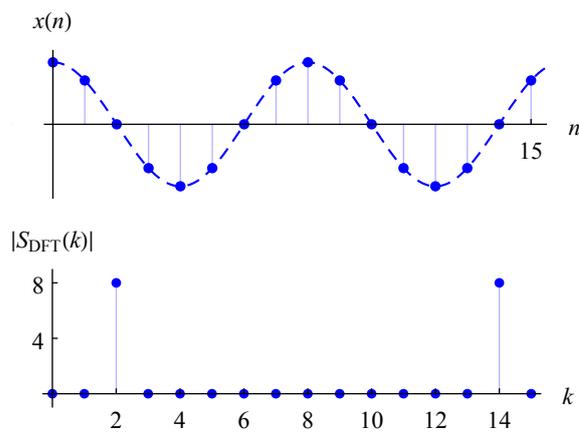


Bild 4.7: DFT einer abgetasteten Kosinusschwingung für $f_0/f_A = 1/8$

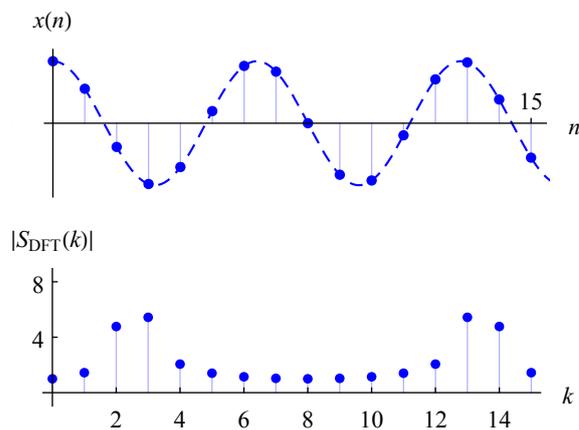


Bild 4.8: DFT einer abgetasteten Kosinusschwingung für $f_0/f_A = 1/6,4$

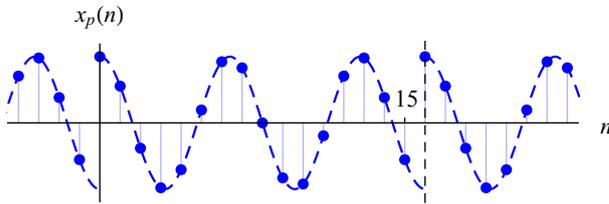


Bild 4.9: $x_p(n)$ entsteht aus der periodischen Fortsetzung des Signals $x(n)$ aus Bild 4.8

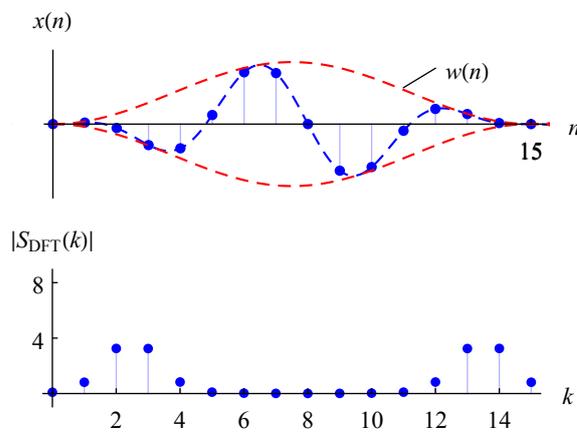


Bild 4.10: DFT einer abgetasteten Kosinusschwingung für $f_0/f_A = 1/6,4$ bei Bewertung mit einem Hanning-Fenster

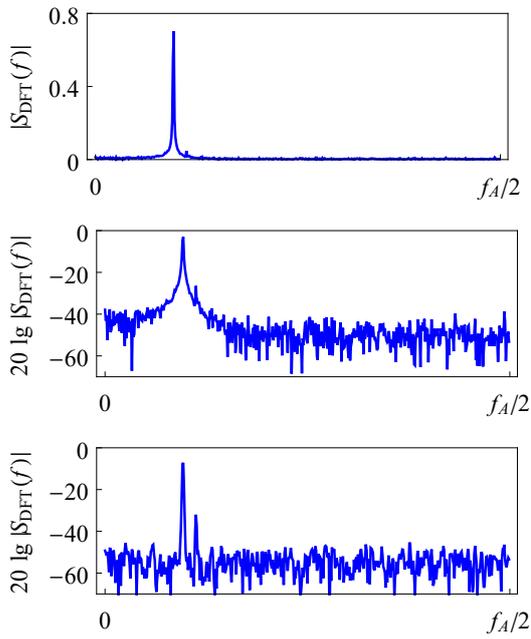


Bild 4.11: DFT eines Zweitonsignals, oben: linear skaliert, Mitte: logarithmisch skaliert, unten: mit Hanning-Fenster bewertet

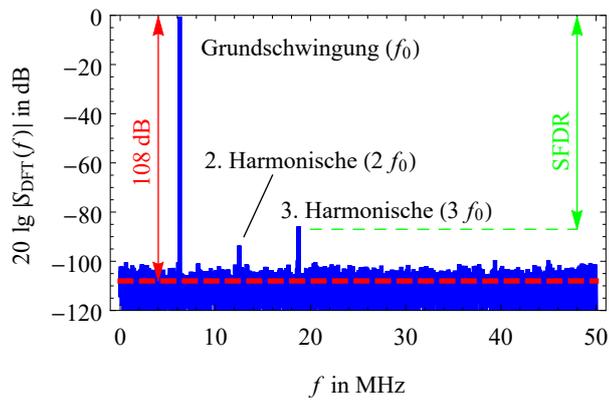


Bild 4.12: DFT eines Analog-Digital-Wandlers

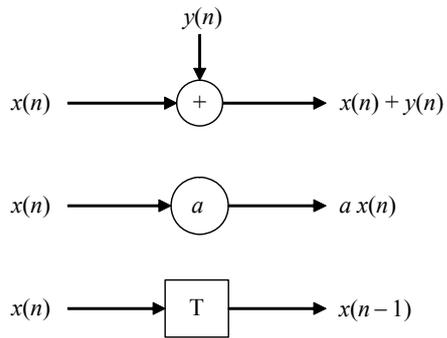


Bild 4.13: Addierer, Multiplizierer und Verzögerungselement

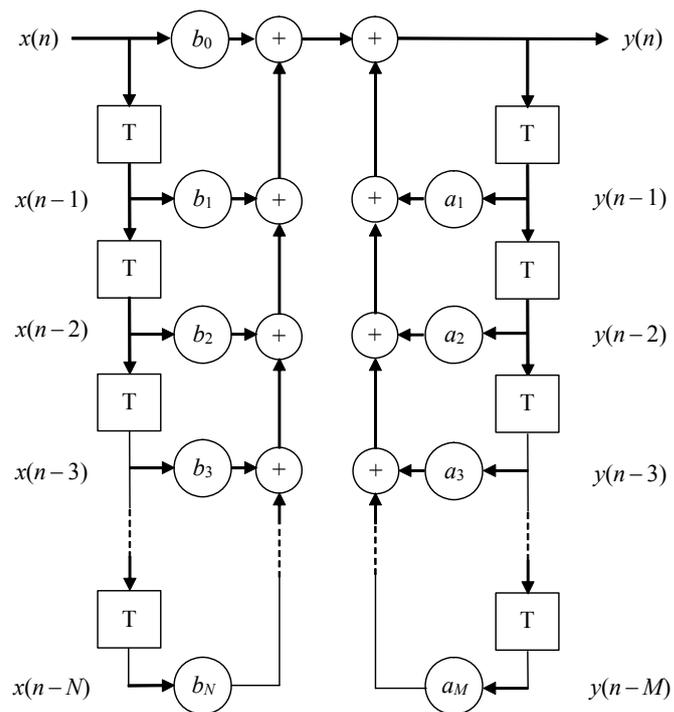


Bild 4.14: Allgemeine Struktur eines digitalen Filters

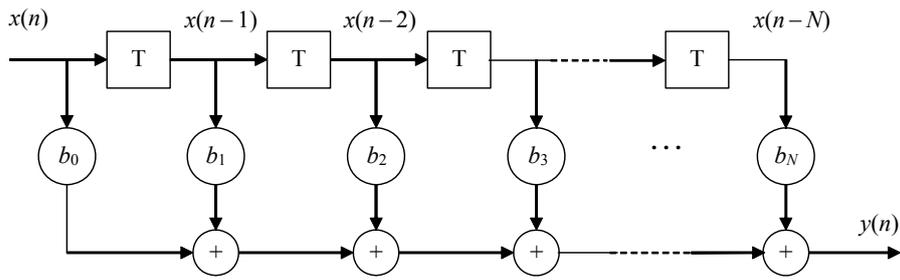


Bild 4.15: FIR-Filter

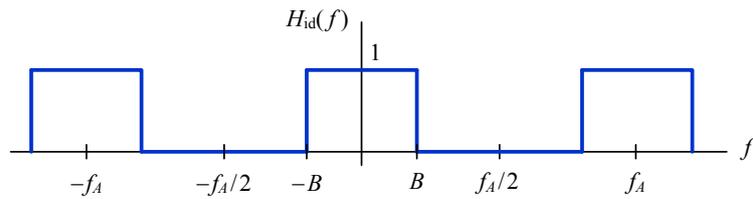


Bild 4.16: Übertragungsfunktion des idealen zeitdiskreten Tiefpasses

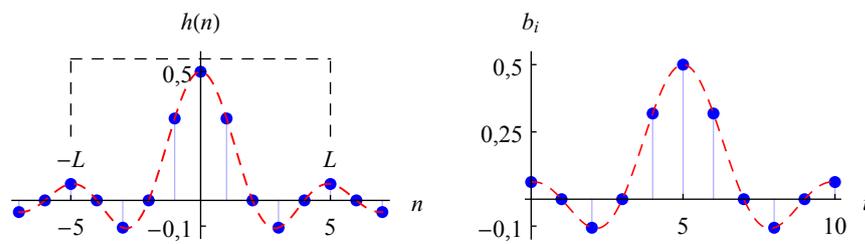


Bild 4.17: Impulsantwort des idealen Tiefpassfilters und des FIR-Tiefpassfilters ($N = 10$)

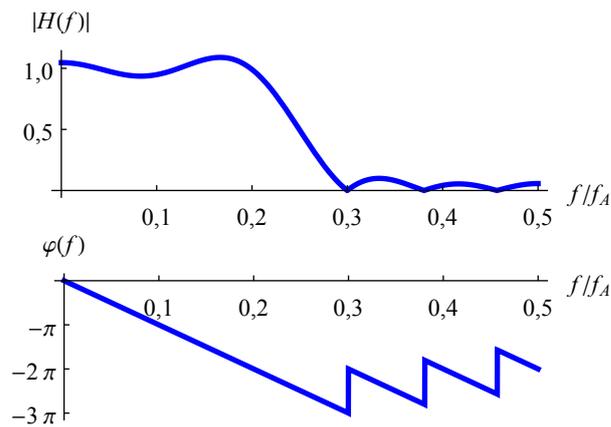


Bild 4.18: Übertragungsfunktion des FIR-Tiefpassfilters ($N = 10$)

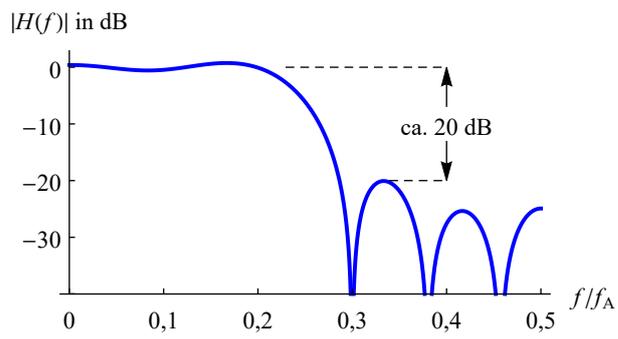


Bild 4.19: Übertragungsfunktion aus Bild 4.18 im logarithmischen Maßstab

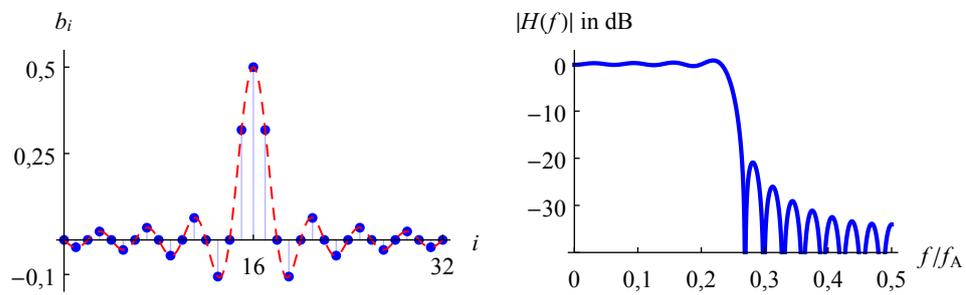


Bild 4.20: Impulsantwort und Übertragungsfunktion des FIR-Tiefpassfilters ($N = 32$)

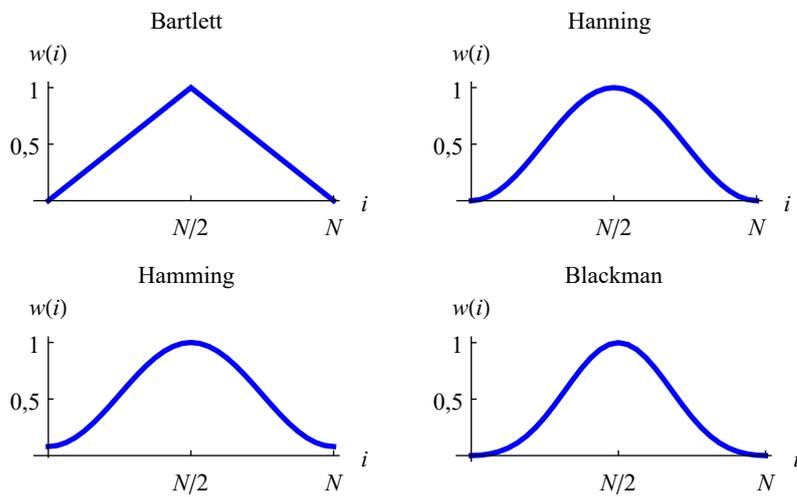


Bild 4.21: Fensterfunktionen

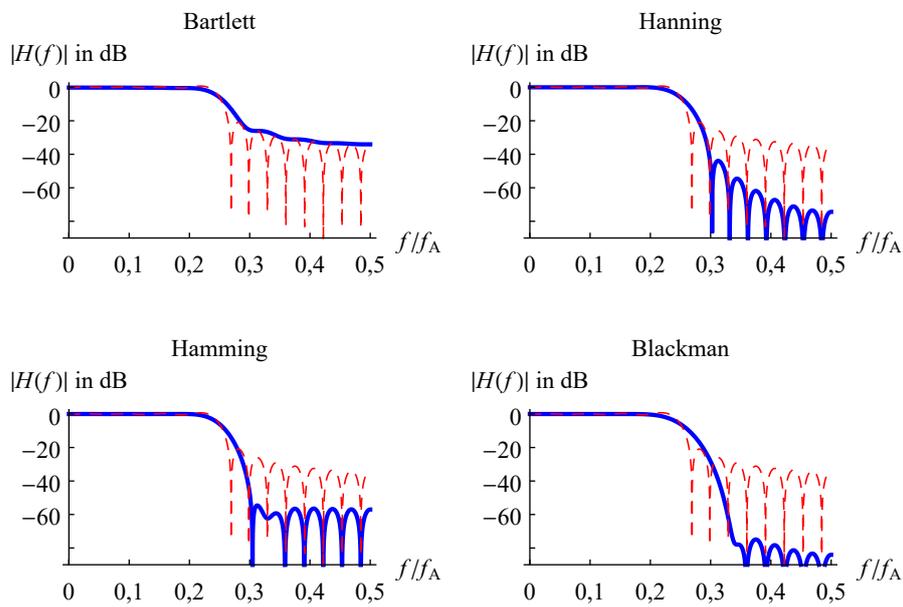


Bild 4.22: Übertragungsfunktion des FIR-Tiefpassfilters ($N = 32$) bei Bewertung der Impulsantwort mit verschiedenen Fensterfunktionen

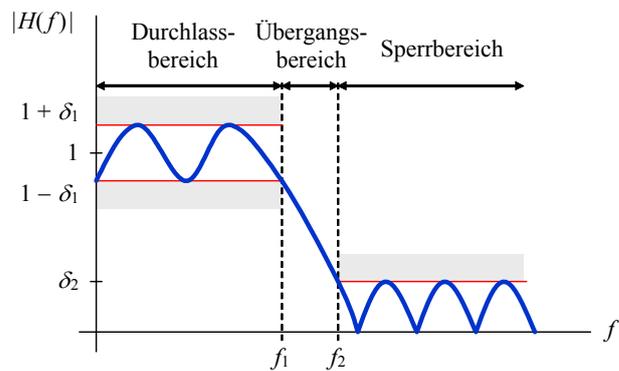


Bild 4.23: Toleranzschema eines Equiripple-Filters

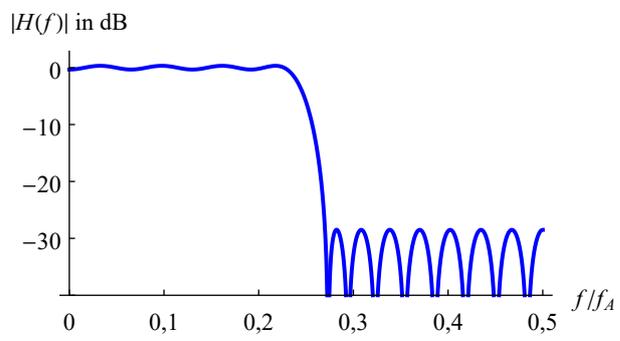


Bild 4.24: Übertragungsfunktion des Equiripple-Tiefpassfilters ($N = 32$)

5 Digitale Nachrichtenübertragung im Basisband

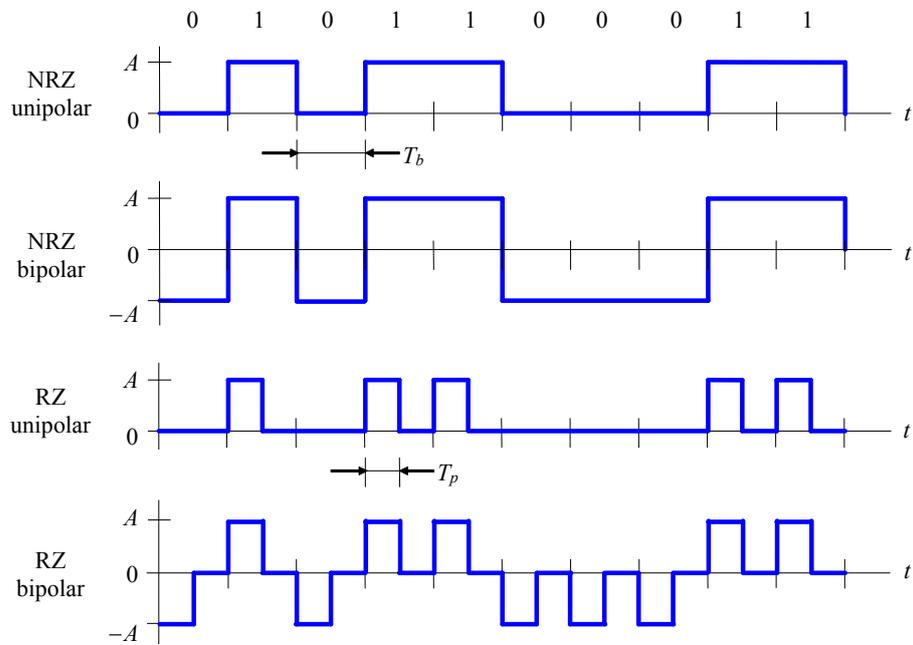


Bild 5.1: Digitale Basisbandsignale

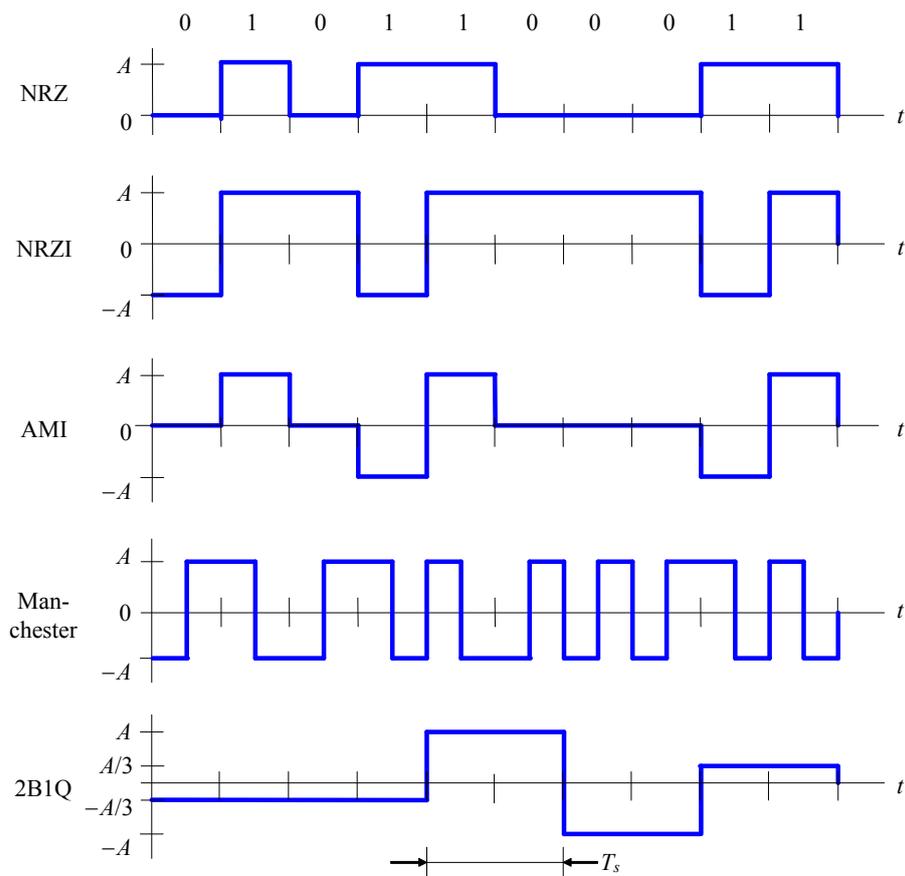


Bild 5.2: Einige Leitungscodes

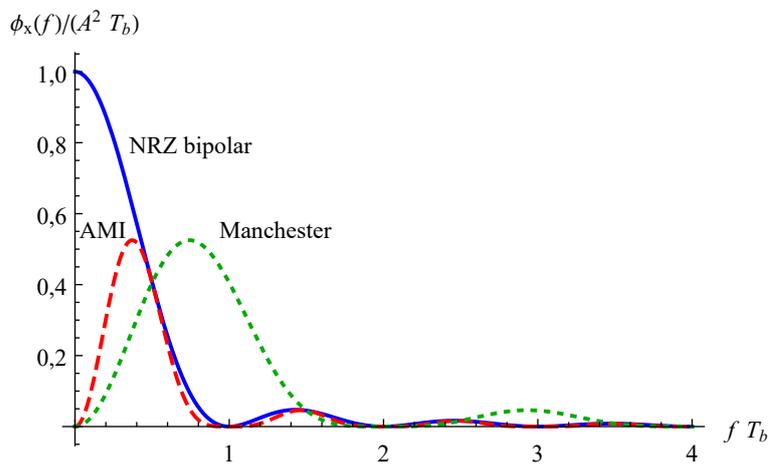


Bild 5.3: Leistungsdichtespektren des bipolaren NRZ-Signals, des AMI- und des Manchester-Codes

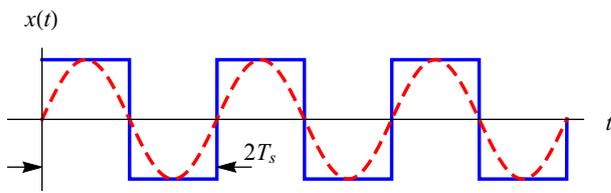


Bild 5.4: Bipolares NRZ-Signal, 1-0-Folge

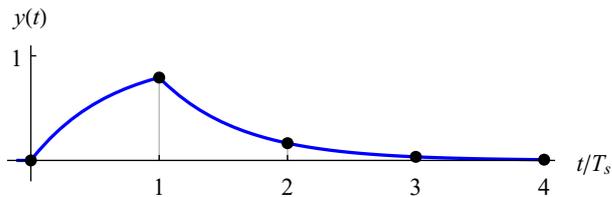


Bild 5.5: Übertragung eines Rechteckimpulses der Dauer T_s über einen RC-Tiefpasskanal

