

TK 9.1)

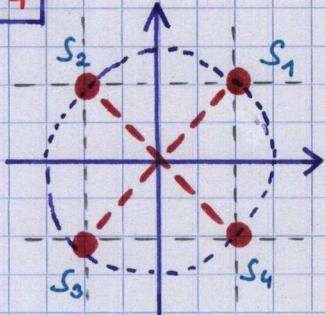
QPSK und OQPSK:

Kann aufgefasst werden als:

[1] 4PSK

[2] 2x BASK oder 4QAM

$M=4$

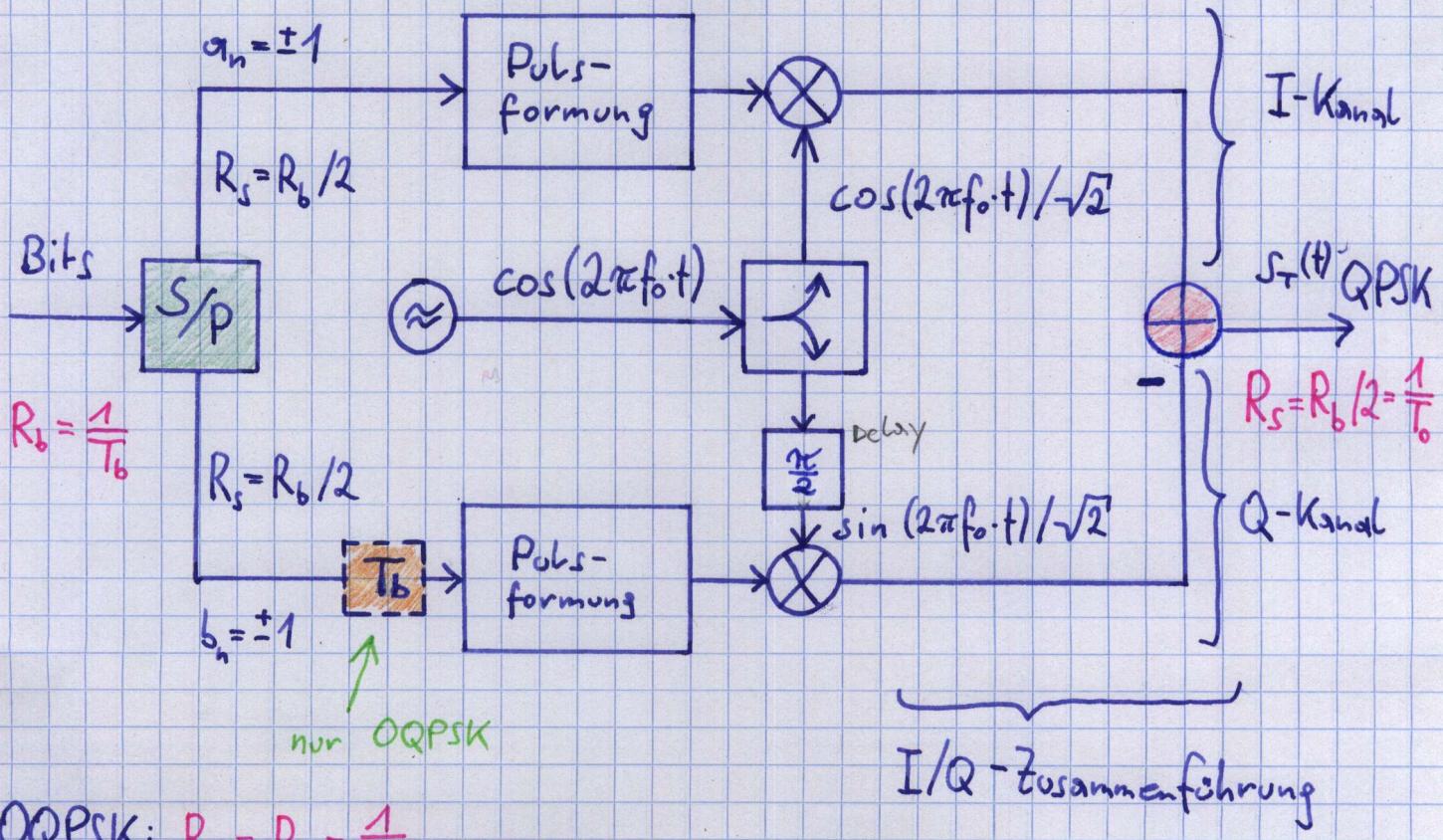


$$s_n = \{s_1, s_2, s_3, s_4\} \in \{+A/\sqrt{2}, -A/\sqrt{2}\}$$

$$s_n \mapsto s_T(t) = A \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t + \varphi_{n,M})$$