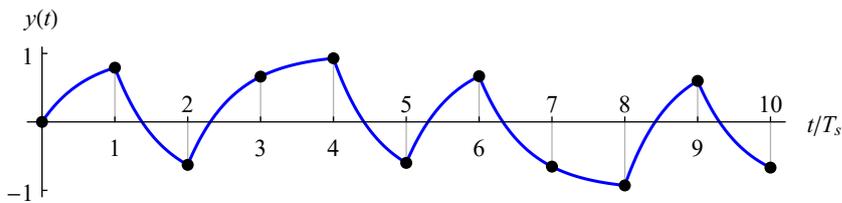


Bild 5.6: Übertragung eines bipolaren NRZ-Signals mit rechteckförmigen Grundimpulsen über einen RC-Tiefpasskanal

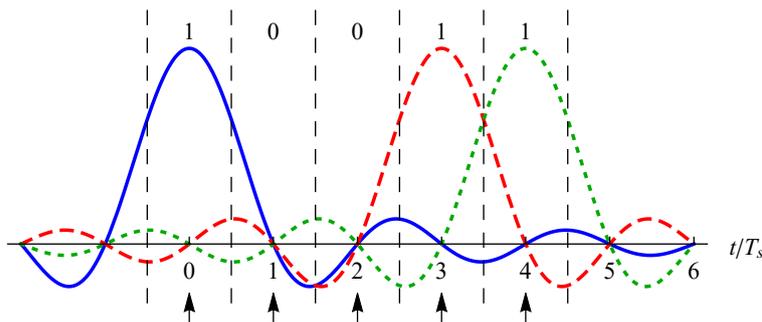


Bild 5.7: Impulsform zur Übertragung ohne Intersymbol-Interferenz (die Pfeile deuten die Entscheidungszeitpunkte an)

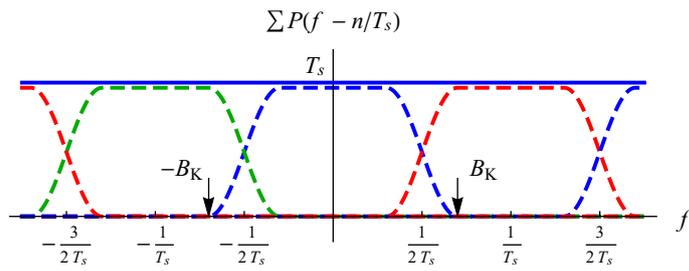


Bild 5.8: Das erste Nyquist-Kriterium

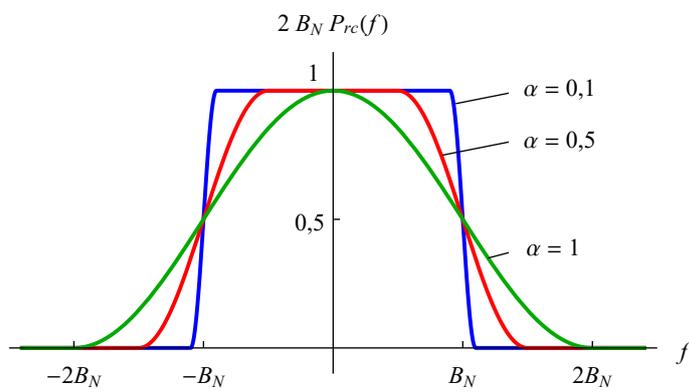


Bild 5.9: Übertragungsfunktion des Kosinus-roll-off-Filters

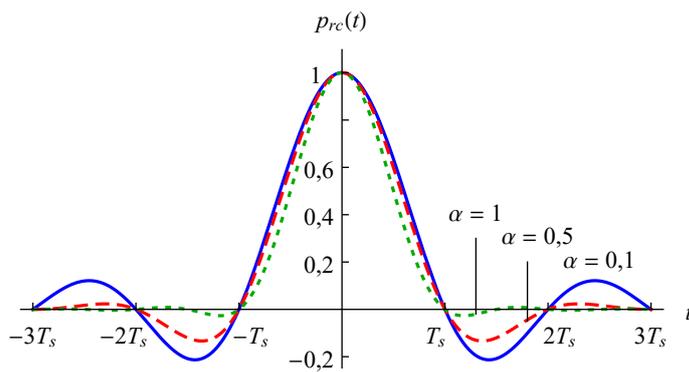


Bild 5.10: Impulsantwort des Kosinus-roll-off-Filters

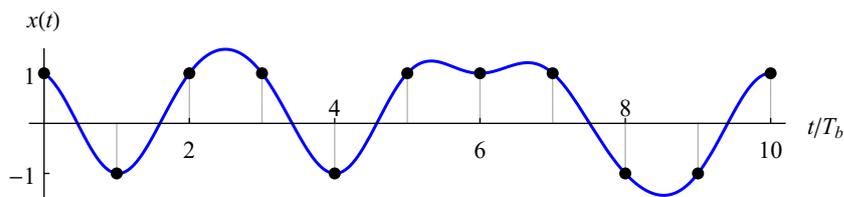


Bild 5.11: Bipolares NRZ-Signal mit Kosinus-roll-off-Pulsformung ($\alpha = 0,5$) für die Symbolfolge $\{a_k\} = \{1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1, 1\}$

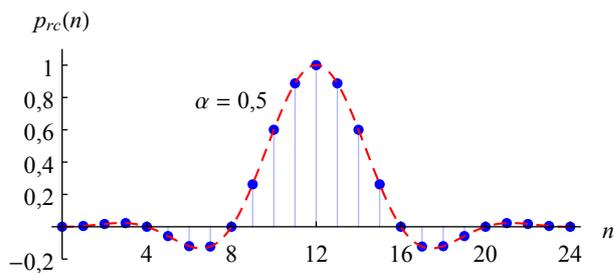


Bild 5.12: Kosinus-roll-off-Filter realisiert als FIR-Filter

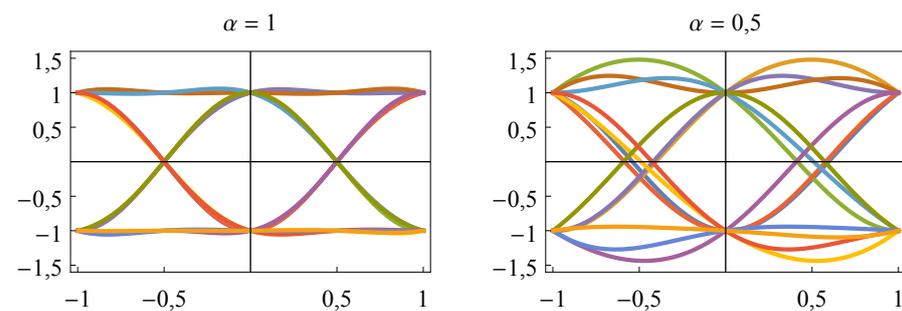


Bild 5.13: Augendiagramm für ein bipolares NRZ-Signal mit Kosinus-roll-off-Pulsformung

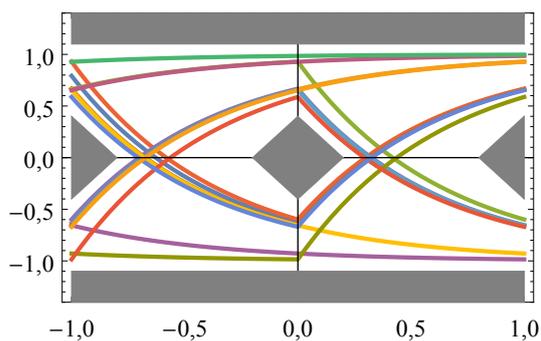


Bild 5.14: Augendiagramm und Maske eines NRZ-Signals mit rechteckförmigen Grundimpulsen bei Übertragung über einen RC-Tiefpasskanal

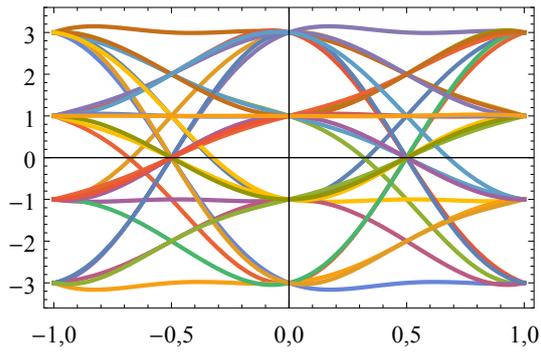


Bild 5.15: Augendiagramm eines 2B1Q-Signals mit Kosinus-roll-off-Pulsformung

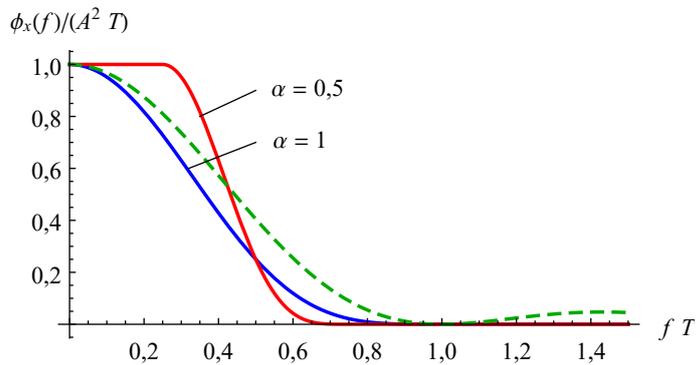


Bild 5.16: Leistungsdichtespektrum eines bipolaren NRZ-Signals mit Kosinus-roll-off-Pulsformung

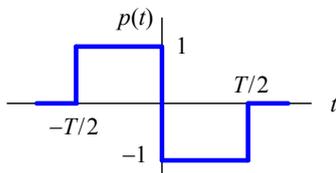


Bild 5.17: Grundimpuls des Manchester-Codes

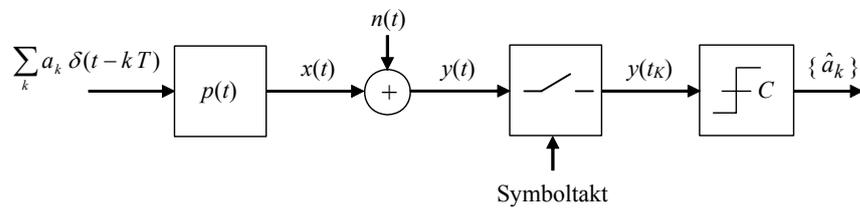


Bild 5.18: Modell eines binären Übertragungssystems

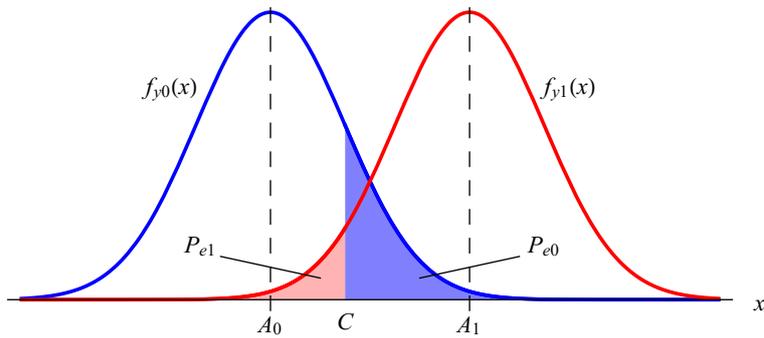


Bild 5.19: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen $f_{y0}(x)$, $f_{y1}(x)$ und bedingte Fehlerwahrscheinlichkeiten P_{e0} , P_{e1}

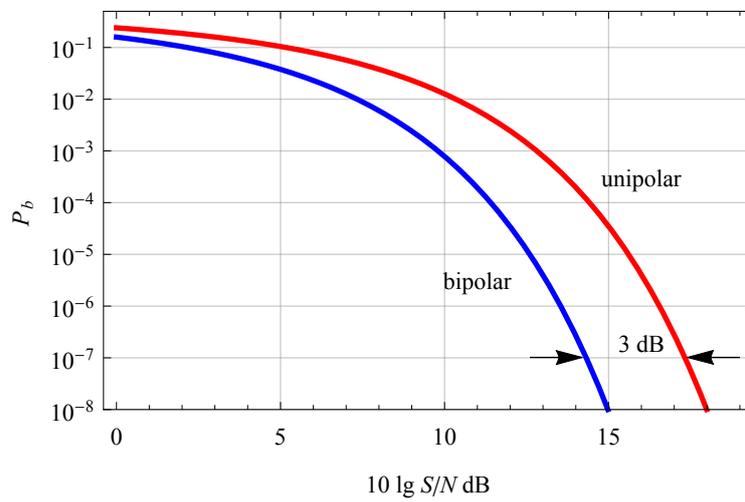


Bild 5.20: Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei bipolarer und unipolarer Übertragung

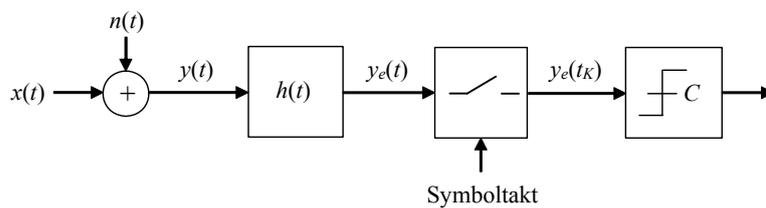


Bild 5.21: Empfängermodell mit Filter am Eingang

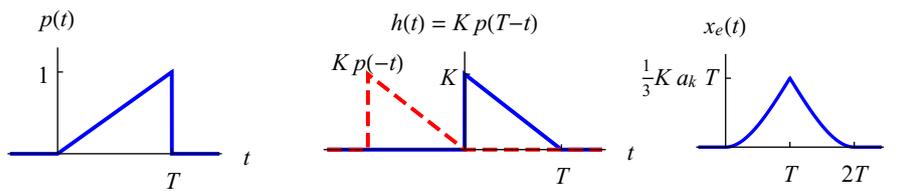


Bild 5.22: Beispiel eines signalangepassten Filters

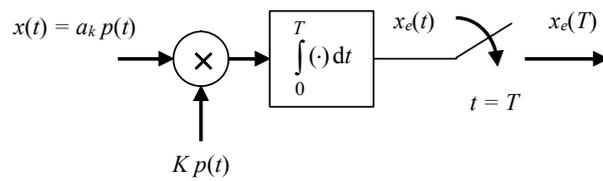


Bild 5.23: Zum signalangepassten Filter äquivalentes Korrelationsfilter

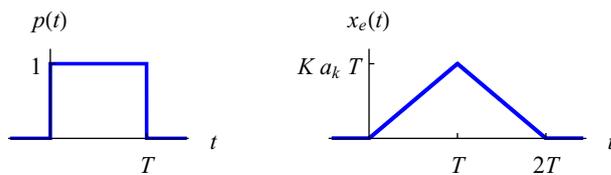


Bild 5.24: Grundimpuls und Ausgangssignal des signalangepassten Filters

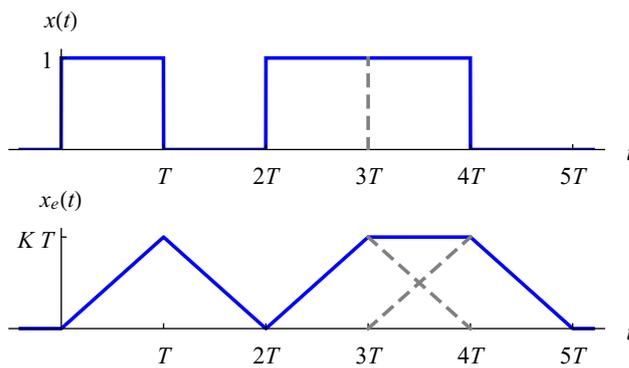


Bild 5.25: Ausgangssignal bei einer Pulsfolge am Eingang

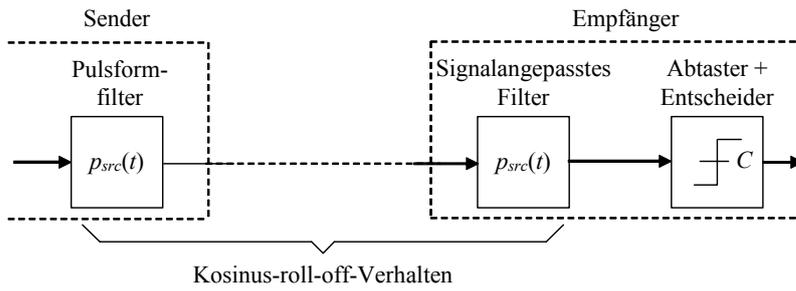


Bild 5.26: Wurzel-Kosinus-roll-off-Filter als Sende- und Empfangsfilter

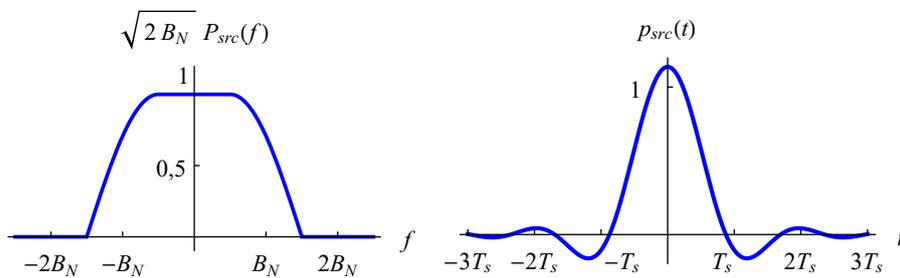


Bild 5.27: Übertragungsfunktion und Impulsantwort des Wurzel-Kosinus-roll-off-Filters ($\alpha = 0,5$)

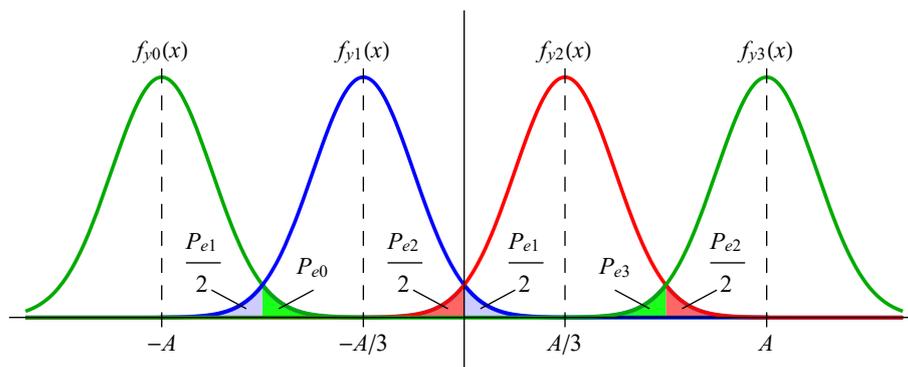


Bild 5.28: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und bedingte Fehlerwahrscheinlichkeiten bei Mehrpegelübertragung am Beispiel $m = 4$

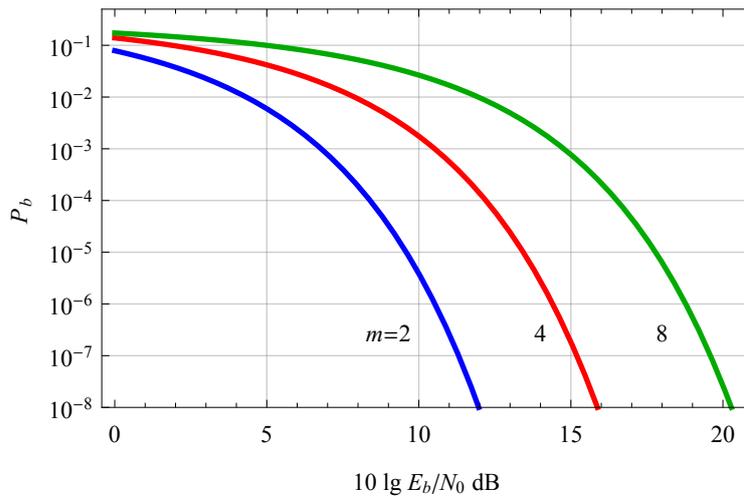


Bild 5.29: Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei Mehrpegelübertragung

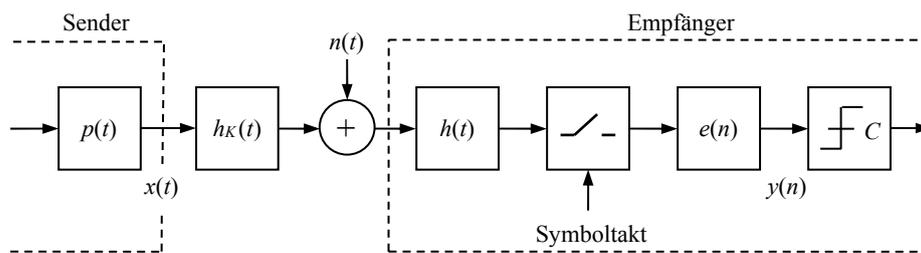


Bild 5.30: Modell eines Übertragungssystems mit signalangepasstem Filter und Symboltaktentzerrer im Empfänger

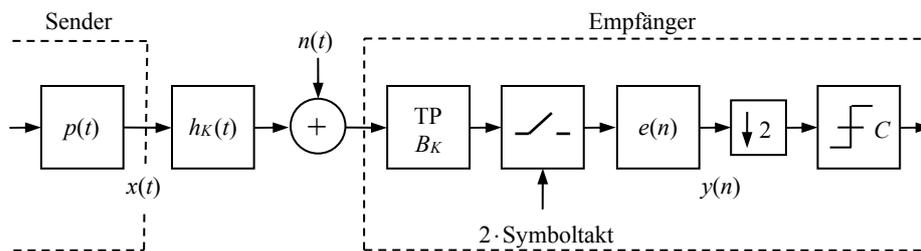


Bild 5.31: Modell eines Übertragungssystems mit T/2-Entzerrer

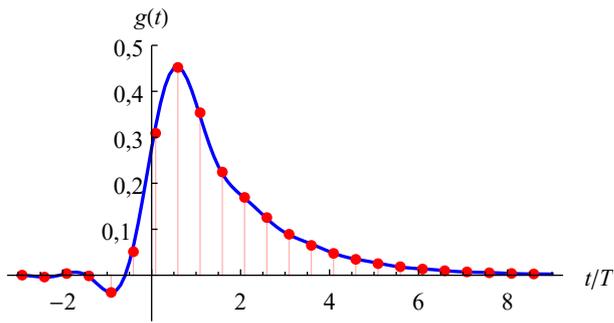


Bild 5.32: Der Impuls $g(t)$ am Empfängereingang

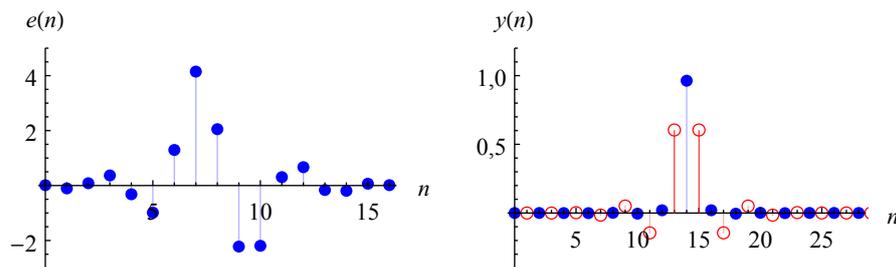


Bild 5.33: Entzerrerkoeffizienten und Impuls am Entzerrerausgang für $\sigma_r^2 = 10^{-3}$

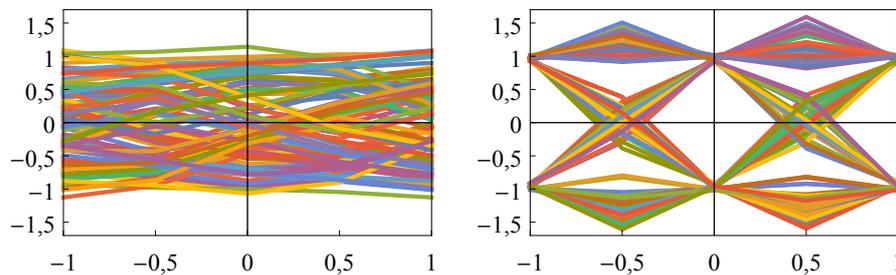


Bild 5.34: Augendiagramme am Entzerrereingang und -ausgang

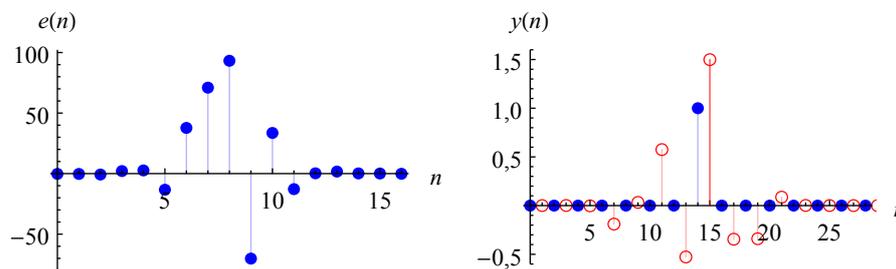


Bild 5.35: Entzerrerkoeffizienten und Impuls am Entzerrerausgang für $\sigma_r^2 = 10^{-14}$

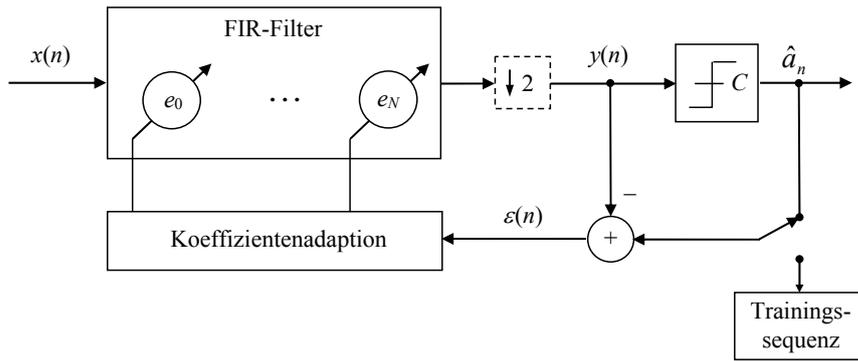


Bild 5.36: Aufbau eines adaptiven Entzerrers

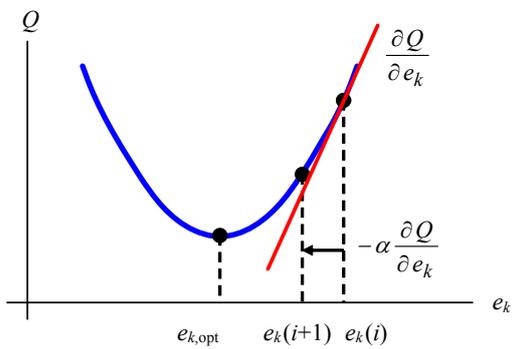


Bild 5.37: Prinzip der Koeffizientenadaptation

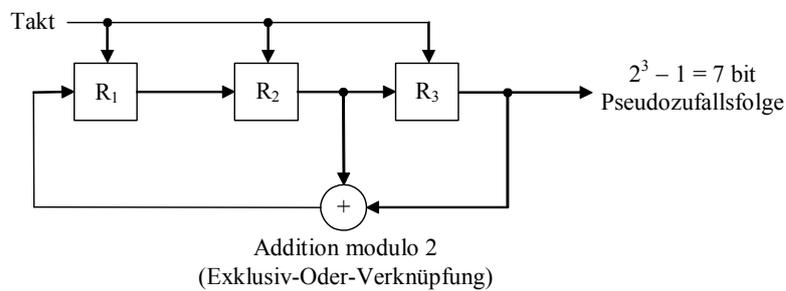


Bild 5.38: Erzeugung einer Pseudozufallsfolge mit rückgekoppelten Schieberegistern

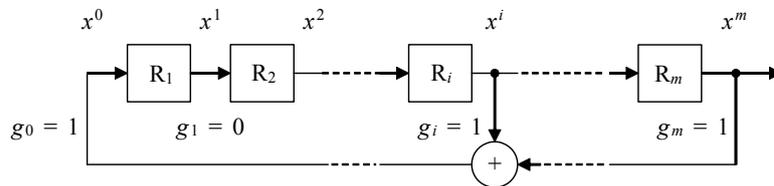


Bild 5.39: Polynomdarstellung eines PN-Generators

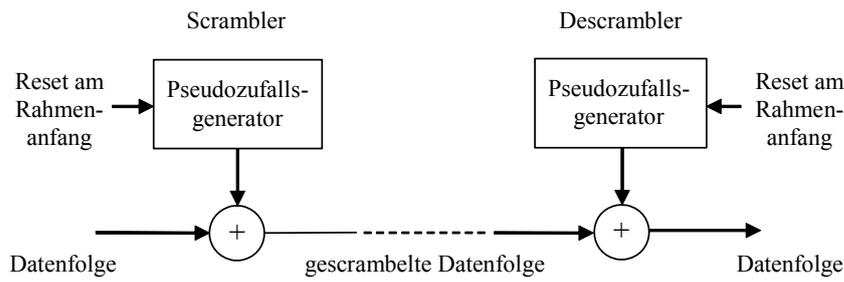


Bild 5.40: Rahmensynchronisierter Scrambler und Descrambler

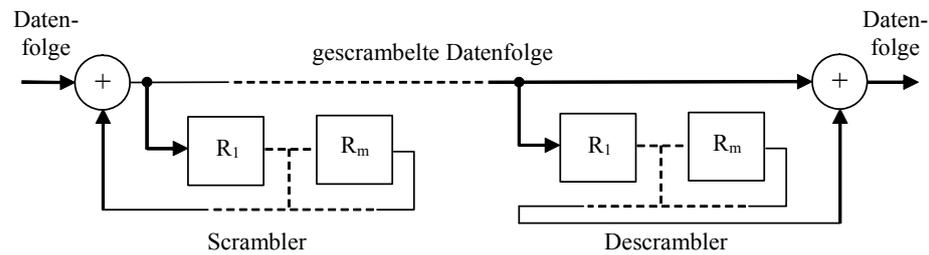


Bild 5.41: Selbstsynchronisierender Scrambler und Descrambler

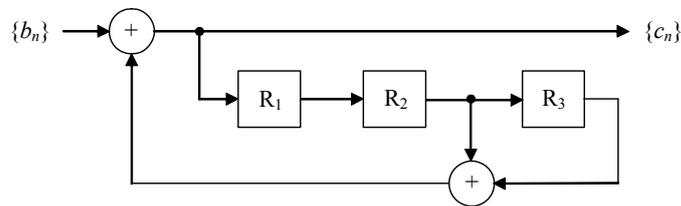


Bild 5.42: Selbstsynchronisierender Scrambler mit dem Generatorpolynom $g(x) = 1 + x^2 + x^3$

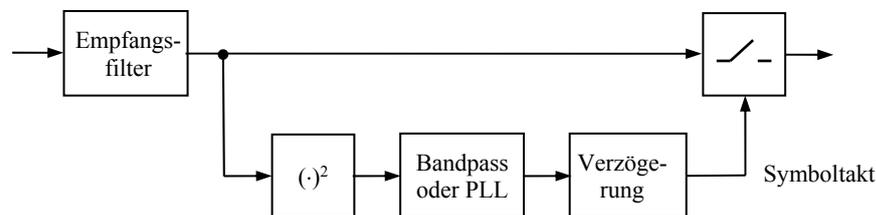


Bild 5.43: Symboltaktsynchronisation durch Spektralverfahren

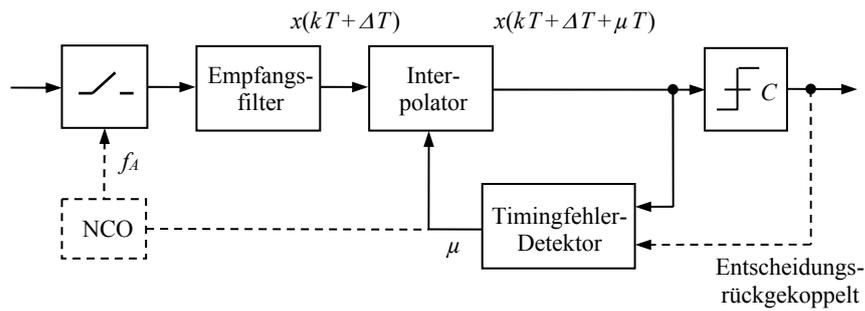


Bild 5.44: Symboltakt synchronisation mit Timingfehler-Detektor

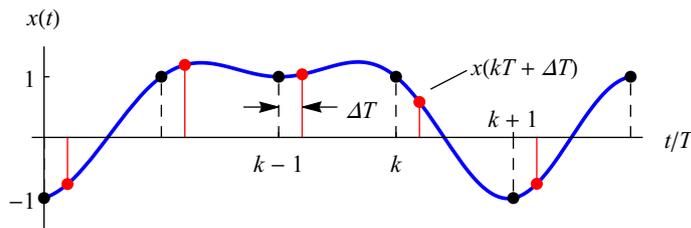


Bild 5.45: Binäres, bipolares Signal und dessen Abtastwerte

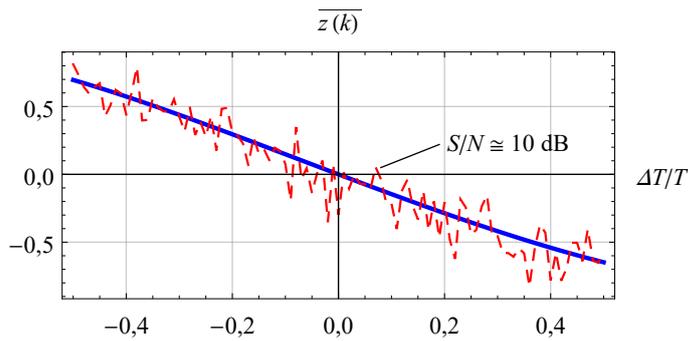


Bild 5.46: Kennlinie der Mueller & Müller-Symboltakt synchronisation

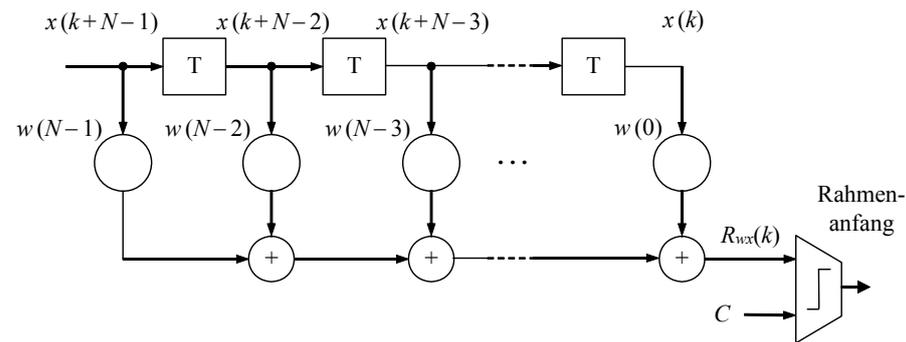


Bild 5.47: Korrelationsfilter zur Rahmensynchronisation

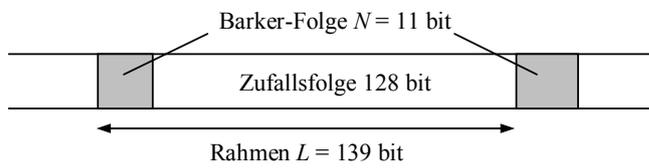


Bild 5.48: Übertragungsrahmen mit Barker-Folge als Rahmenkennungswort

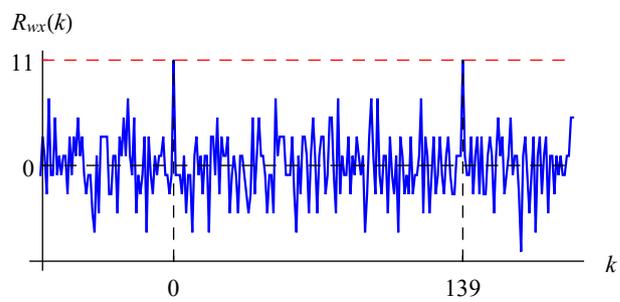


Bild 5.49: Ausgangssignal des Korrelationsfilters

6 Modulationsverfahren

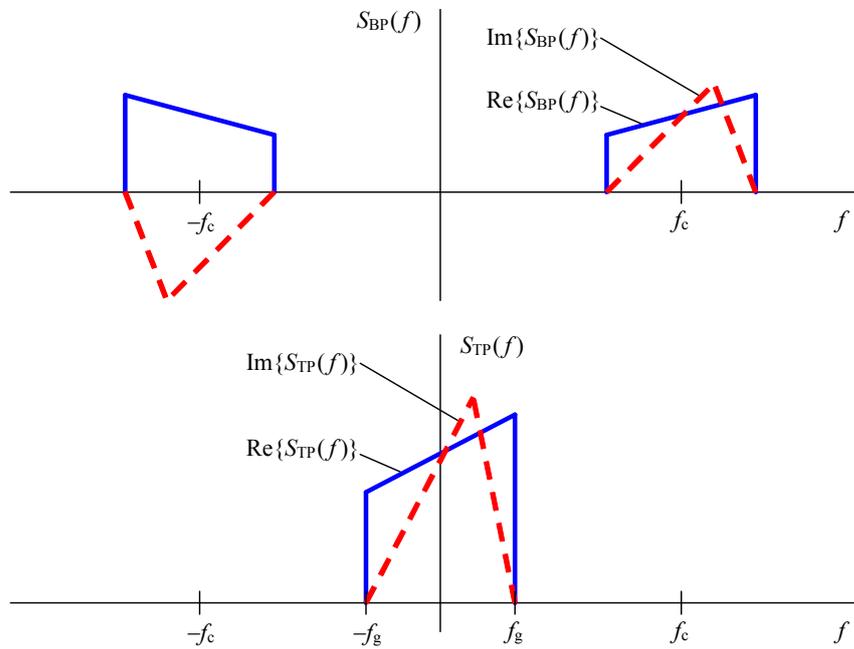


Bild 6.1: Fourier-Spektrum eines Bandpasssignals und des zugehörigen äquivalenten Tiefpasssignals

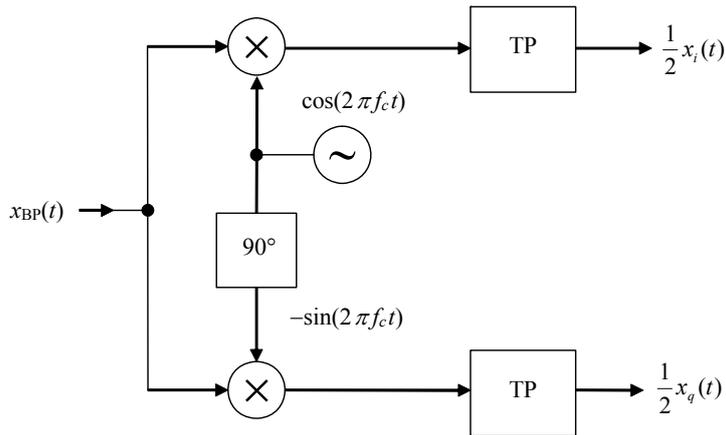


Bild 6.2: Erzeugung des äquivalenten Tiefpasssignals aus dem Bandpasssignal

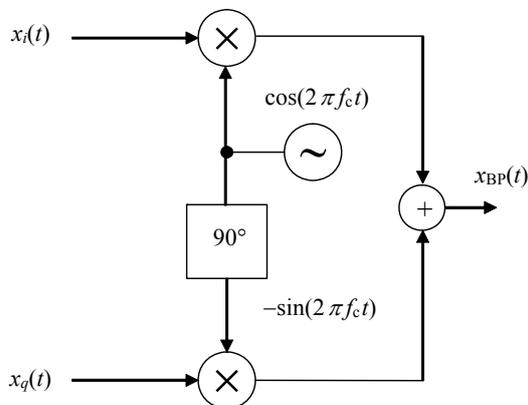


Bild 6.3: Erzeugung des Bandpasssignals aus dem äquivalenten Tiefpasssignal

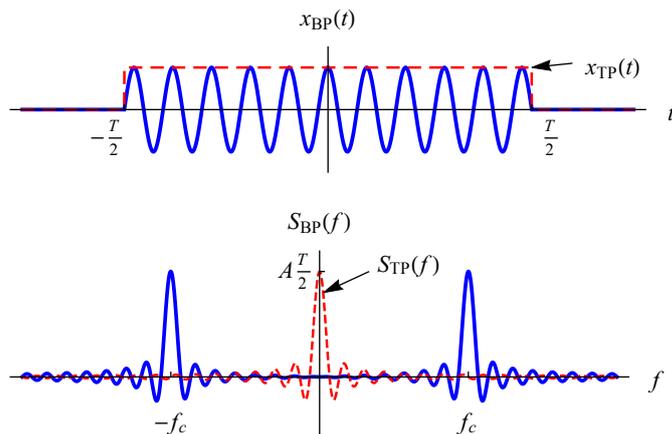


Bild 6.4: Das zeitbegrenzte Kosinussignal und dessen Fourier-Spektrum

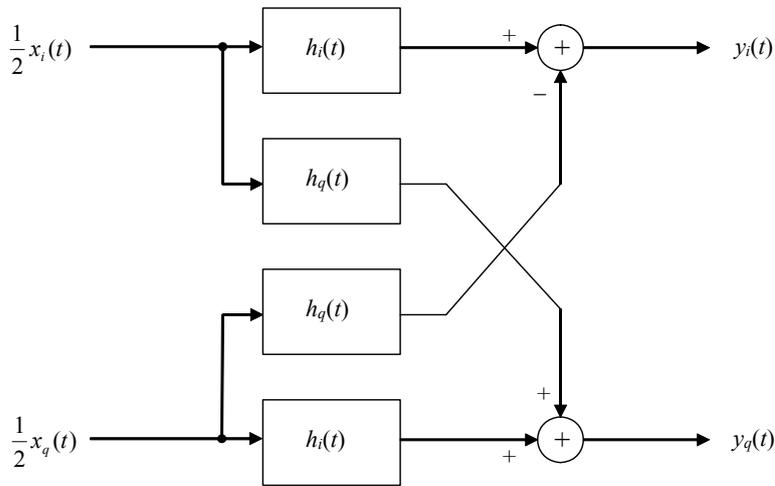


Bild 6.5: Realisierung eines Bandpasssystems im Tiefpassbereich

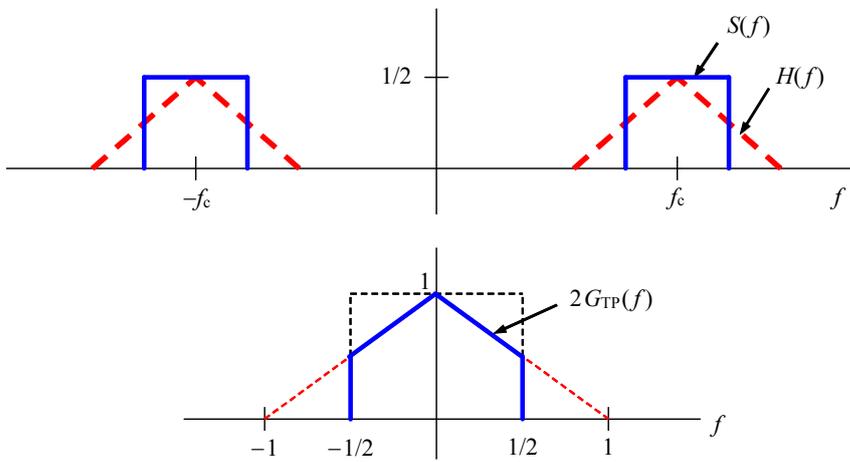


Bild 6.6: Fourier-Spektren des Bandpass- und des äquivalenten Tiefpasssignals

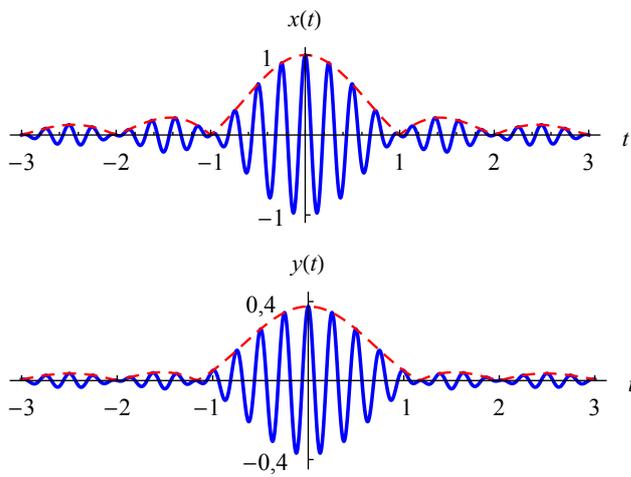


Bild 6.7: Eingangs- und Ausgangssignal des Bandpassfilters

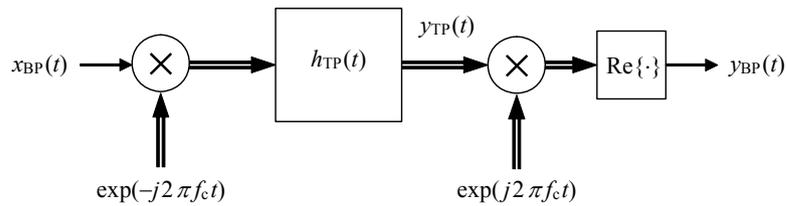


Bild 6.8: Komplexe Darstellung der Quadraturmischung

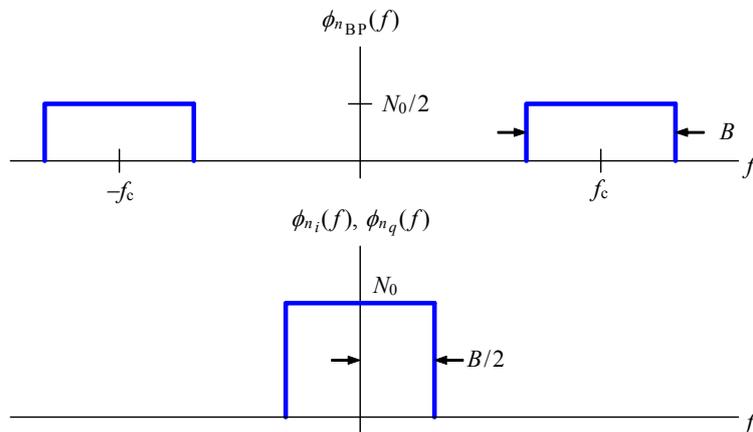


Bild 6.9: Leistungsdichtespektrum von Bandpassrauschen und dessen Quadraturkomponenten

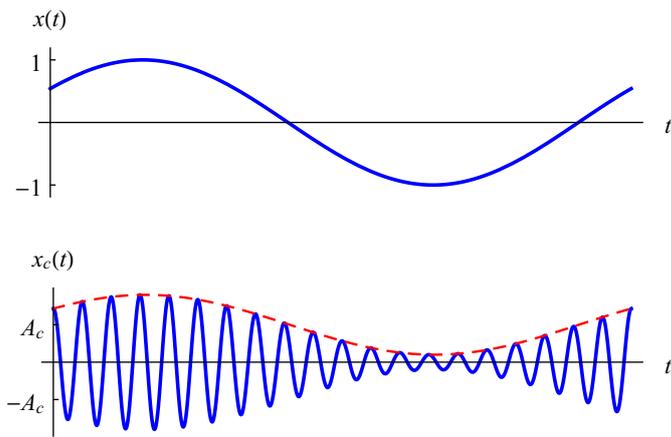


Bild 6.10: Amplitudenmoduliertes Signal ($\mu = 0,8$)