$$\varphi_{n,M} = \frac{\pi}{4} \cdot (2n-1) \quad \dots \dots n = 1, 2, 3, 4$$

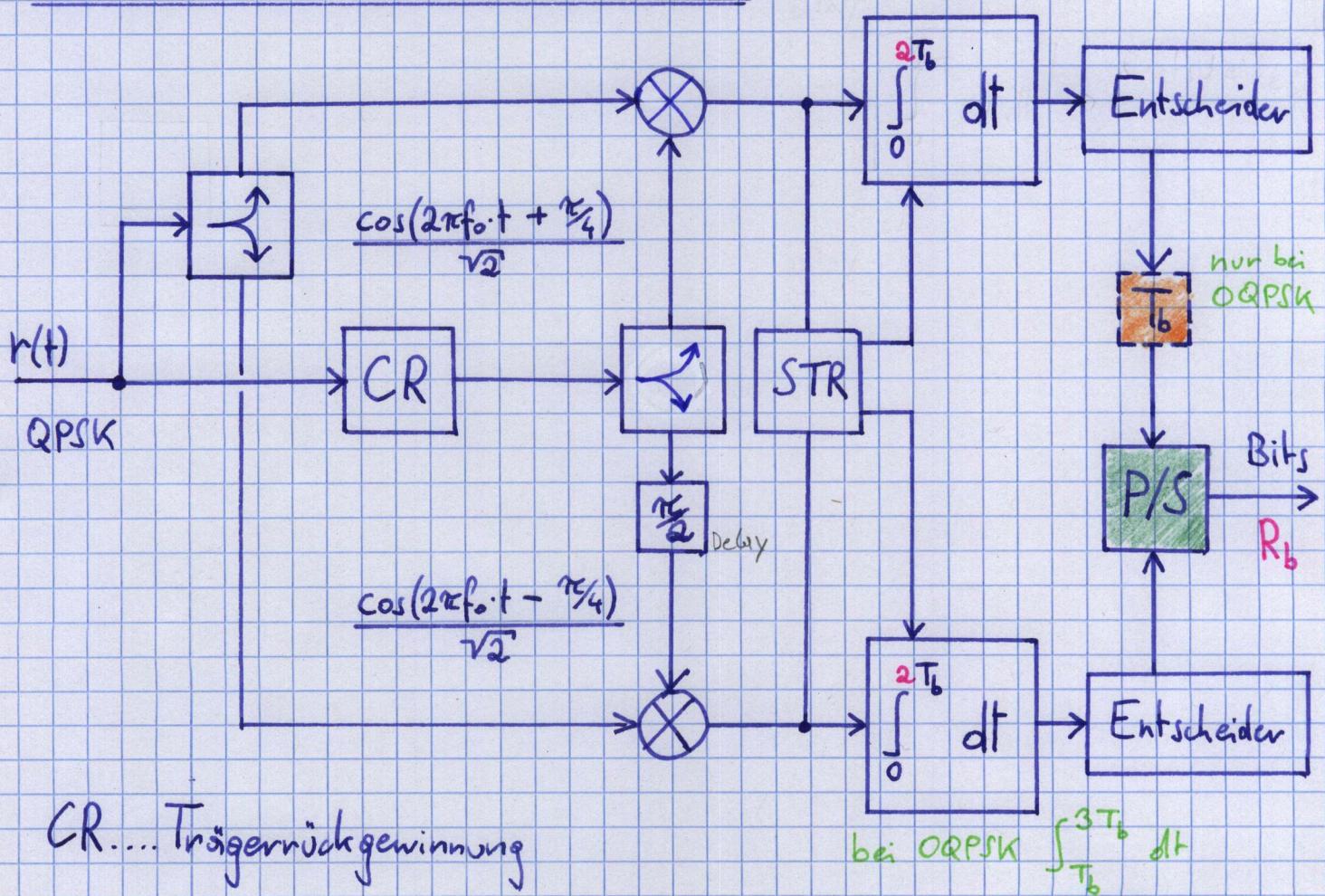
Struktur des QPSK-Modulators:



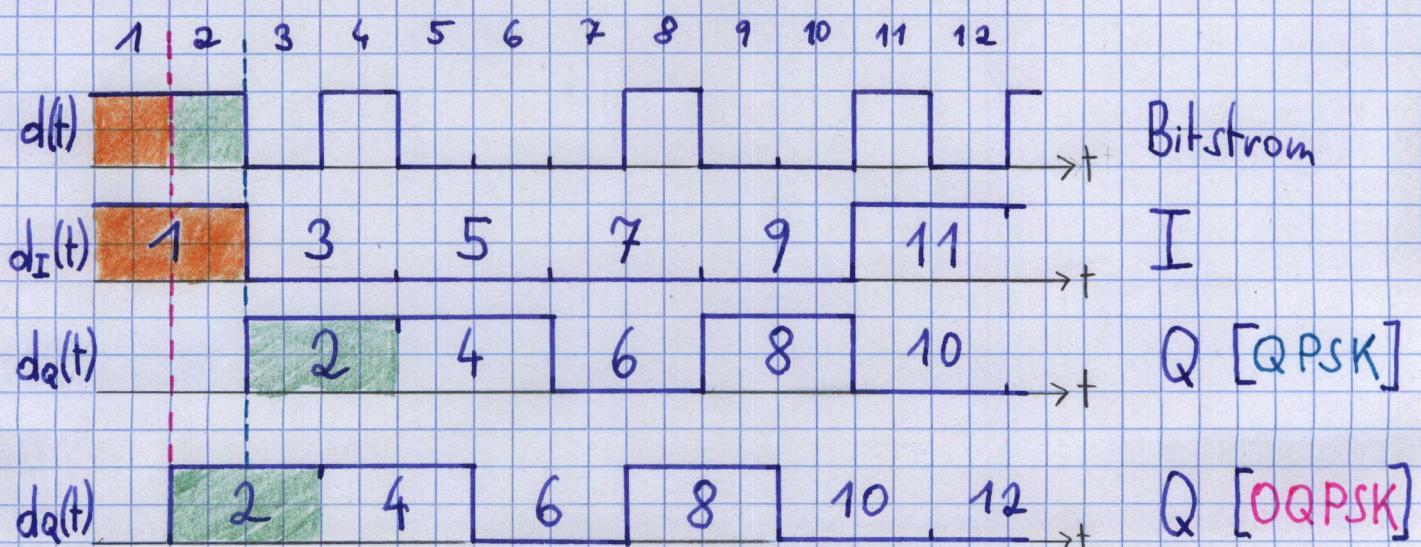
$$\text{OQPSK: } R_s = R_b = \frac{1}{T_b}$$

TK 9.1)

Struktur des QPSK-Demodulators:



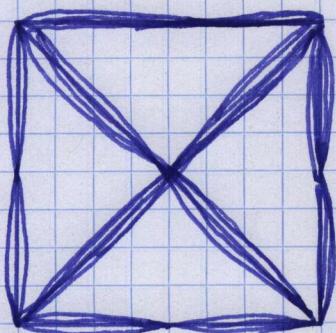
Zeitverläufe: [Ungefiltert, NRZ-Rechteck]



Das Q-Symbol beginnt mit einer fallenden/steigenden Flanke des Q-Bits.

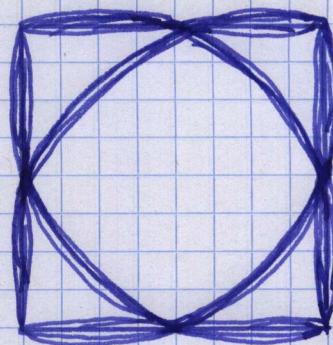
TK 9.1)³

Phasendiagramm:



QPSK

Die 180 Grad Sprünge kosten Bandbreite!



OQPSK

Nur mehr 90 Grad Phasensprünge vorhanden.

Die spektrale Effizienz ist doppelt so hoch als jene von BPSK.

Performance [SEP, BEP]:

Die SEP für QPSK ist schlechter als jene von PRK.

Die Wahrscheinlichkeit eines Symboldfehlers kann durch einen Bitfehler im I-Kanal oder Q-Kanal oder durch beide Kanäle erfolgen.

$$P_e = \underbrace{P_b(1-P_b)}_{I} + \underbrace{(1-P_b)P_b}_{Q} + \underbrace{P_b P_b}_{I+Q} = 2 P_b - P_b^2$$

Die BEP für QPSK ist jedoch gleich jener von PRK.