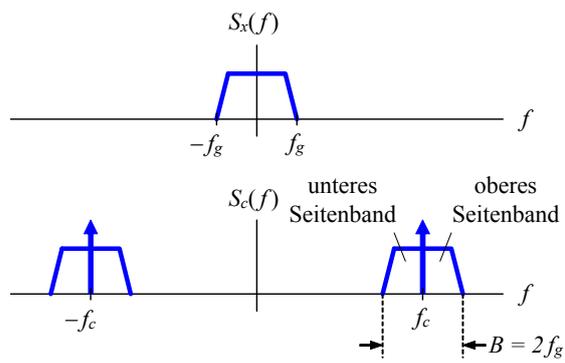


Bild 6.11: Fourier-Spektren des Basisbandsignals und des AM-Signals

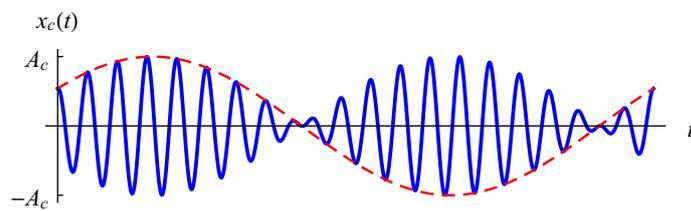


Bild 6.12: Reines Zweiseitenbandsignal

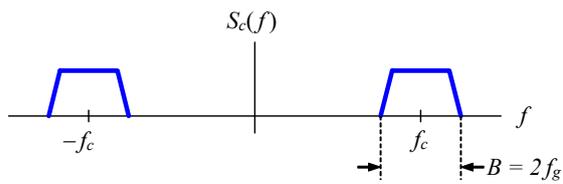


Bild 6.13: Fourier-Spektrum des reinen Zweiseitenbandsignals

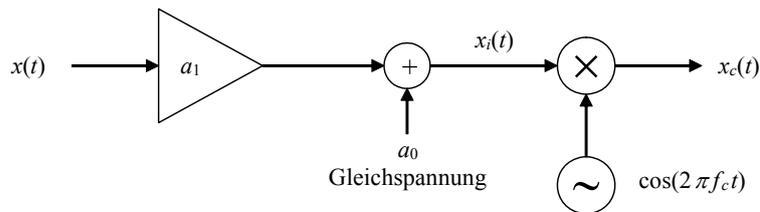


Bild 6.14: Produkt-Modulator

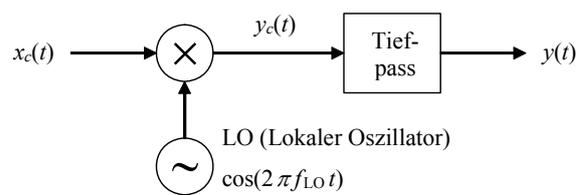


Bild 6.15: Kohärente Demodulation

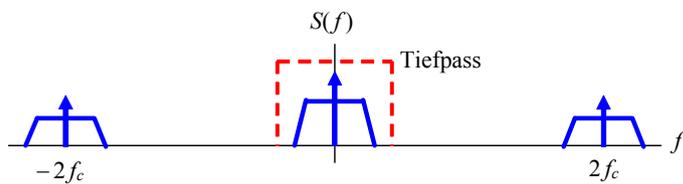


Bild 6.16: Fourier-Spektrum des demodulierten AM-Signals

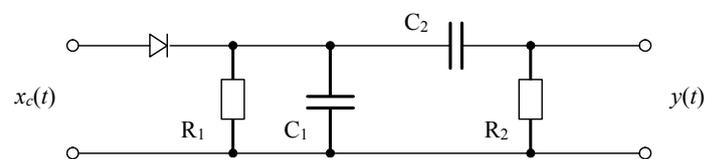


Bild 6.17: AM-Hüllkurvendemodulator

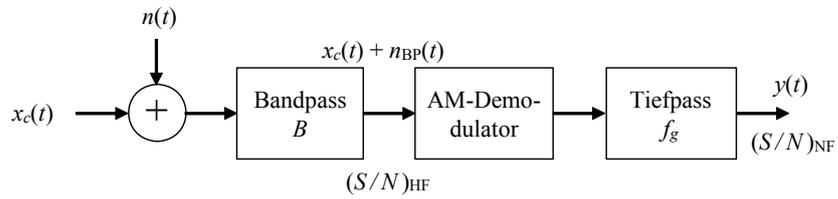


Bild 6.18: Modell eines AM-Empfängers zur Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses

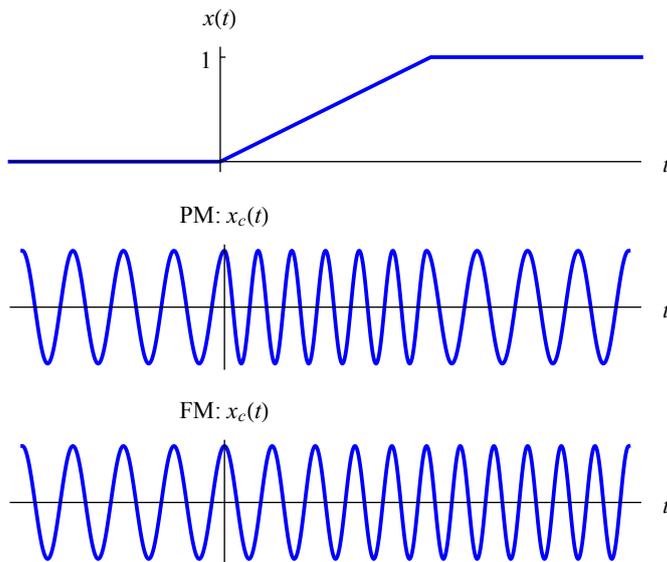


Bild 6.19: Phasen- (PM) und Frequenzmodulation (FM)

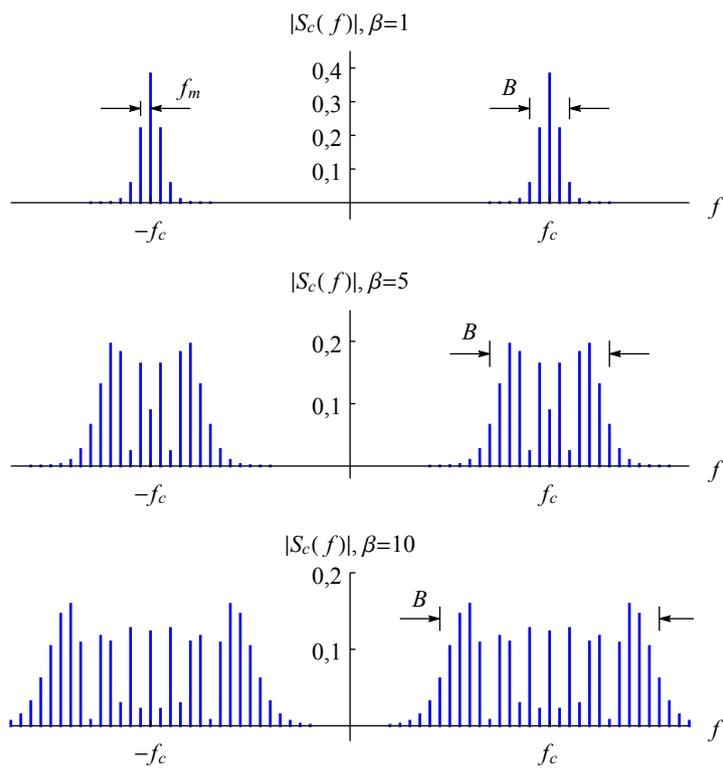


Bild 6.20: Fourier-Spektren von FM-Signalen bei sinusförmiger Modulation

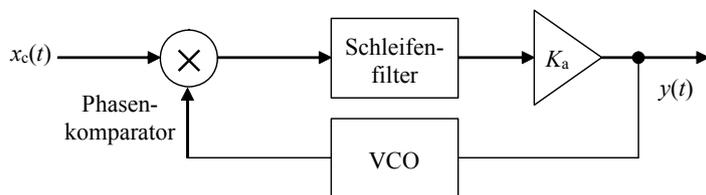


Bild 6.21: FM-PLL-Demodulator

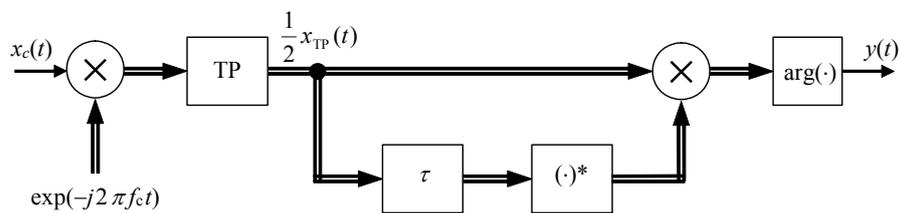


Bild 6.22: Basisband-FM-Demodulator

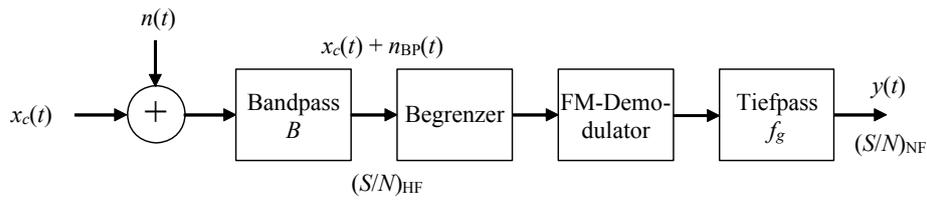


Bild 6.23: Modell eines FM-Empfängers zur Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses

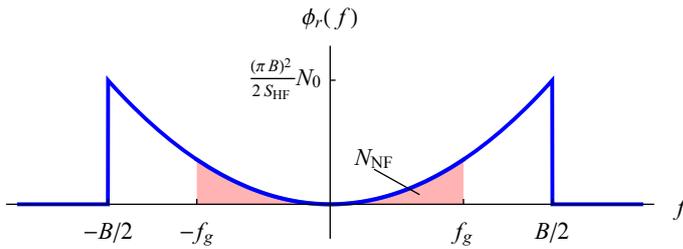


Bild 6.24: Leistungsdichtespektrum des Rauschens am Ausgang eines FM-Demodulators

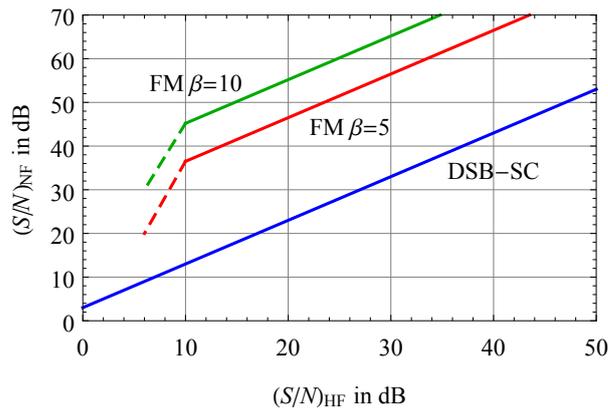


Bild 6.25: Störabstände bei der Frequenzmodulation

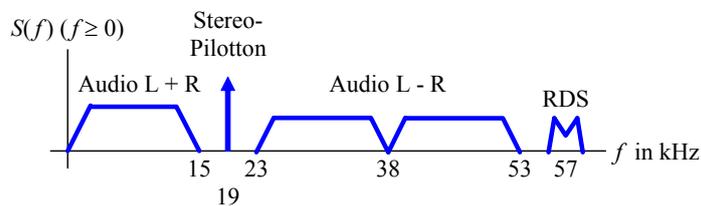


Bild 6.26: Spektrum des FM-Stereo-Basisbandsignals

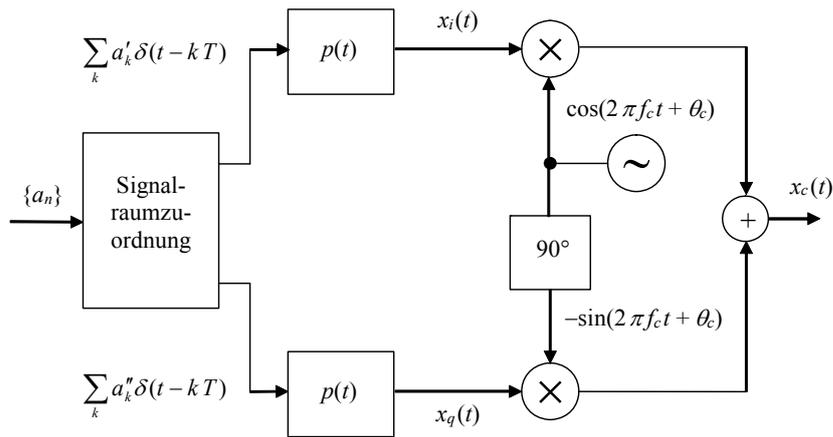


Bild 6.27: Quadratur-Modulator

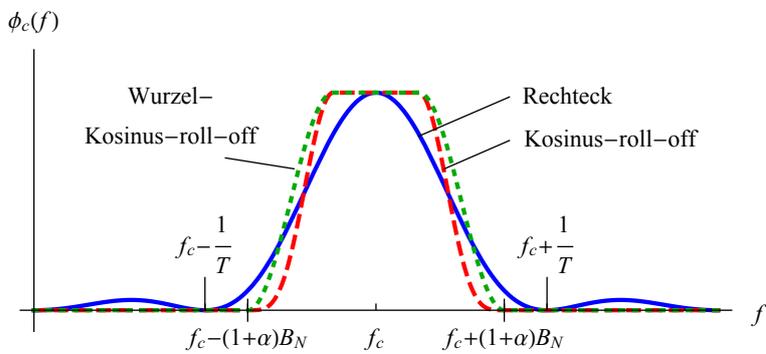


Bild 6.28: Leistungsdichtespektrum des modulierten Signals

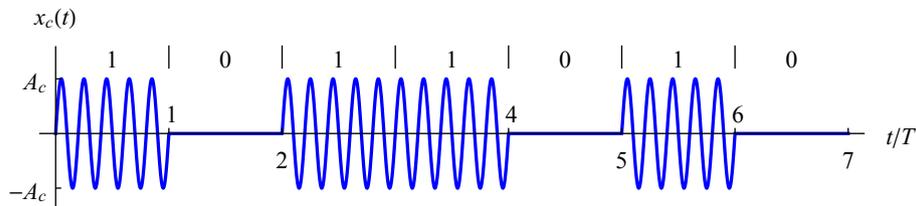


Bild 6.29: ASK-Signal ($m = 2$)

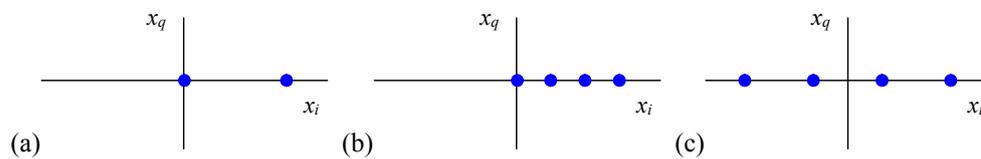


Bild 6.30: ASK-Signalraumkonstellation: (a) $m = 2$, (b) $m = 4$, (c) $m = 4$ ohne Träger

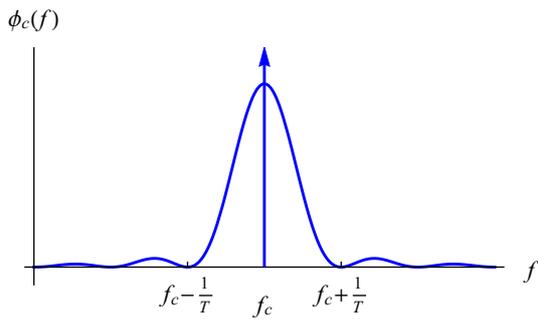


Bild 6.31: Leistungsdichtespektrum eines ASK-Signals

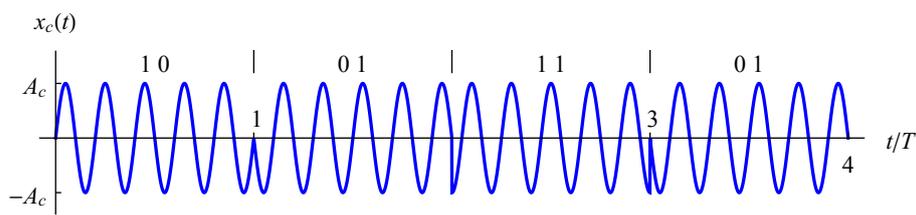


Bild 6.32: QPSK-Signal

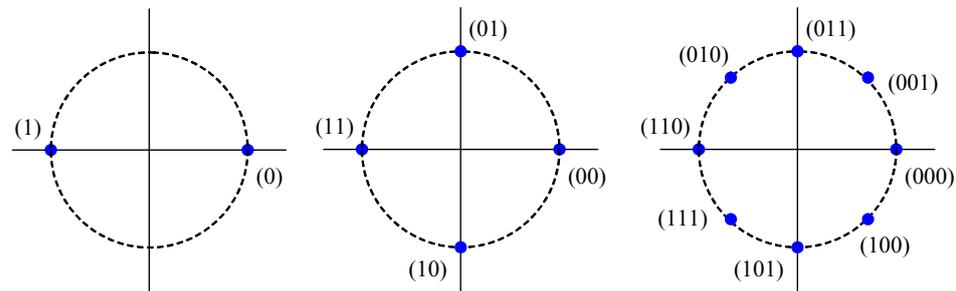


Bild 6.33: Signalraumkonstellation für BPSK ($m = 2$), QPSK ($m = 4$) und 8-PSK ($m = 8$)

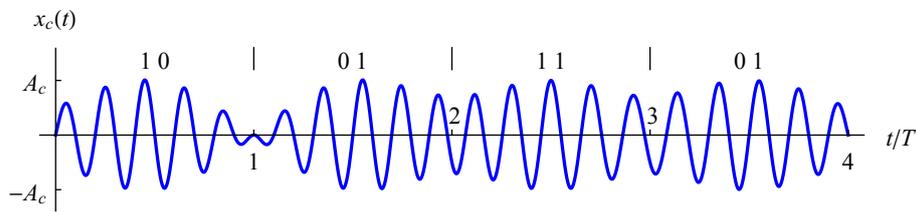


Bild 6.34: QPSK-Signal mit Kosinus-roll-off-Grundimpulsen ($\alpha = 0,5$)

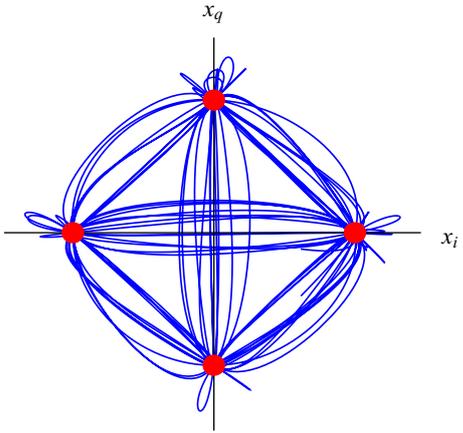


Bild 6.35: Verlauf des Signals aus Bild 6.34 in der x_i - x_q -Ebene

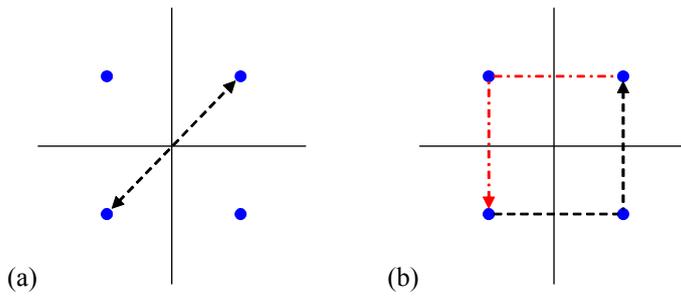


Bild 6.36: 180°-Phasenübergang bei (a) QPSK und (b) Offset-QPSK

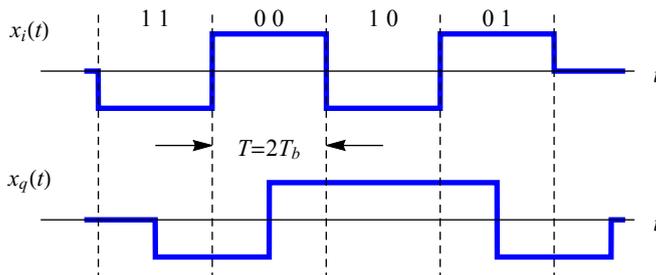


Bild 6.37: Quadraturkomponenten des Offset-QPSK-Signals

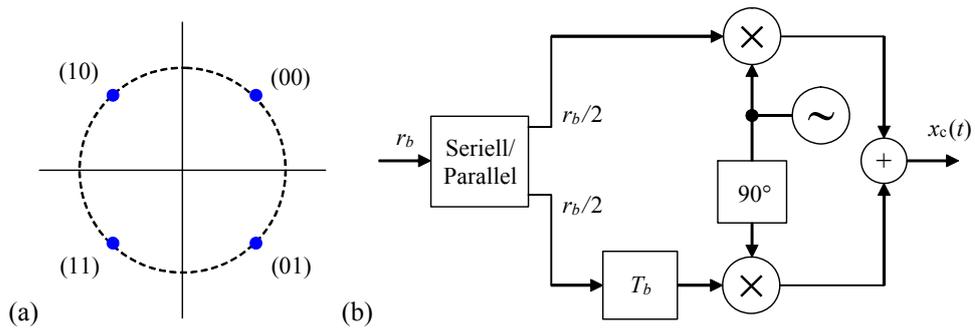


Bild 6.38: Offset-QPSK: (a) Signalraumkonstellation, (b) Sender

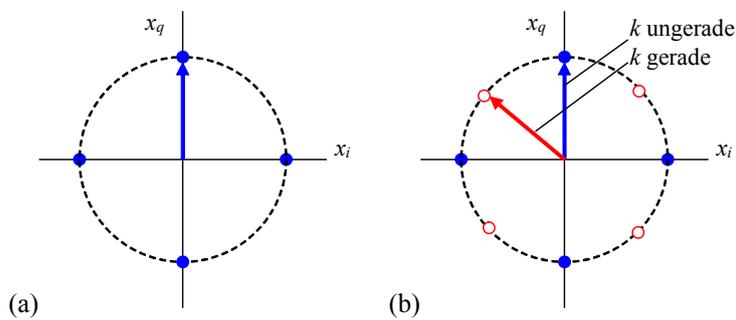


Bild 6.39: Signalraumkonstellation für DQPSK: (a) $\lambda = 0$, (b) $\lambda = \pi/4$

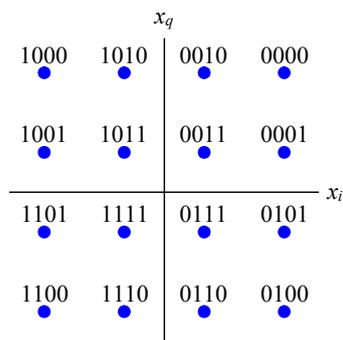


Bild 6.40: Signalraumkonstellation für 16-QAM

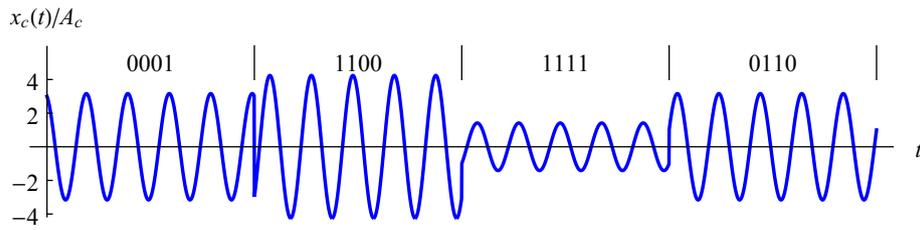


Bild 6.41: Signalverlauf eines 16-QAM-Signals

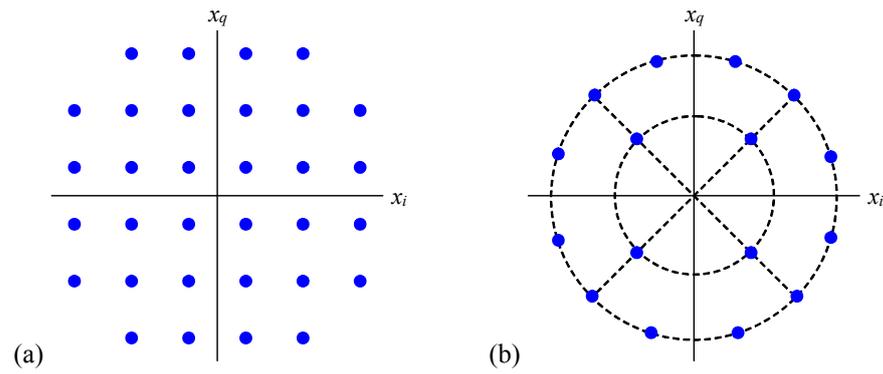


Bild 6.42: Signalraumkonstellationen für (a) 32-QAM und (b) 16-APSK

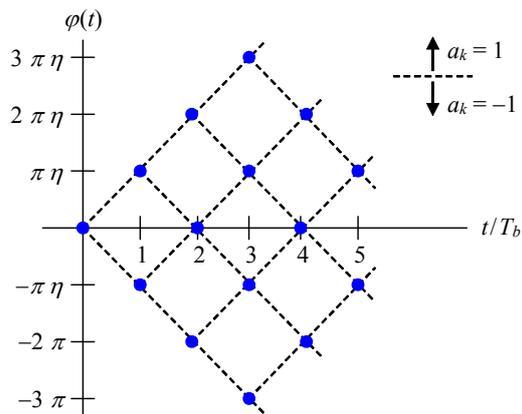


Bild 6.43: Phasenübergänge eines binären FSK-Signals

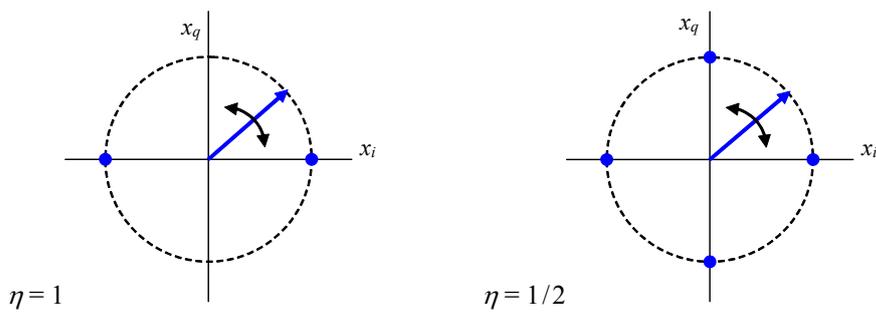


Bild 6.44: Signalraumdarstellung eines binären FSK-Signals

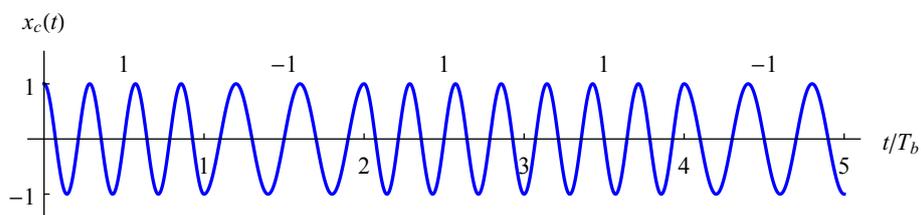


Bild 6.45: Binäres FSK-Signal ($\eta = 1, f_c = 3/T_b$)

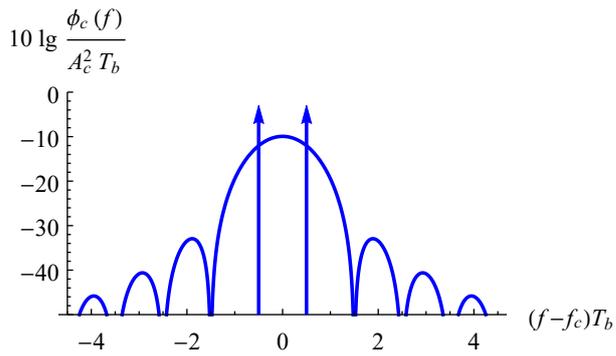


Bild 6.46: Leistungsdichtespektrum des binären FSK-Signals ($\eta = 1$)

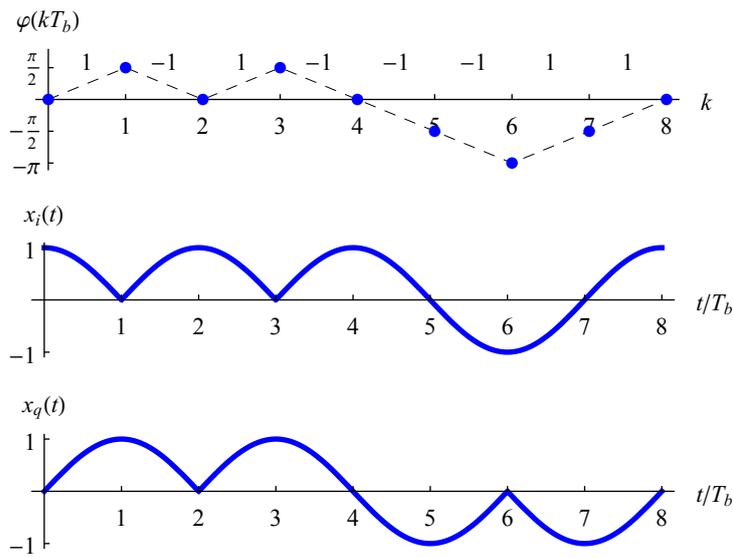


Bild 6.47: Phasenübergänge und Quadraturkomponenten eines MSK-Signals

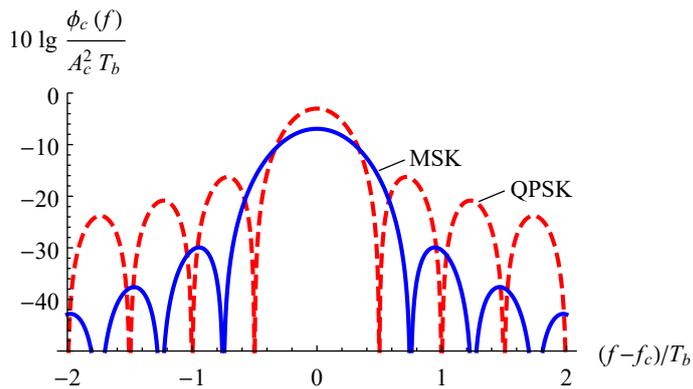


Bild 6.48: Leistungsdichtespektren für MSK und QPSK

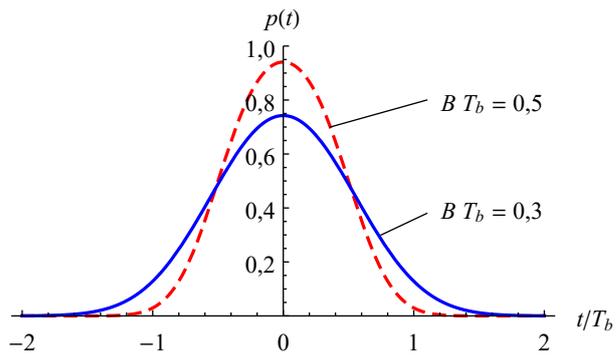


Bild 6.49: Grundimpuls bei GMSK

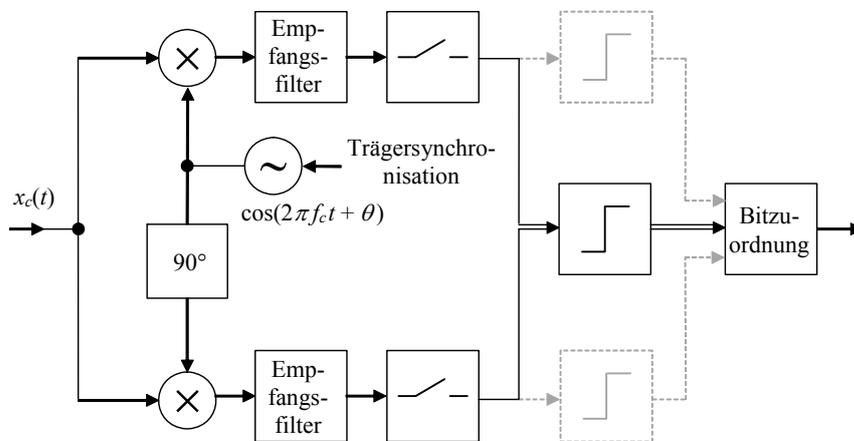


Bild 6.50: Quadratur-Demodulator

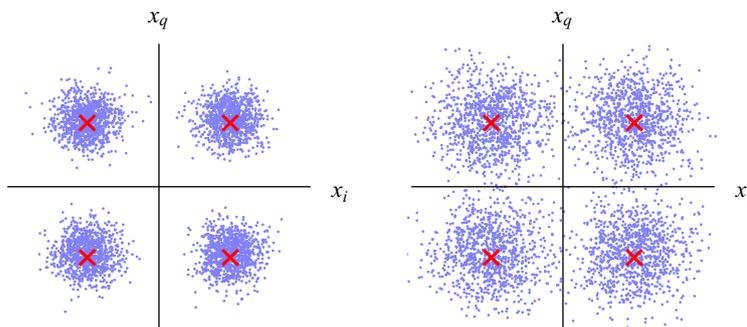


Bild 6.51: Signalraumkonstellation für QPSK bei Störung durch additives weißes gaußsches Rauschen

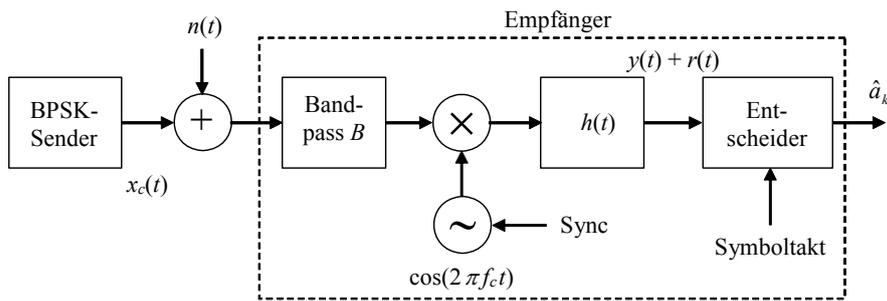


Bild 6.52: Kohärenter Empfänger für BPSK

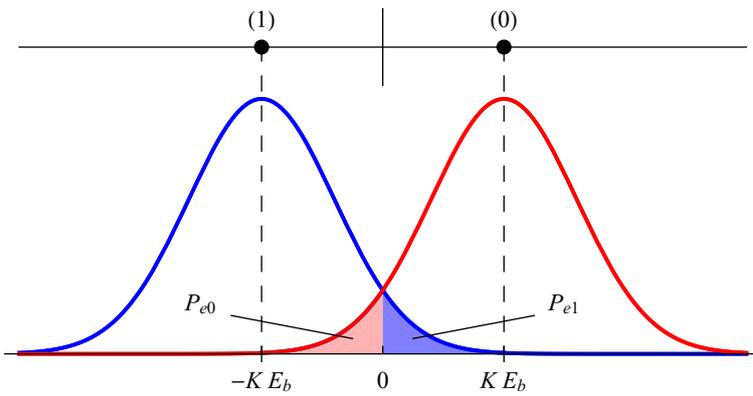


Bild 6.53: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der Signale am Entscheidungseingang für binäre Phasenumtastung

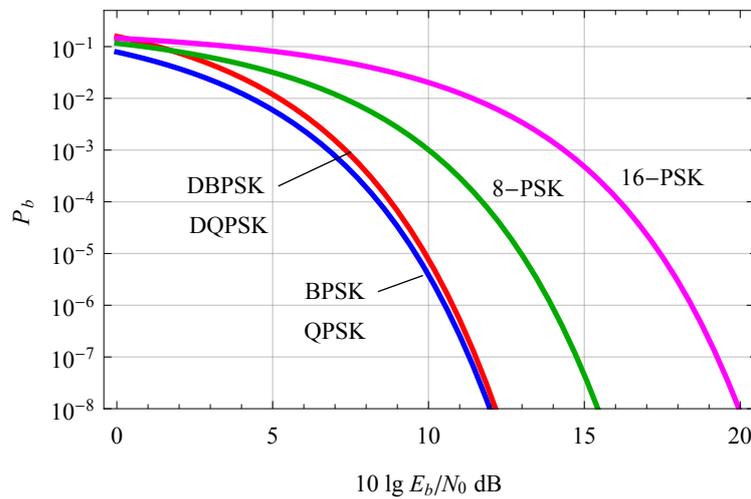


Bild 6.54: Bitfehlerwahrscheinlichkeit für Phasenumtastung

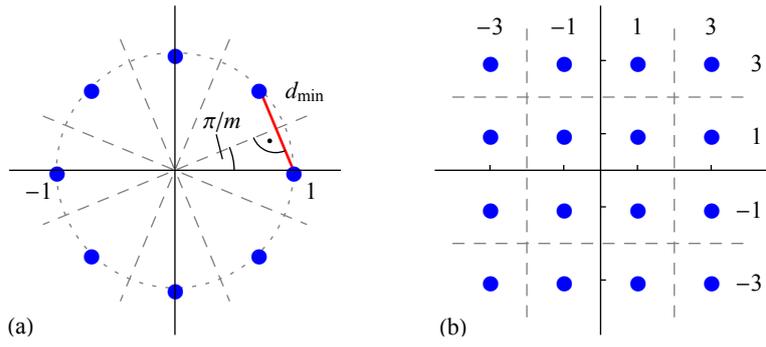


Bild 6.55: Entscheidungsgrenzen für (a) 8-PSK und (b) 16-QAM

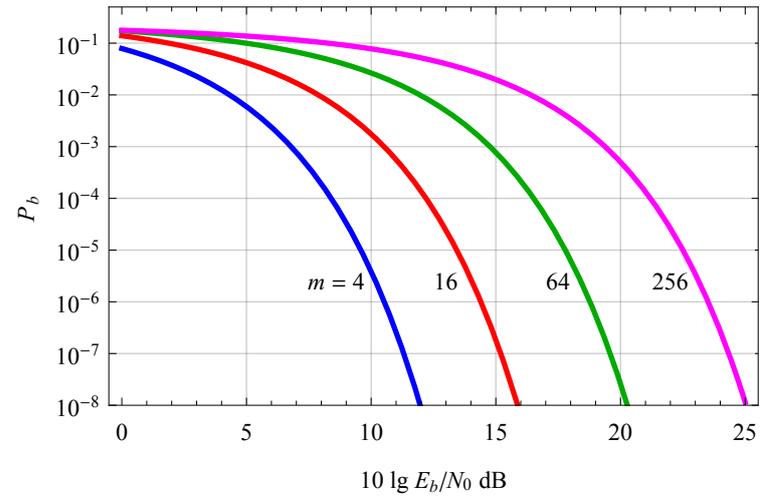


Bild 6.56: Bitfehlerwahrscheinlichkeit für QAM

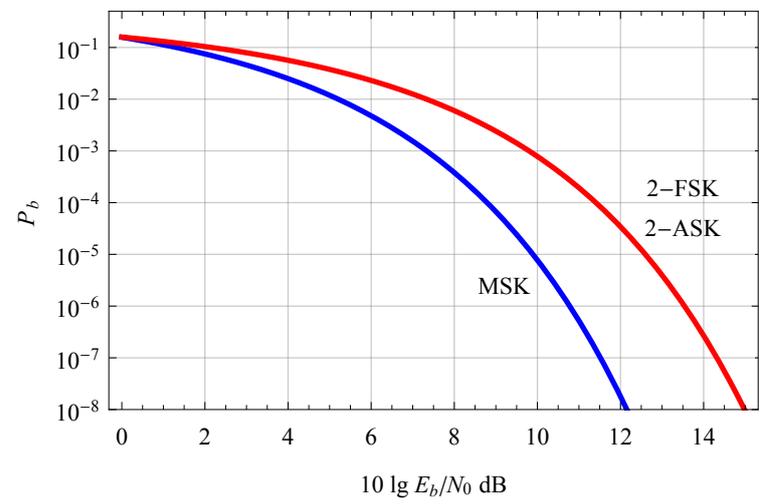


Bild 6.57: Bitfehlerwahrscheinlichkeit für binäre ASK bzw. FSK und MSK

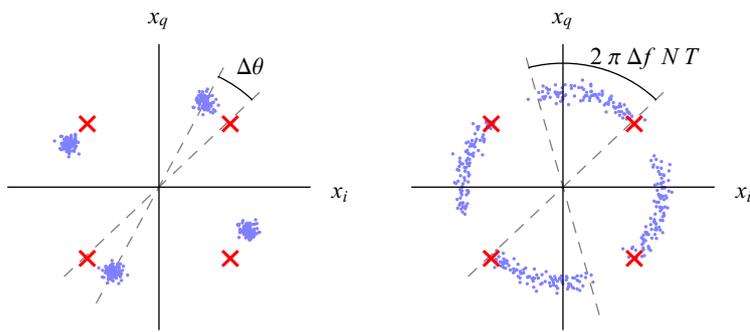


Bild 6.58: Signalraumkonstellation für QPSK bei einer Phasen- und einer Frequenzdifferenz des lokalen Oszillators

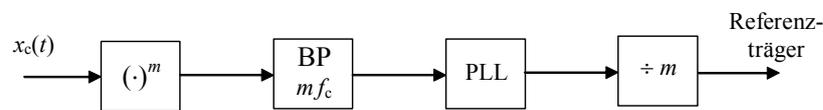


Bild 6.59: Gewinnung eines Referenzträgers durch Potenzieren des Modulationssignals

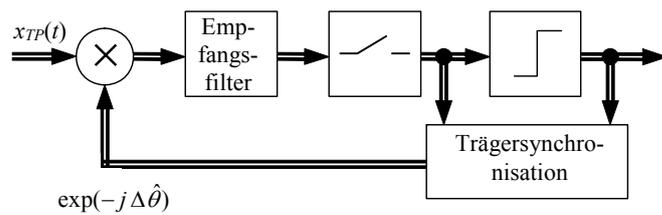


Bild 6.60: Entscheidungsrückgekoppelte Trägersynchronisation

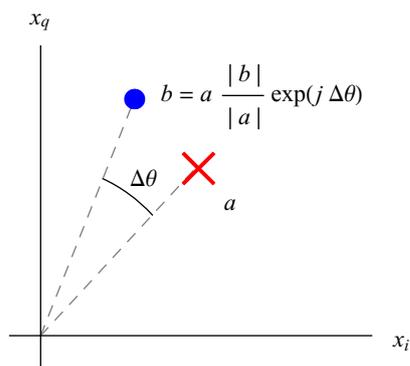


Bild 6.61: Zur Bestimmung der Phasendifferenz bei der entscheidungsrückgekoppelten Trägersynchronisation

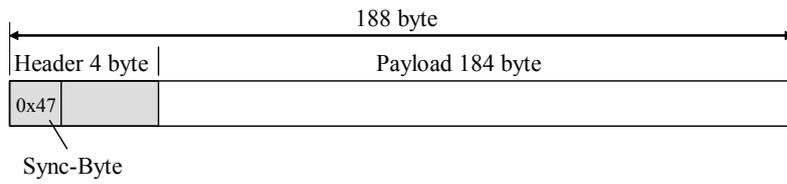


Bild 6.62: MPEG-TS-Paket

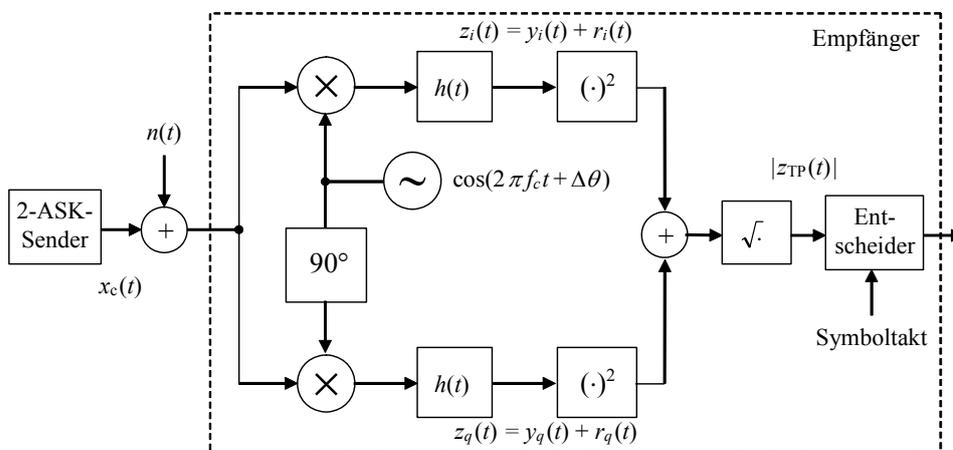


Bild 6.63: Blockschaltbild eines inkohärenten ASK-Empfängers (Hüllkurvenempfänger)

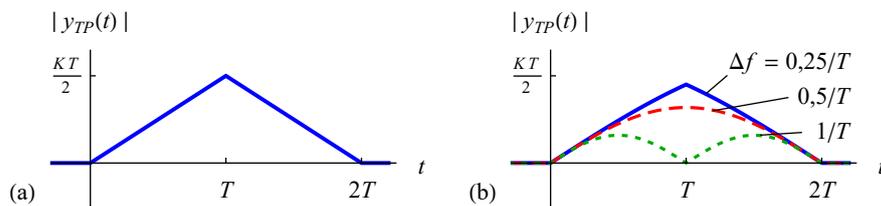


Bild 6.64: Nutzsignal am Ausgang des inkohärenten ASK-Empfängers

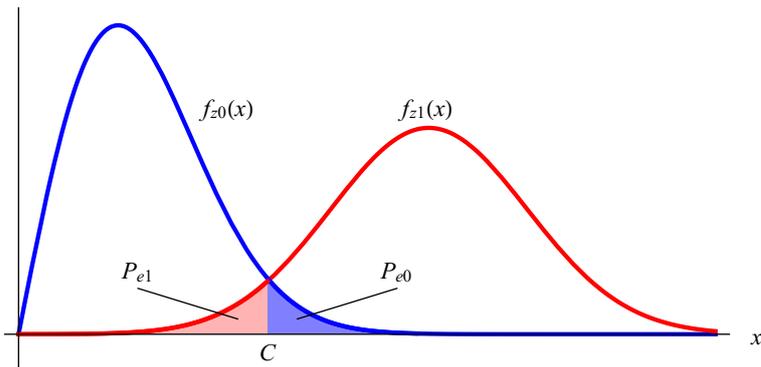


Bild 6.65: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen $f_{z0}(x)$, $f_{z1}(x)$ und bedingte Fehlerwahrscheinlichkeiten P_{e0} , P_{e1} bei inkohärenter Demodulation

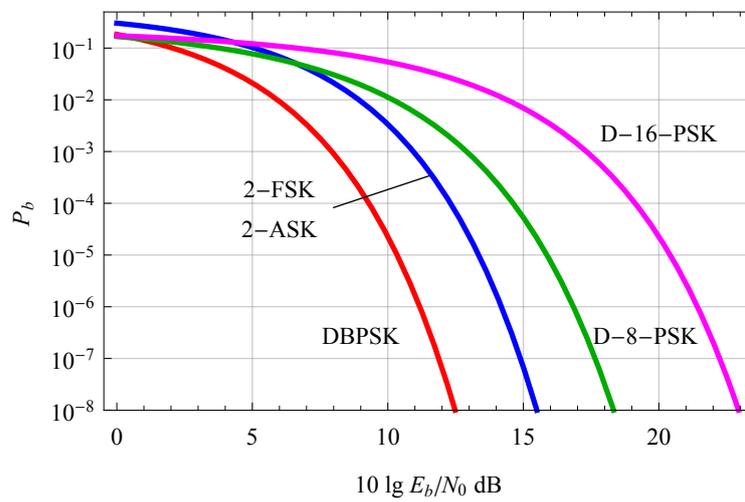


Bild 6.66: Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei inkohärenter Demodulation