Die Signale im I und Q-Kanal sind doppelt so lang und haben die halbe Leistung.

$$P_b = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{E[\varepsilon]}{N_0}} \right) \right) \quad \text{mit } E[\varepsilon] = N_0 \cdot T_0 \cdot B \cdot \text{CNR}$$

TK 9.1)

Eigenschaften OQPSK - System:

Ein OQPSK-System besitzt die gleichen Eigenschaften wie ein QPSK-System. [Spektrum, Spektrale Effizienz, BEP, SEP]

Der Unterschied ist das keine 180° -Sprünge in der Phase auftreten. Damit ist die Anforderung an die Linearität der Leistungsverstärker nicht so groß.

Bemerkung: „Problem in nichtlinearen Kanälen“

Die Änderungen der Einhüllenden eines Signals, wenn es über einen nichtlinearen Kanal übertragen wird, verursacht Verzerrungen des Signals. Dies wiederum führt auf eine spektrale Verbreiterung des Signals. Dadurch kommt es zu Nachbarkanalstörungen.

⇒ Besonders unangenehm im Mobilfunk!

TK 91) 5

Leistungsdichtespektrum:

TK 9.2.

Minimum Shift Keying (MSK):

Der Übergang von QPSK auf OQPSK hat gezeigt, dass die Einschränkung von abrupten Phasenübergängen von 180 Grad auf 90 Grad einen schnellen Abfall des Spektrums außerhalb der Übergangsbandbreite gebracht hat.

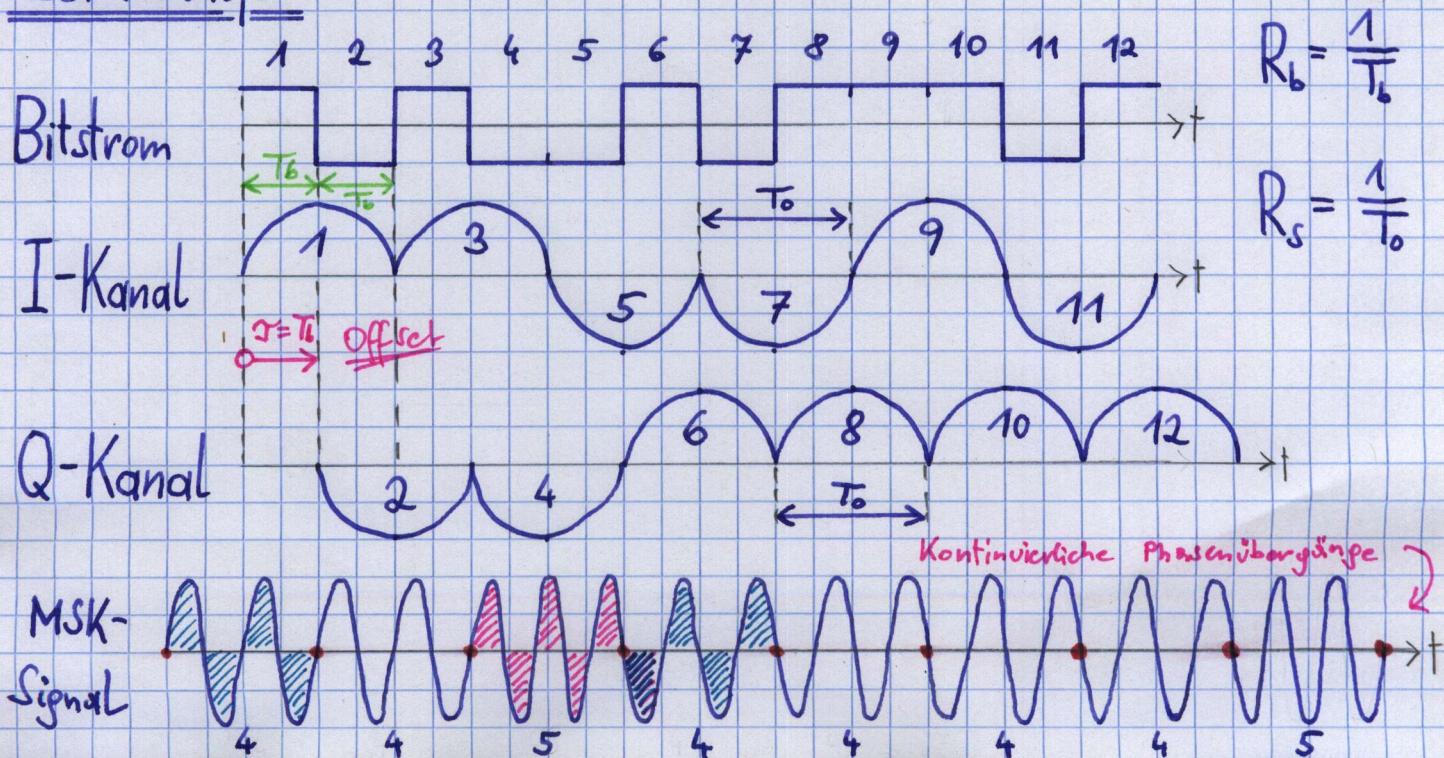
Eine Weiterführung dieser Idee, indem man die abrupten Phasenübergänge kontinuierlich verschleift, führt auf MSK.