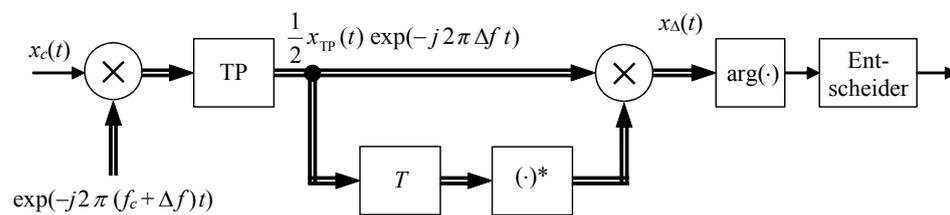


Bild 6.67: Inkohärenter Empfänger für DPSK

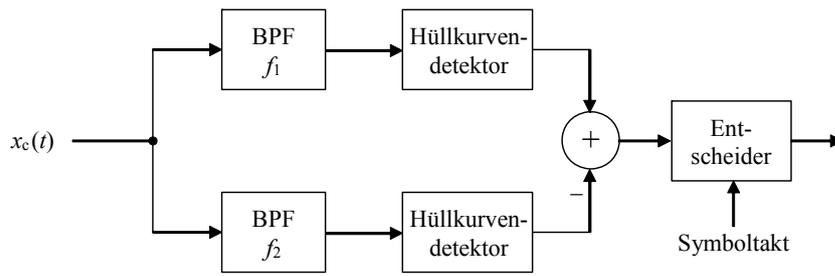


Bild 6.68: Hüllkurvenempfänger für binäre FSK

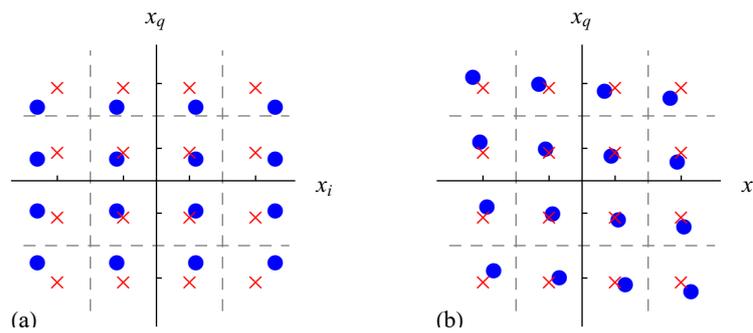


Bild 6.69: Modulationsfehler am Beispiel 16-QAM: (a) Quadratur-Amplitudenfehler, (b) Quadratur-Phasenfehler

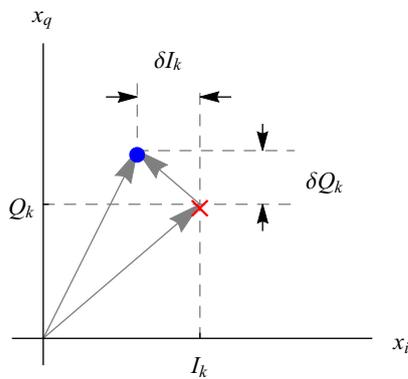


Bild 6.70: Zur Definition der Error Vector Magnitude (EVM)

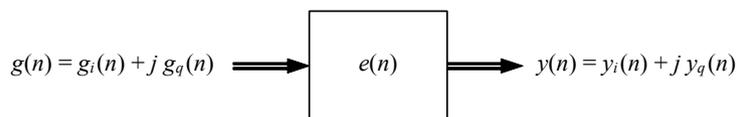


Bild 6.71: Entzerrer für ein komplexes Tiefpasssignal

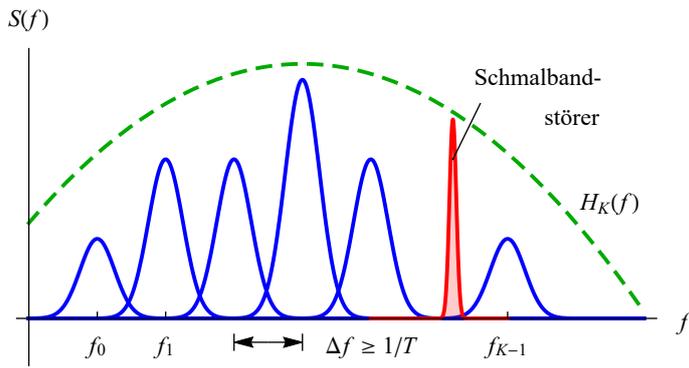


Bild 6.72: Spektrum eines Multiträgersystems

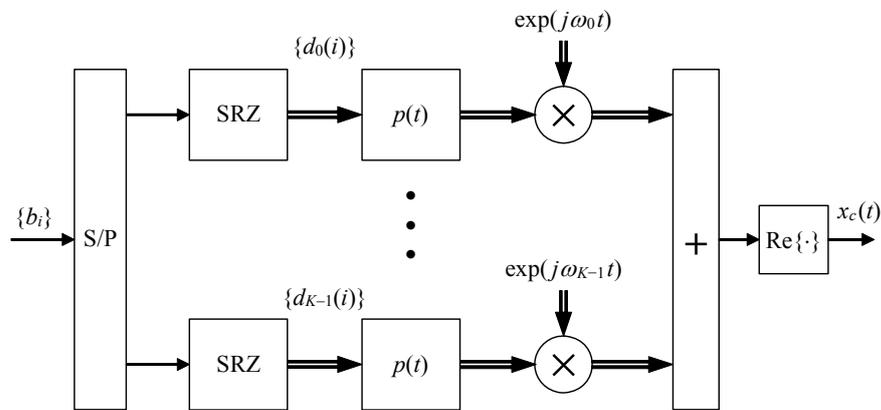


Bild 6.73: Blockschaltbild des Senders eines Multiträgersystems

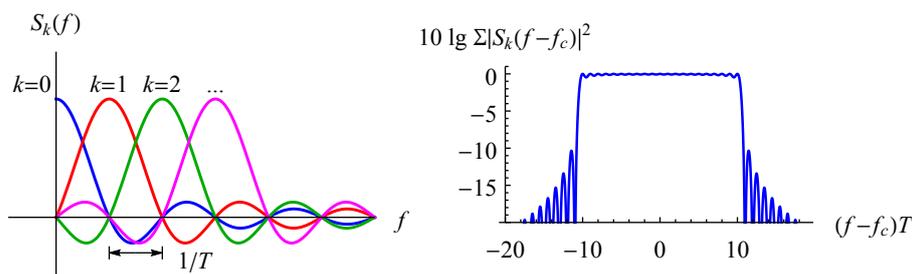


Bild 6.74: Fourier-Spektrum der OFDM-Subträger

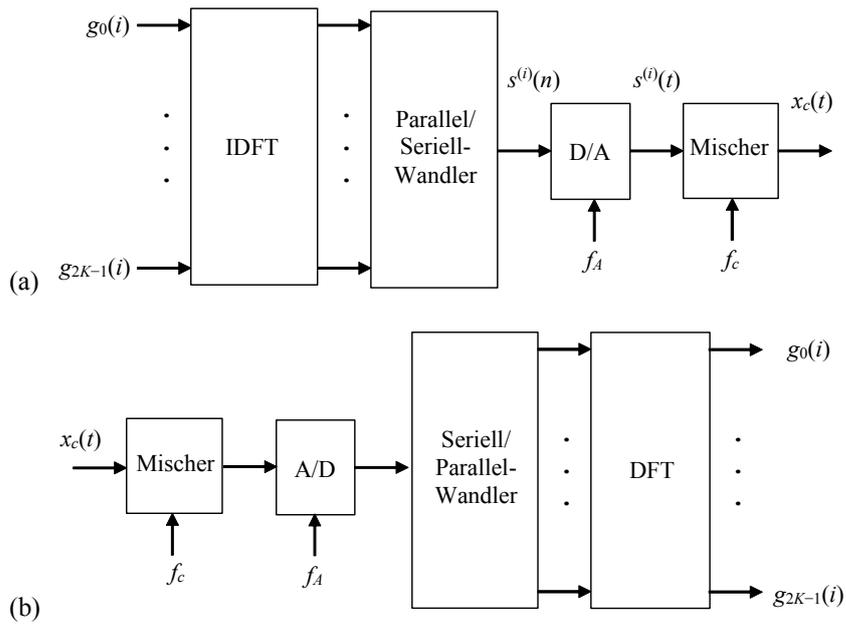


Bild 6.75: Blockschaltbild eines (a) OFDM-Senders und (b) Empfängers

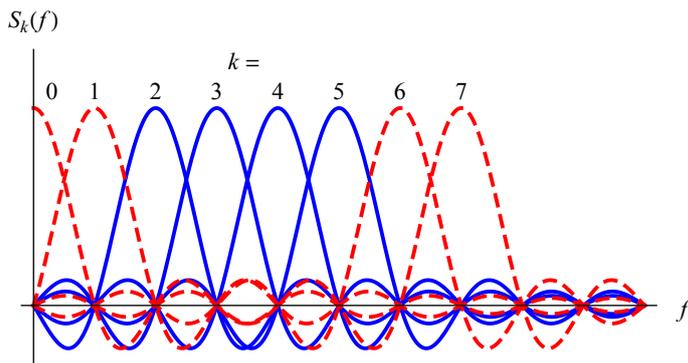


Bild 6.76: Fourier-Spektrum der OFDM-Subträger für $K = 8$ (Subträger $k = 0, 1, 6$ und 7 werden unterdrückt)

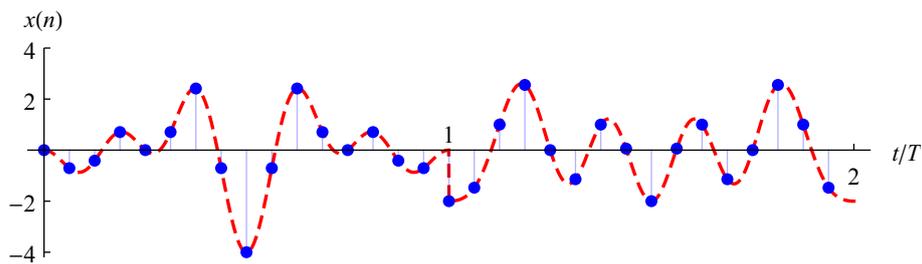


Bild 6.77: OFDM-Signal und dessen mittels der IDFT berechnete Abtastwerte

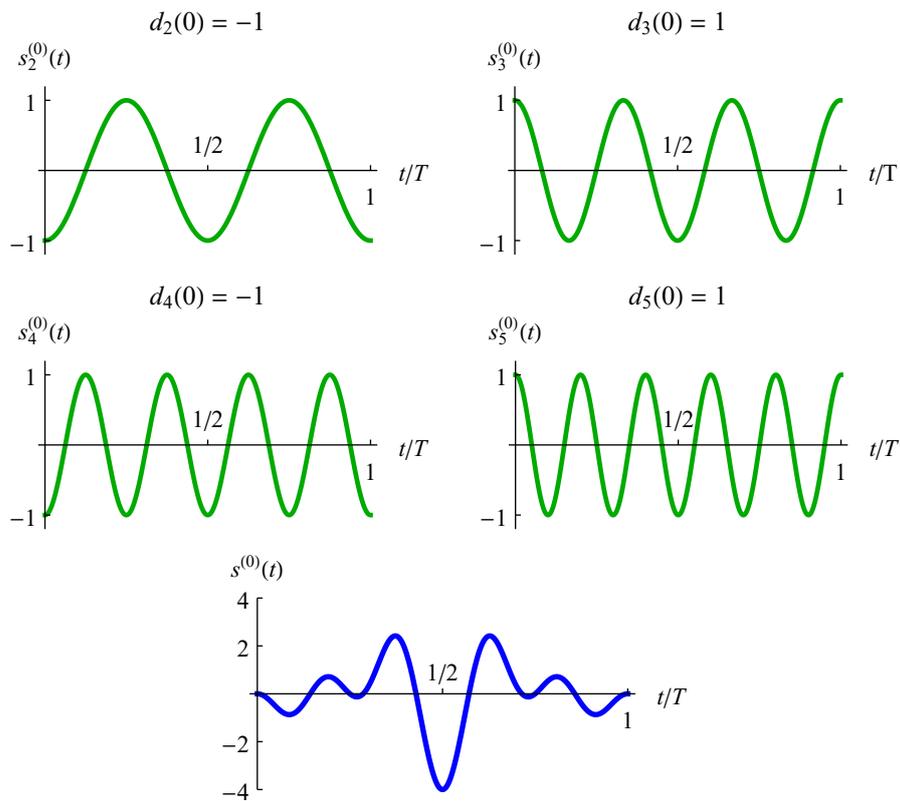


Bild 6.78: Zusammensetzung des OFDM-Signals für das erste Symbol ($i = 0$)

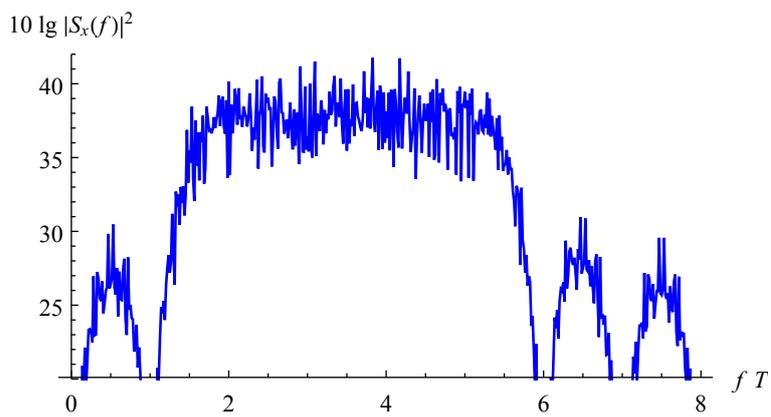


Bild 6.79: Leistungsdichtespektrum des OFDM-Signals

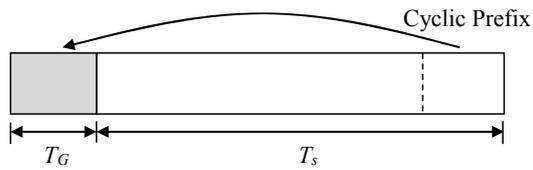


Bild 6.80: OFDM-Symbol mit Schutzintervall (Cyclic Prefix)

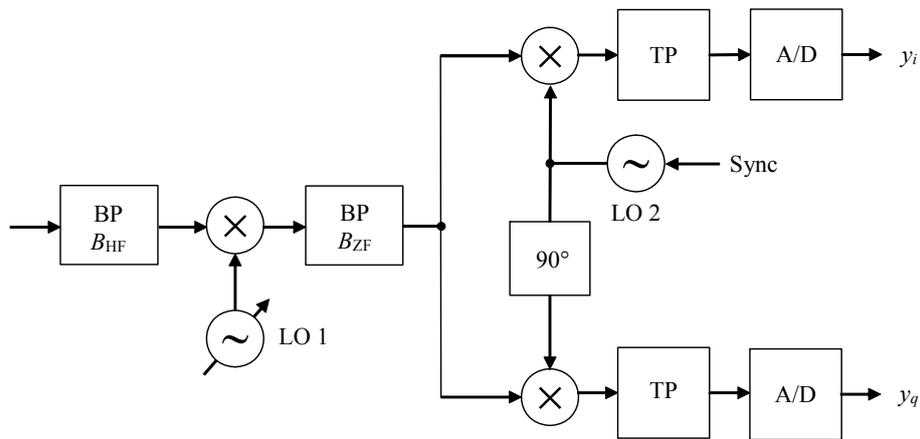


Bild 6.81: Empfänger mit Zwischenfrequenzstufe

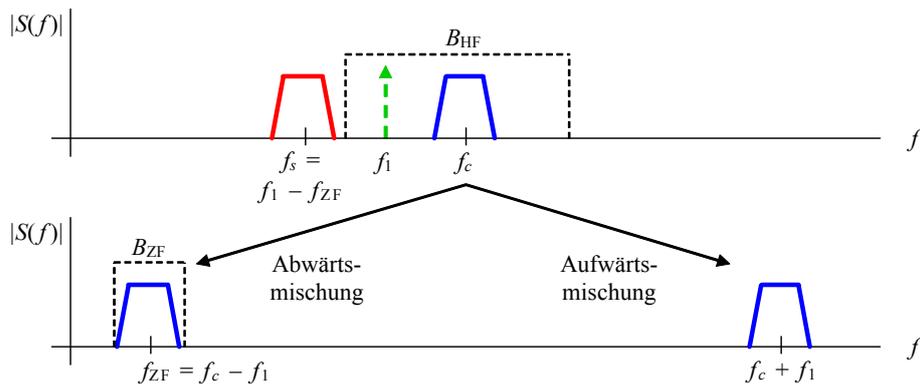


Bild 6.82: Fourier-Spektren am Eingang und Ausgang der Mischstufe

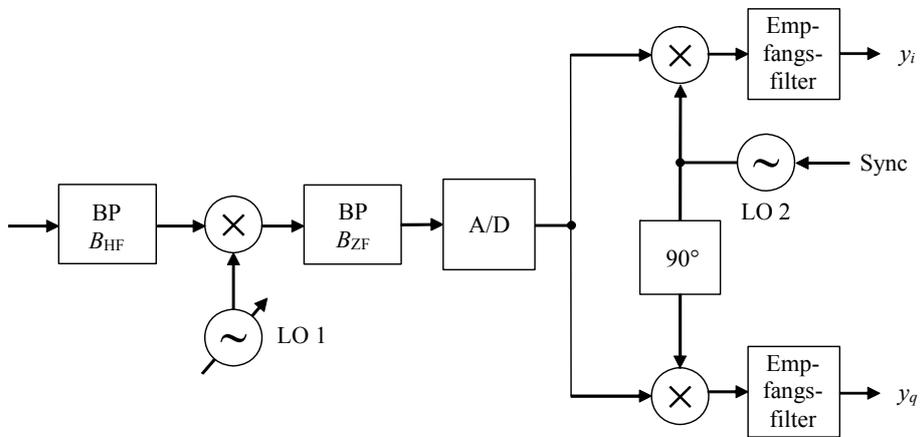


Bild 6.83: Empfänger mit Digitalisierung der Zwischenfrequenz

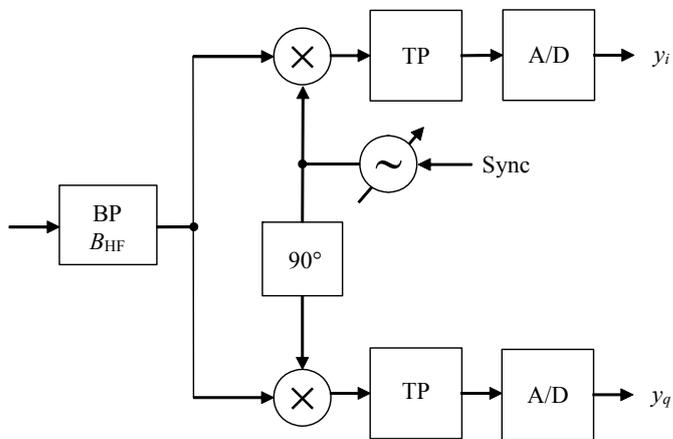


Bild 6.84: Empfänger mit direkter Umsetzung in das Basisband

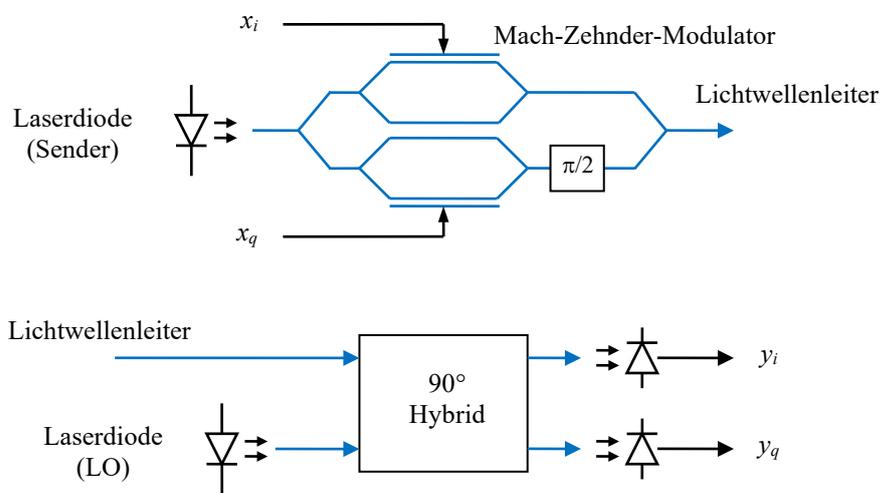


Bild 6.85: Kohärentes optisches Übertragungssystem

7 Kanalcodierung

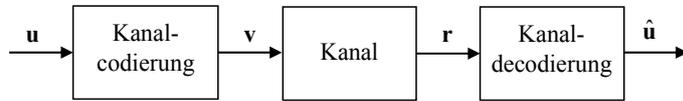


Bild 7.1: Modell eines Übertragungssystems mit Kanalcodierung

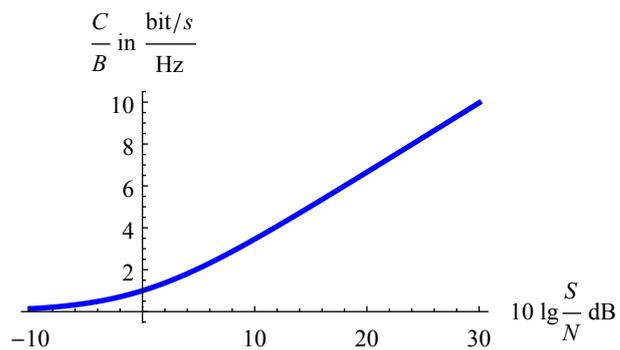


Bild 7.2: Kapazität des kontinuierlichen bandbegrenzten Kanals

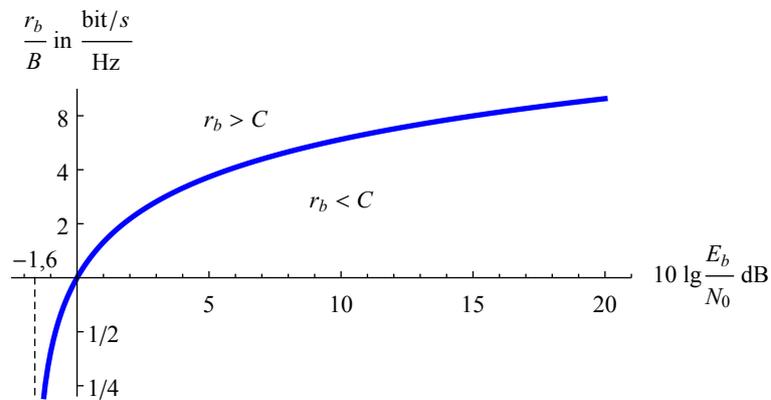


Bild 7.3: Spektrale Effizienz und Kanalkapazität

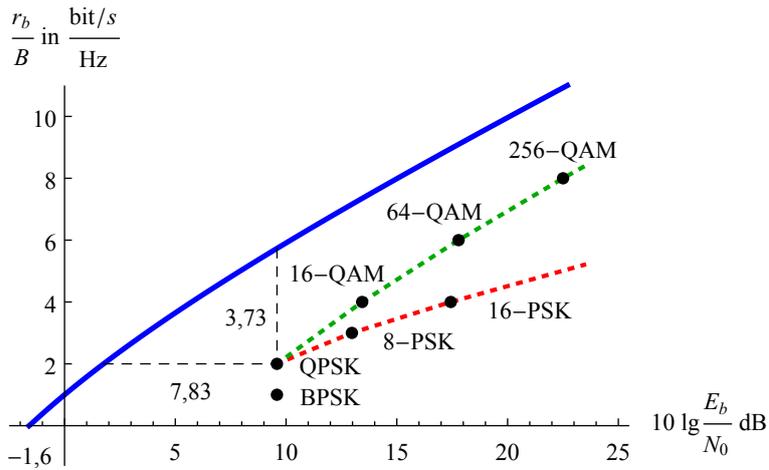


Bild 7.4: Shannon-Grenze und spektrale Effizienz über E_b/N_0 für verschiedene Modulationsverfahren

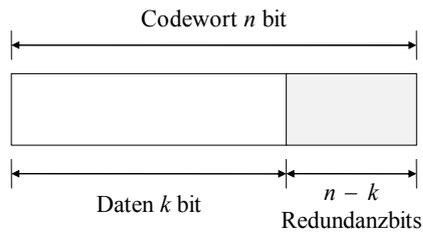


Bild 7.5: Codewort eines systematischen (n, k) -Blockcodes

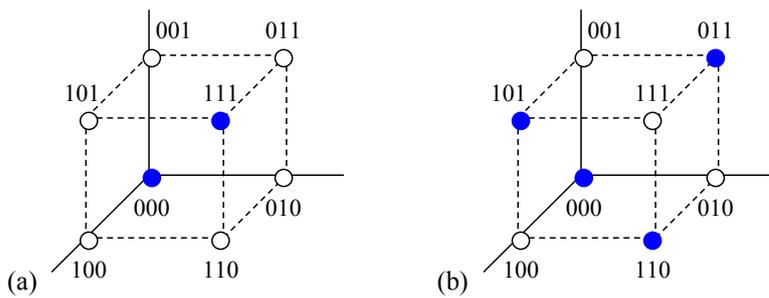


Bild 7.6: Dreidimensionale Darstellung (a) eines Wiederholungscodes und (b) eines Paritätscodes