D.h. MSK entspricht einem OQPSK - System mit sinusförmigen Phasenübergängen.

Das MSK-Signal zeigt nur kontinuierliche Phasenübergänge.

D.h. MSK gehört zur großen Gruppe der Continuous Phase Modulation [CPM]

Zeitverläufe:



TK 9.2)

MSK kann auf 2 Arten betrachtet werden:

(a) Spezialfall von BFSK:

Continuous Phase Frequency Shift Keying (CPFSK)

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = f_0 + \frac{1}{4T_b} \\ f_2 = f_0 - \frac{1}{4T_b} \end{array} \right\} \text{BFSK in der ersten Nullstelle des } \frac{p}{T_b} \text{-Diagramms.}$$

⇒ Name: Minimum Shift Keying

(b) Weiterentwicklung von OQPSK:

Sinusförmige Symbolgewichte

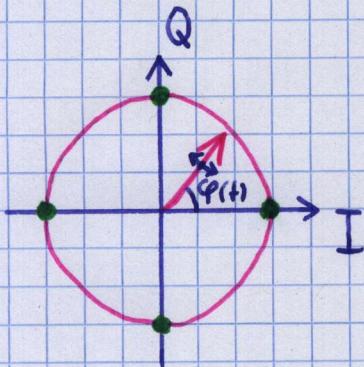
$$s_T(t) = a_n \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{4T_b}\right) \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t) + \} \text{ I-Kanal}$$

$$+ b_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{4T_b}\right) \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \} \text{ Q-Kanal}$$

$\underbrace{}_{\text{I/Q-Kanal-}} \underbrace{}_{\text{Kurvenform}}$ $\underbrace{}_{\text{Träger}}$
 Symbole

TK 9.2)

Phasendiagramm:



Der Zeiger bewegt sich, innerhalb einer Bitdauer, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit von $(\pi/2) / T_b$ rad/s

- Endzustände nach einer Bitdauer

Bemerkung: In MSK geht eine direkte Zuordnung von Bits auf Symbole verloren.

Symboldauer entspricht der Bitdauer, wie bei OQPSK, wegen Versatz um T_b der Q-Symbole.

wenn: $a_n = b_n$ Zeiger rotiert im Uhrzeigersinn

$a_n \neq b_n$ Zeiger rotiert gegen Uhrzeigersinn

BEP:

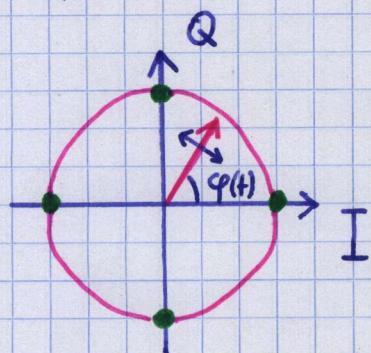
Die BEP ist gleich wie jene für QPSK, da Orthogonalität zwischen I/Q-Kanal herrscht

$$\underline{P_b} = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{E[\epsilon]}{N_0}} \right) \right)$$

TK 9.3)

Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK):