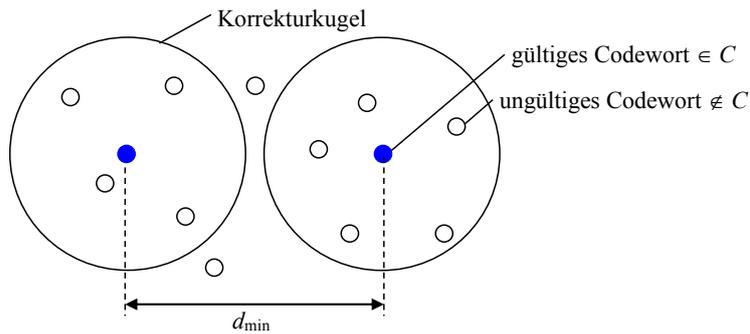


Bild 7.7: Vektorraum mit Codeworten

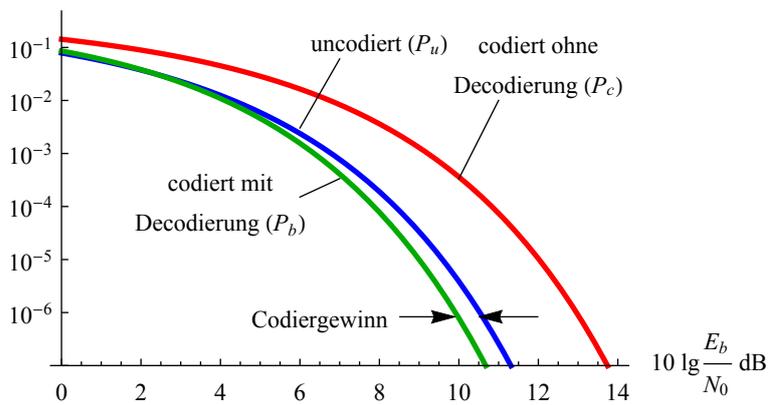


Bild 7.8: Codiergewinn am Beispiel von QPSK und des (7, 4)-Hamming-Codes

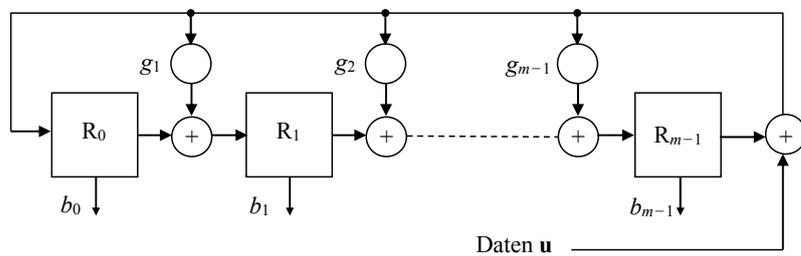


Bild 7.9: Schaltung zur Berechnung des Divisionsrestes zur Erzeugung eines zyklischen Codes

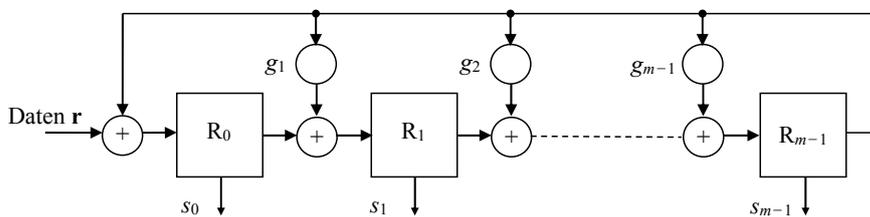


Bild 7.10: Schaltung zur Berechnung des Syndroms eines zyklischen Codes

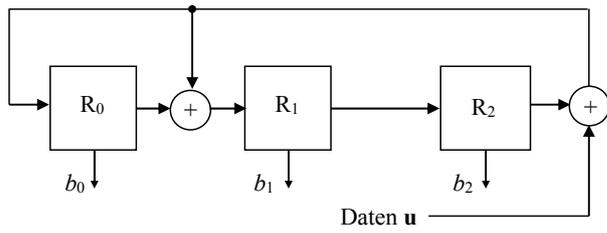


Bild 7.11: Berechnung des Divisionsrestes für das Generatorpolynom $g(x) = 1 + x + x^3$

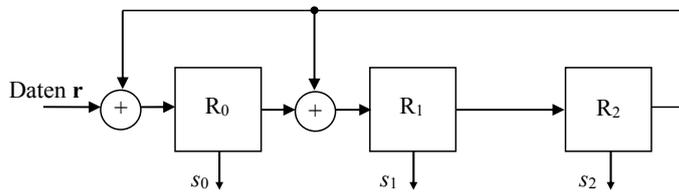


Bild 7.12: Berechnung des Syndroms für das Generatorpolynom $g(x) = 1 + x + x^3$

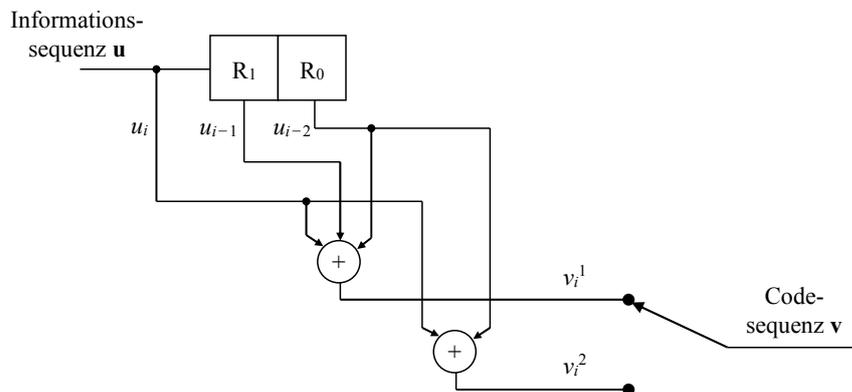


Bild 7.13: Ein (2, 1, 2)-Faltungscodierer

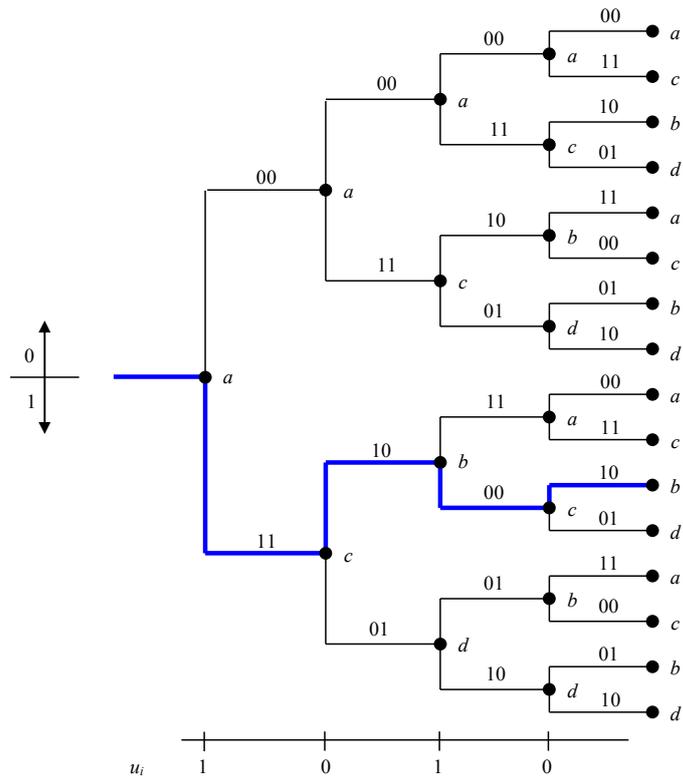


Bild 7.14: Codebaum des (2, 1, 2)-Faltungscodes

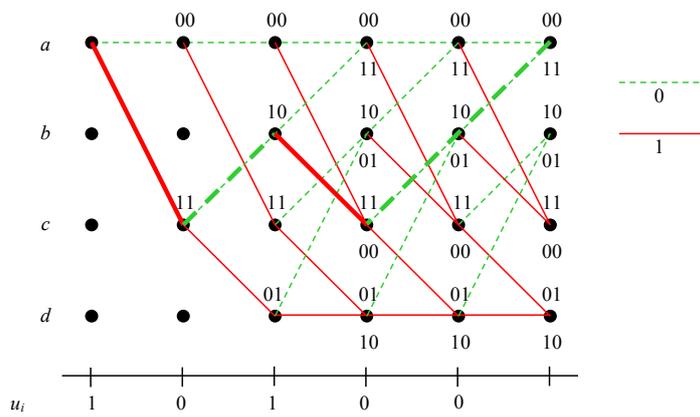


Bild 7.15: Netzdiagramm des (2, 1, 2)-Faltungscodes

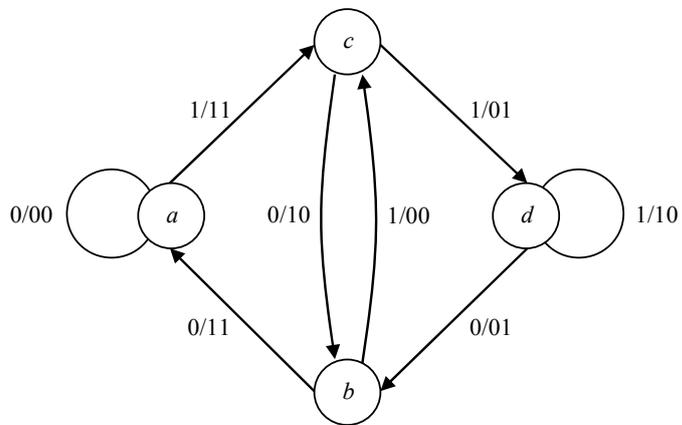


Bild 7.16: Zustandsdiagramm des (2, 1, 2)-Faltungscodes

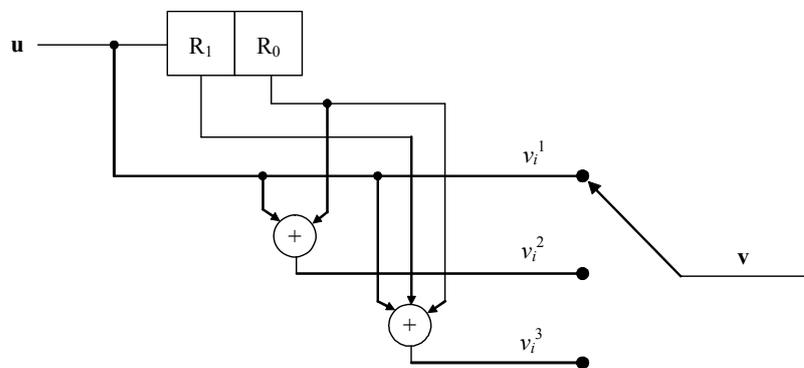


Bild 7.17: Ein (3, 1, 2)-Faltungscodierer

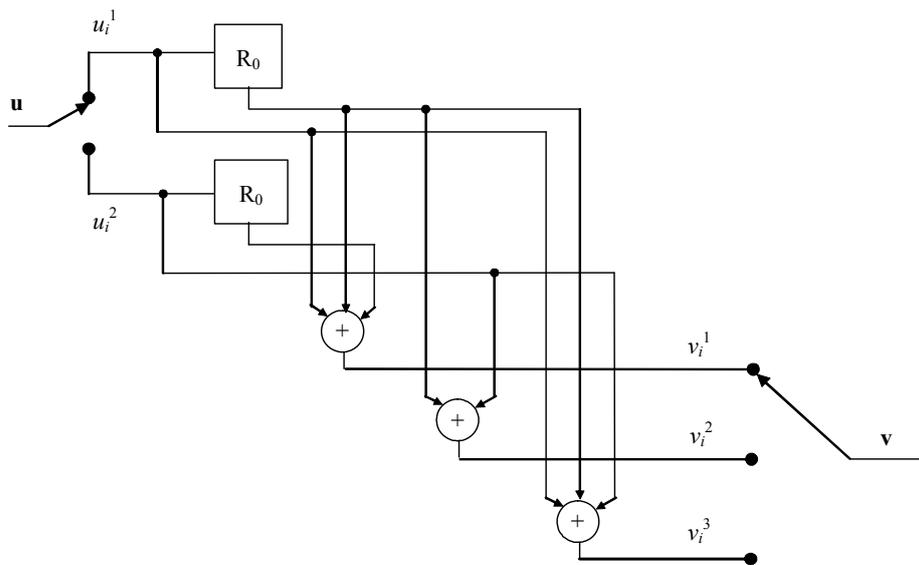


Bild 7.18: Ein (3, 2, 2)-Faltungscodierer

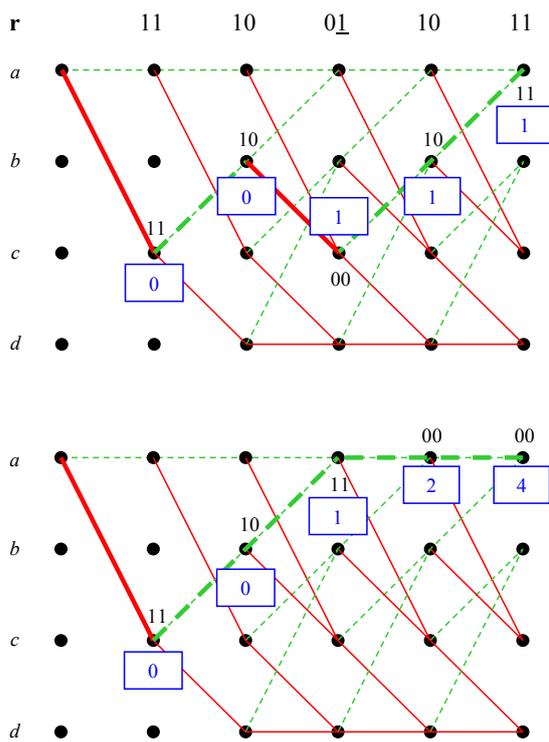


Bild 7.19: Beispiel zur Maximum-Likelihood-Decodierung unter Verwendung der Hamming-Distanz

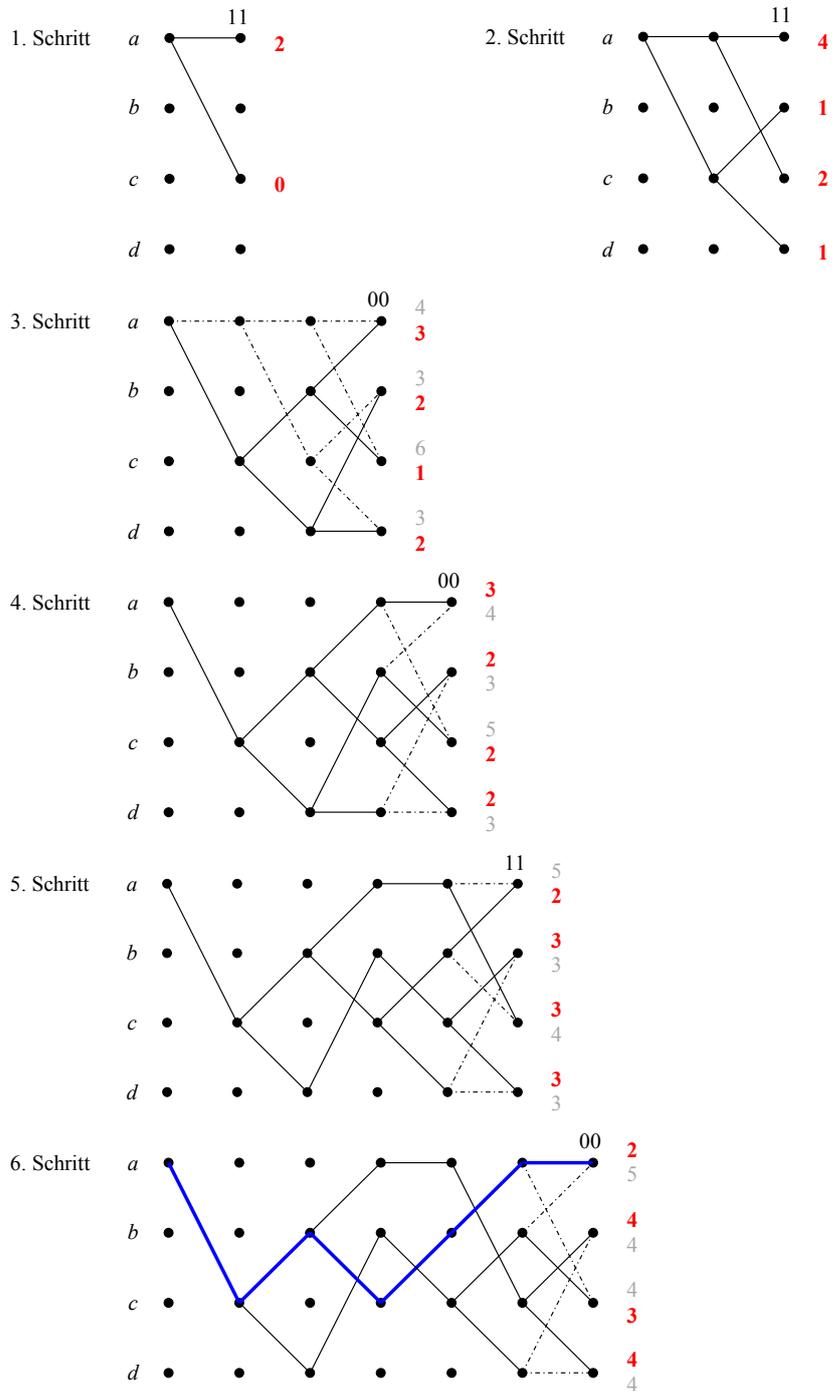


Bild 7.20: Beispiel zum Viterbi-Algorithmus

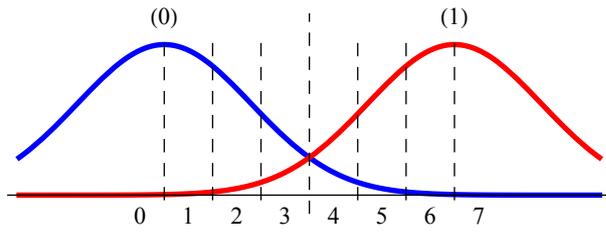


Bild 7.21: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen am Entscheidereingang und Ausgangswerte des Entscheiders mit Zuverlässigkeitsinformation

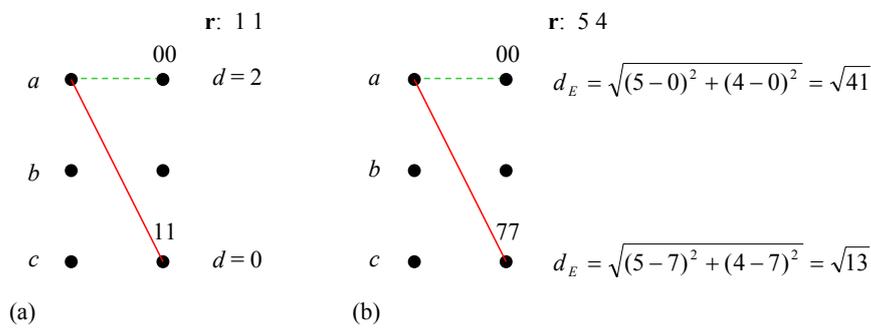


Bild 7.22: Metrik bei (a) Hard-Decision und (b) Soft-Decision

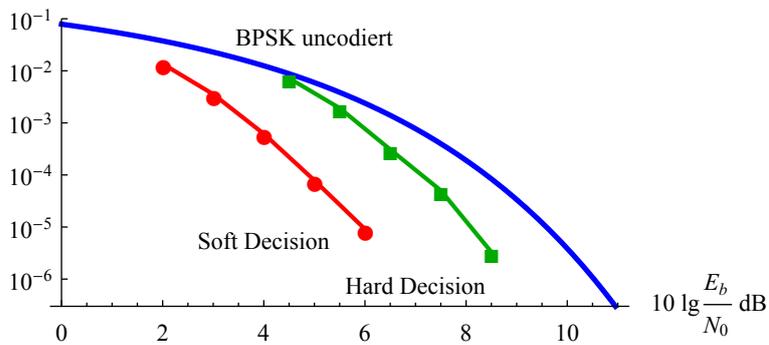


Bild 7.23: Bitfehlerwahrscheinlichkeit für den (2, 1, 2)-Faltungscodierung bei Soft-Decision und Hard-Decision Viterbi-Decodierung

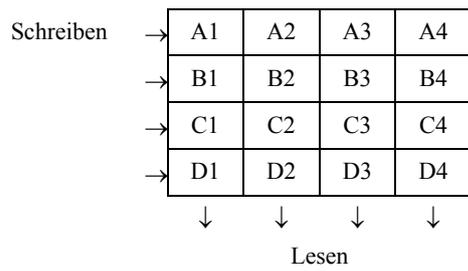


Bild 7.24: Prinzip des Blockinterleavers

Zu übertragende Folge:

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Gesendete Folge:

A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Empfangene Folge nach dem Deinterleaver:

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Bild 7.25: Verteilung eines Fehlerbursts (graue Felder) durch Interleaving

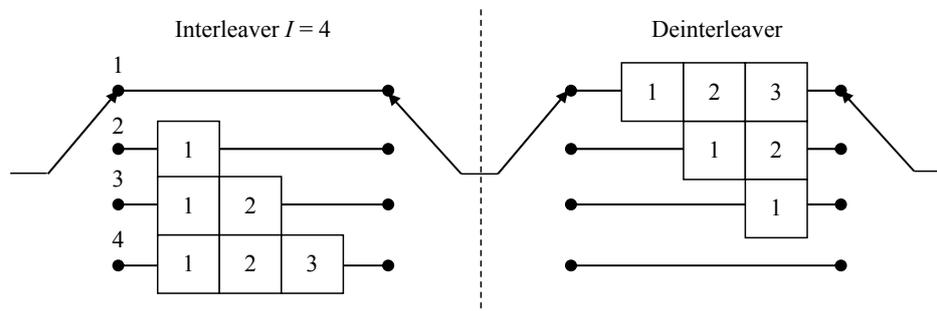


Bild 7.26: Prinzip des Faltungsinterleavers

A1	0	0	0	B1	A2	0	0	C1	B2	A3	0	D1	C2	B3	A4
----	---	---	---	----	----	---	---	----	----	----	---	----	----	----	----

0	D2	C3	B4	0	0	D3	C4	0	0	0	0
---	----	----	----	---	---	----	----	---	---	---	---

Bild 7.27: Gesendete Folge des Faltungsinterleavers

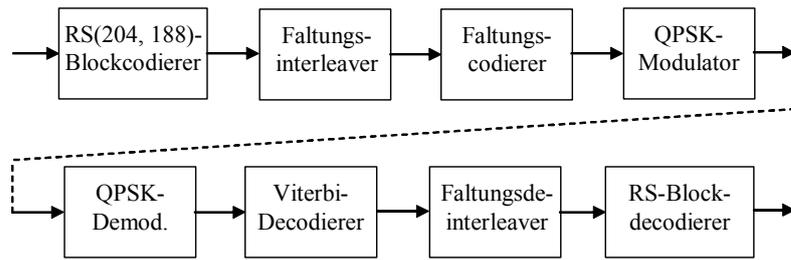


Bild 7.28: Blockschaltbild des DVB-S-Übertragungssystems

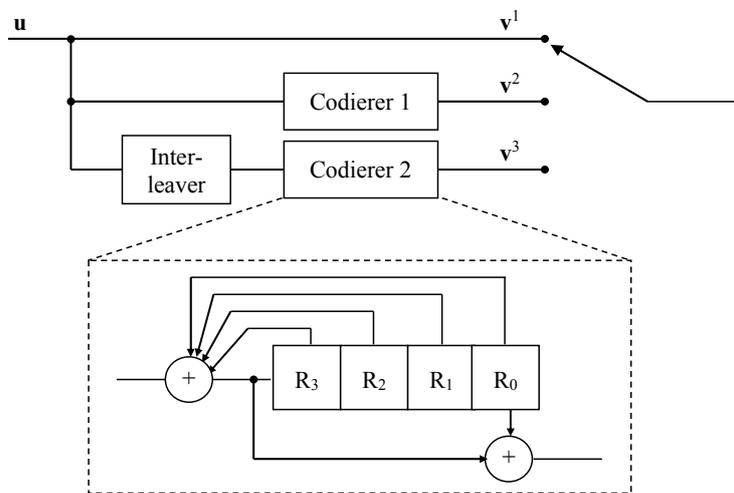


Bild 7.29: Prinzip des Turbocodierers

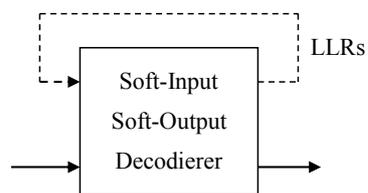


Bild 7.30: Prinzip der iterativen Decodierung

8 Kommunikationsnetze

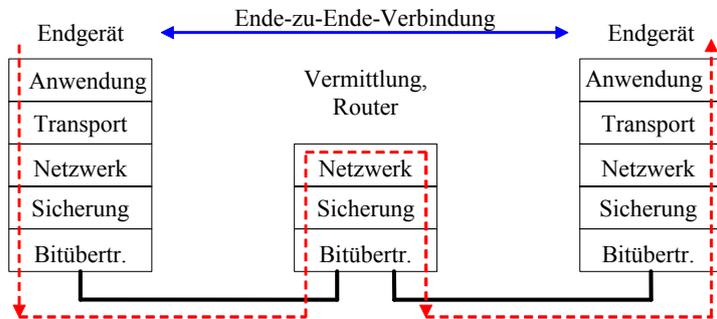
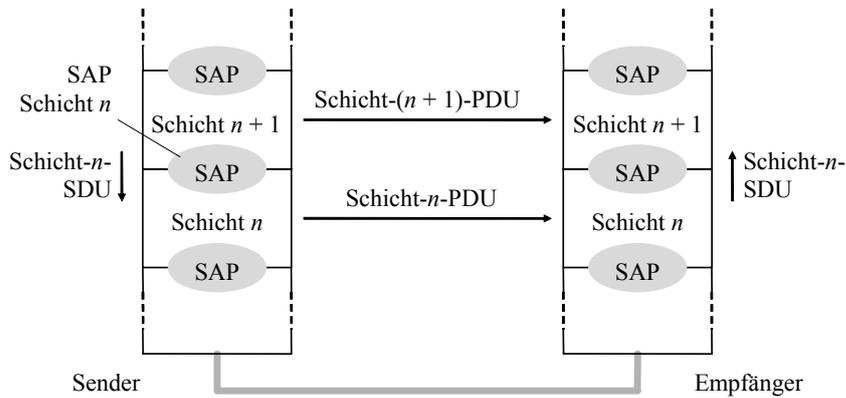


Bild 8.1: Informationsfluss im Schichtenmodell



SAP: Service Access Point
 SDU: Service Data Unit
 PDU: Protocol Data Unit

Bild 8.2: Kommunikation im Protokollreferenzmodell

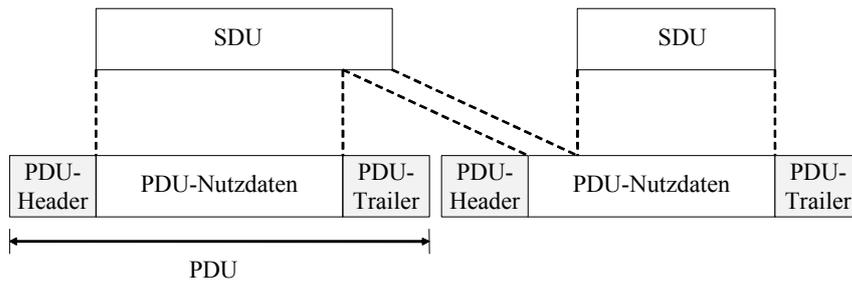


Bild 8.3: Prinzipielle Struktur einer Protocol Data Unit (PDU)

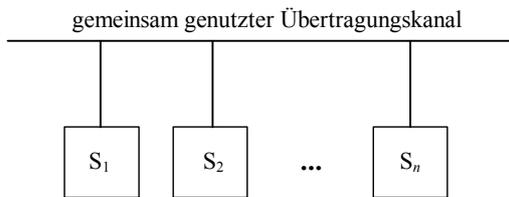


Bild 8.4: Mehrfachzugriff der Sender S_1 bis S_n auf einen gemeinsamen Kanal

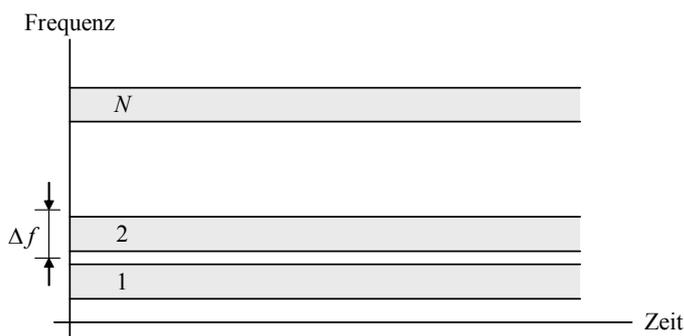


Bild 8.5: FDMA (Frequency-Division Multiple Access)

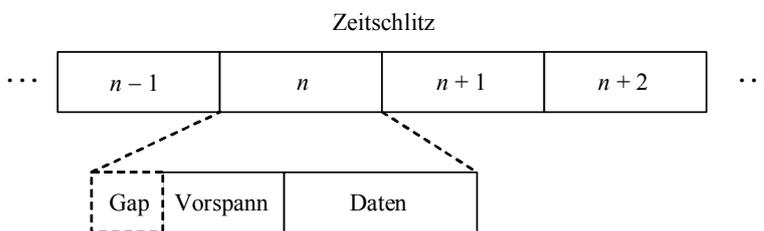


Bild 8.6: TDMA (Time-Division Multiple Access)

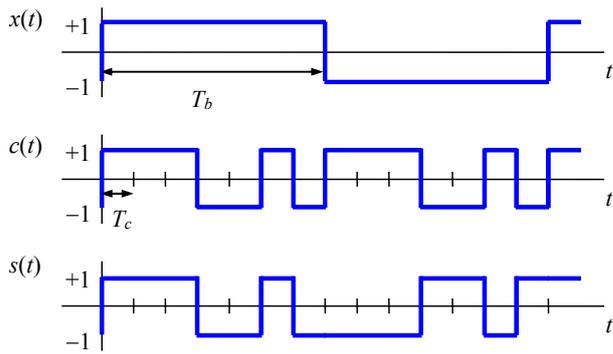


Bild 8.7: Erzeugung eines CDMA-Signals

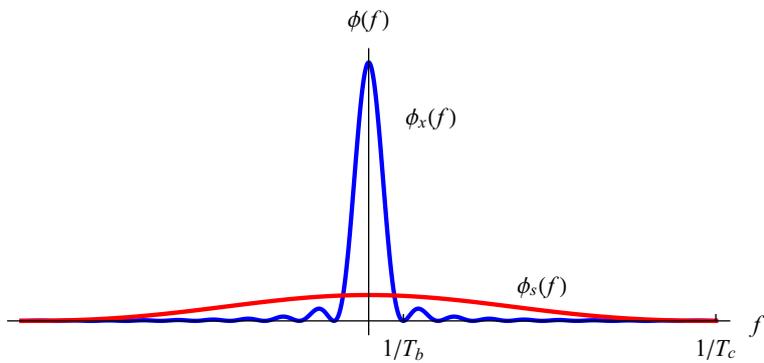


Bild 8.8: Leistungsdichtespektren des ungespreizten Signals $x(t)$ und des gespreizten Signals $s(t)$

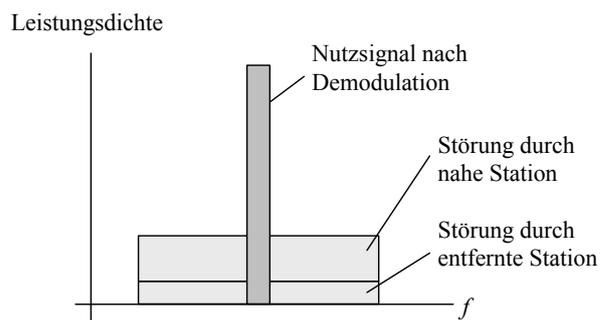


Bild 8.9: Schematische Darstellung der Leistungsdichten bei CDMA

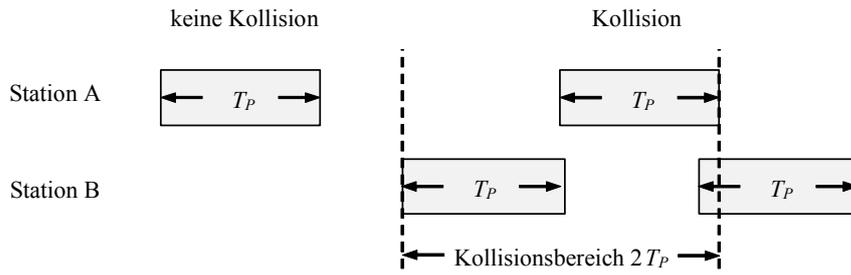


Bild 8.10: Kollisionen bei ALOHA

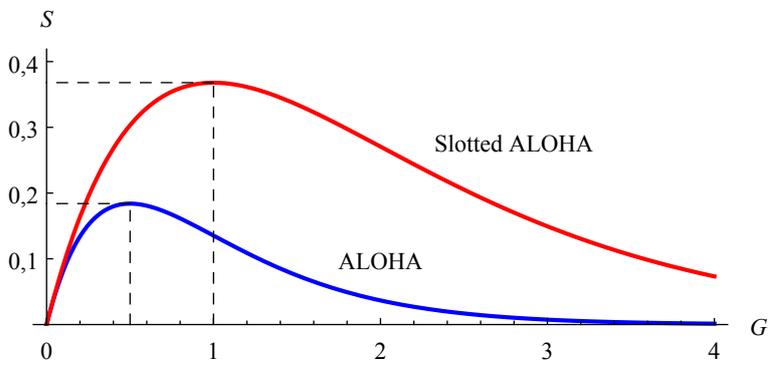


Bild 8.11: Durchsatz für ALOHA und Slotted ALOHA

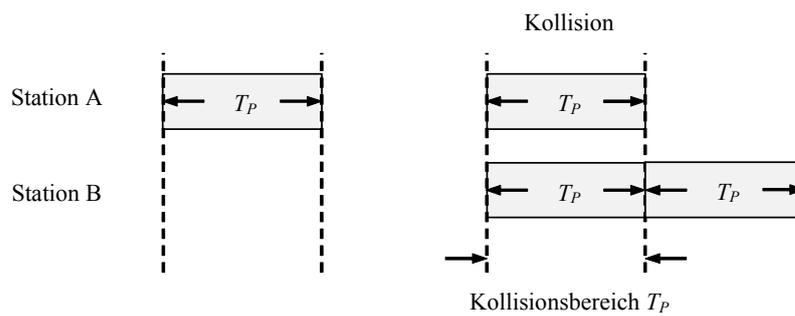


Bild 8.12: Kollisionen bei Slotted ALOHA

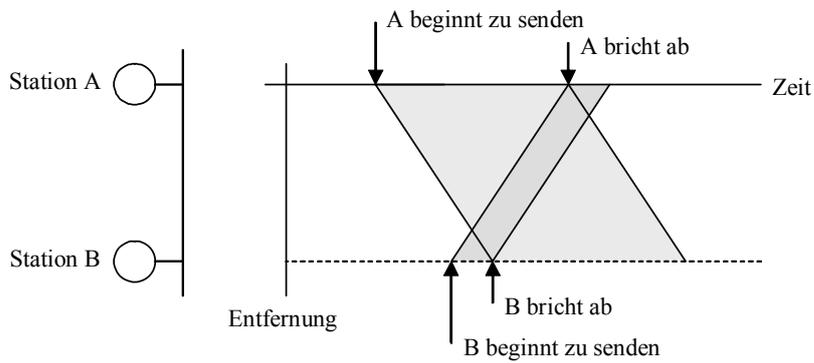


Bild 8.13: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)

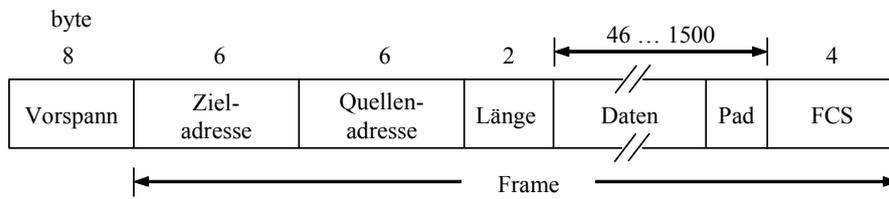


Bild 8.14: Format eines IEEE-802.3-Pakets

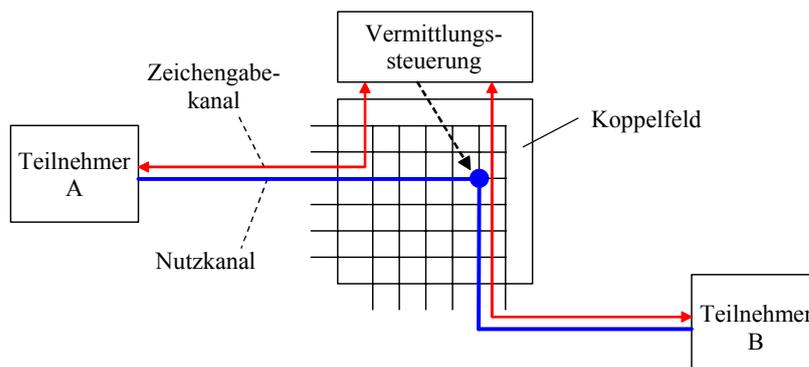


Bild 8.15: Prinzip eines leitungsvermittelten Kommunikationsnetzes

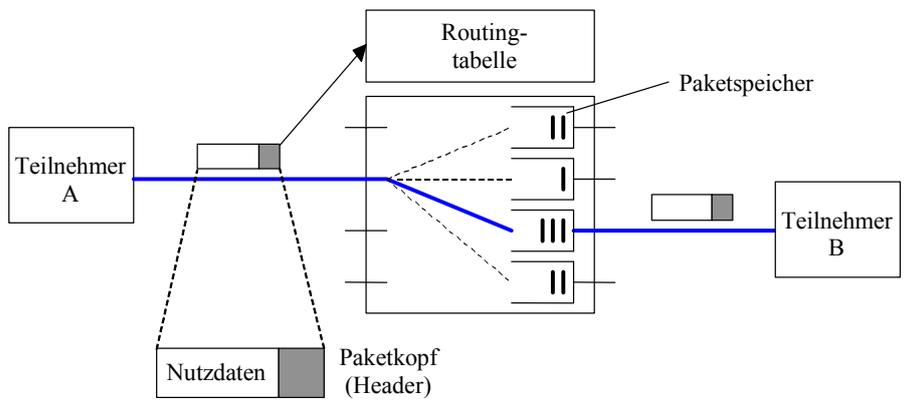


Bild 8.16: Prinzip eines paketvermittelten Kommunikationsnetzes

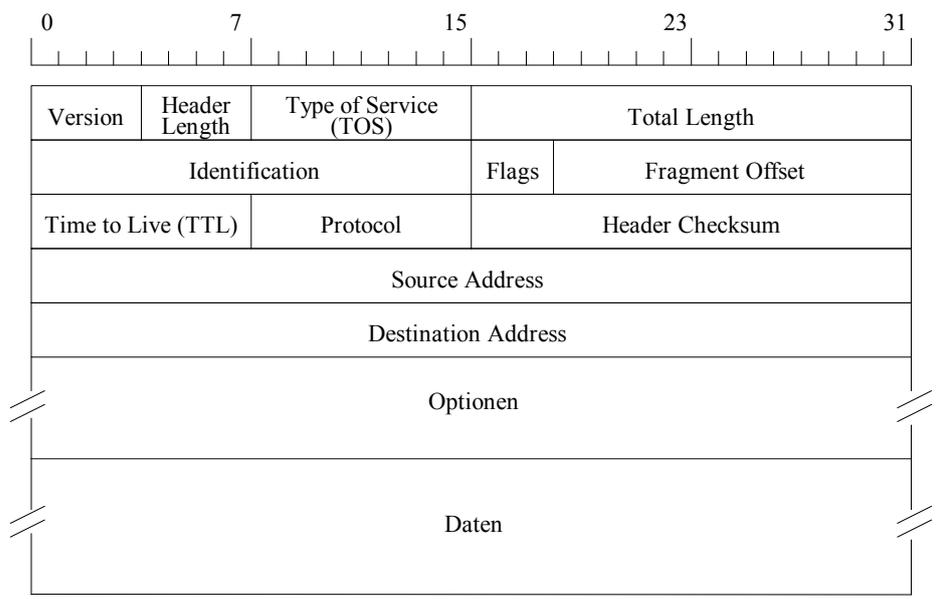


Bild 8.17: Format des IPv4-Pakets

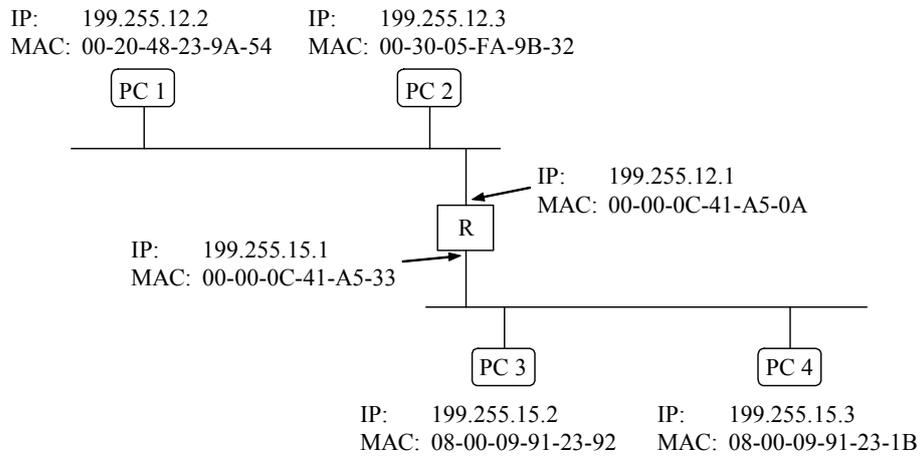


Bild 8.18: Ethernet- und IP-Adressen

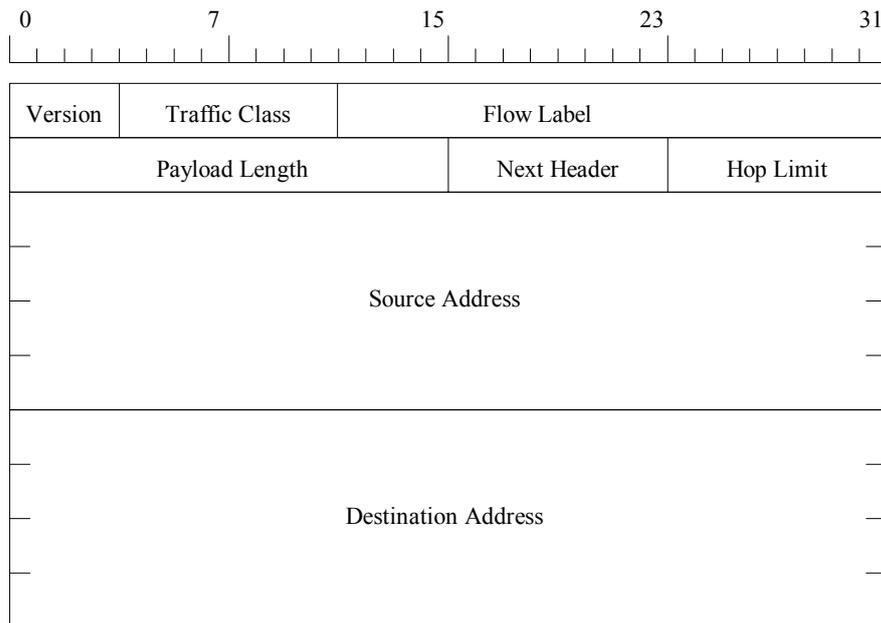


Bild 8.19: Format des IPv6-Headers

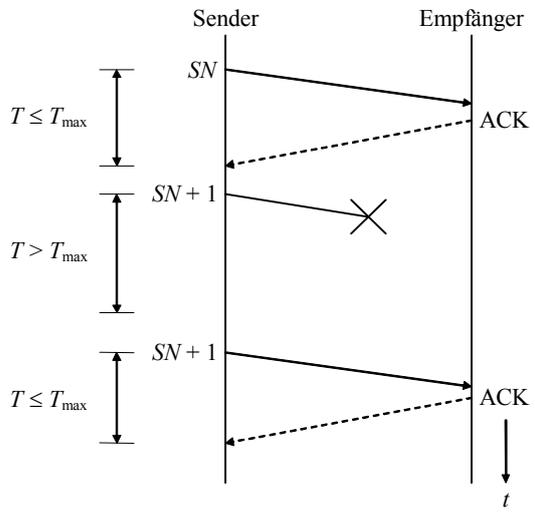


Bild 8.20: Stop-and-Wait ARQ

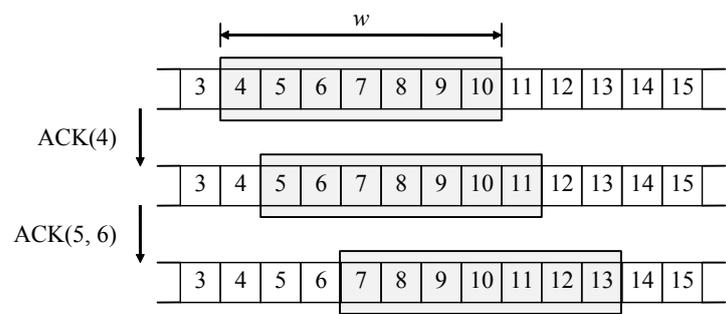


Bild 8.21: Sliding Window

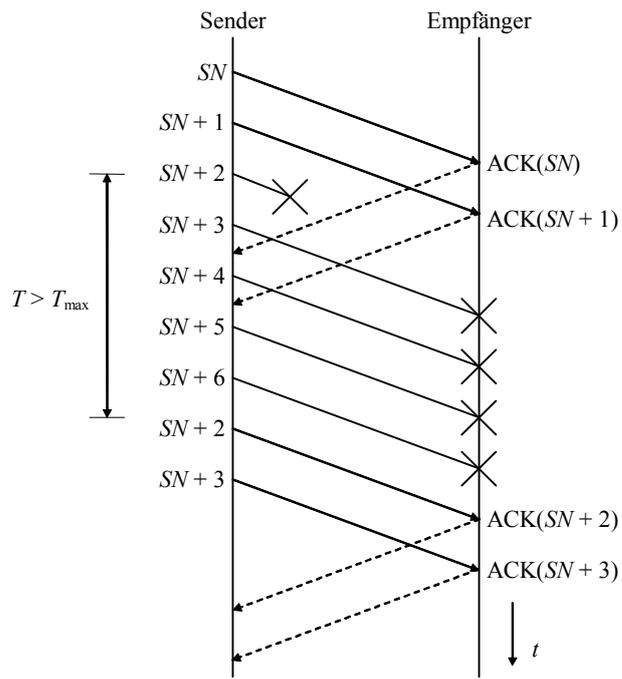


Bild 8.22: Go-Back- n ARQ

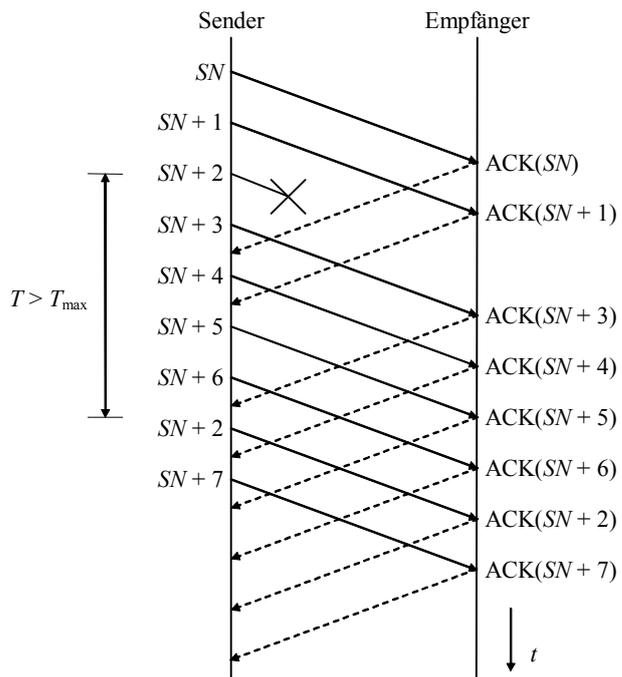


Bild 8.23: Selective Repeat ARQ