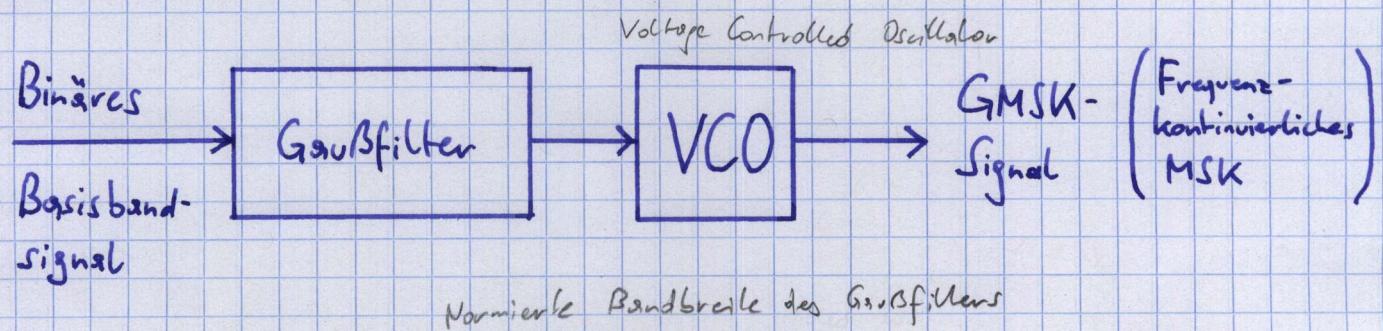
In MSK ist die Phase kontinuierlich, aber die Frequenz (1. Ableitung der Phase) ist diskret. Erzeugt man das MSK direkt aus einem FSK Signal indem man den VCO mit gaußförmigen Impulsen ansteuert, so spricht man von „Gaussian Minimum Shift Keying“.



Der Zeiger bewegt sich, innerhalb einer Bitdauer, nicht mit konstanter Winkelgeschwindigkeit !!

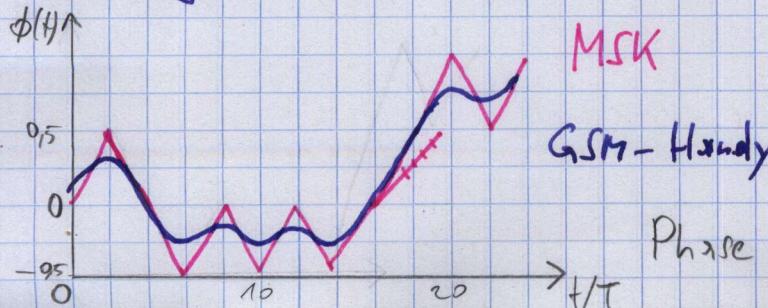
- Endzustände nach einer Bitdauer.

Erzeugung des GMSK-Signals:



Man akzeptiert für ($B_b \cdot T_o \leq 0,5$) die auftretende ISI und damit die Verschlechterung der BEP um eine Verbesserung der spektralen Effizienz zu erreichen.

Anwendung: GSM-Mobilfunk verwendet GMSK-Modulation mit $B_b \cdot T_o = 0,3$



TK 9.4)

Modulationstechniken mit verbesselter Leistungseffizienz:

Manche Kommunikationssysteme müssen in Umgebungen arbeiten, in welcher die Bandbreite nicht die limitierende Größe ist, sondern die Sendeleistung. [Power-Limited]

Ziel: $P_e = \text{const}$, $C \leq C_{\max}$ und $R_b \rightarrow \text{Maximum}$

Lösung:

(1) Entropie vergrößern: $H = \text{ld}(M)$ "Alphabet vergrößern"

Geht nicht: $P_e = \text{const} \mapsto \Delta = \text{const} \Rightarrow C > C_{\max}$

(2) Hinzufügen von zusätzlichen orthogonalen Achsen zum Phasendiagramm:

\Rightarrow Mehrdimensionale Signalisierung

Zusätzliche Einsparung an Signalleistung:

(a) Optimierung des Phasendiagramms [Struktur]

\Rightarrow Symbol Packing

(b) Optimierung der Grenzen des Phasendiagramms

TK 9.4)

Multiple Frequency Shift Keying (MFSK)

MFSK verwendet mehrere Orthogonale FSK-Verbindungen.
Die aktuelle Frequenz wird mit $\text{ld}(M)$ Bits gewählt.

Die M -fache Erhöhung der Datenrate wird durch eine Erhöhung der Symbolbandbreite erkauft.

Annahme: Symbole sind gleichwahrscheinlich und unabhängig voneinander.

$$p/T_0\text{-Diagramm} \rightarrow n = 2(f_2 - f_1)T_0$$

Annahme: Nicht kohärente Detektion. $\Rightarrow n \geq 2$

Spektrum von MFSK:

$$\begin{aligned} \text{Bandbreite } B &= (M-1) \cdot (\Delta f) + \frac{2}{T_0} = (M-1) \cdot \left(\frac{n}{2T_0}\right) + \frac{2}{T_0} = \\ &= \frac{1}{T_0} \left[(M-1) \cdot \frac{n}{2} + 2 \right] \end{aligned}$$

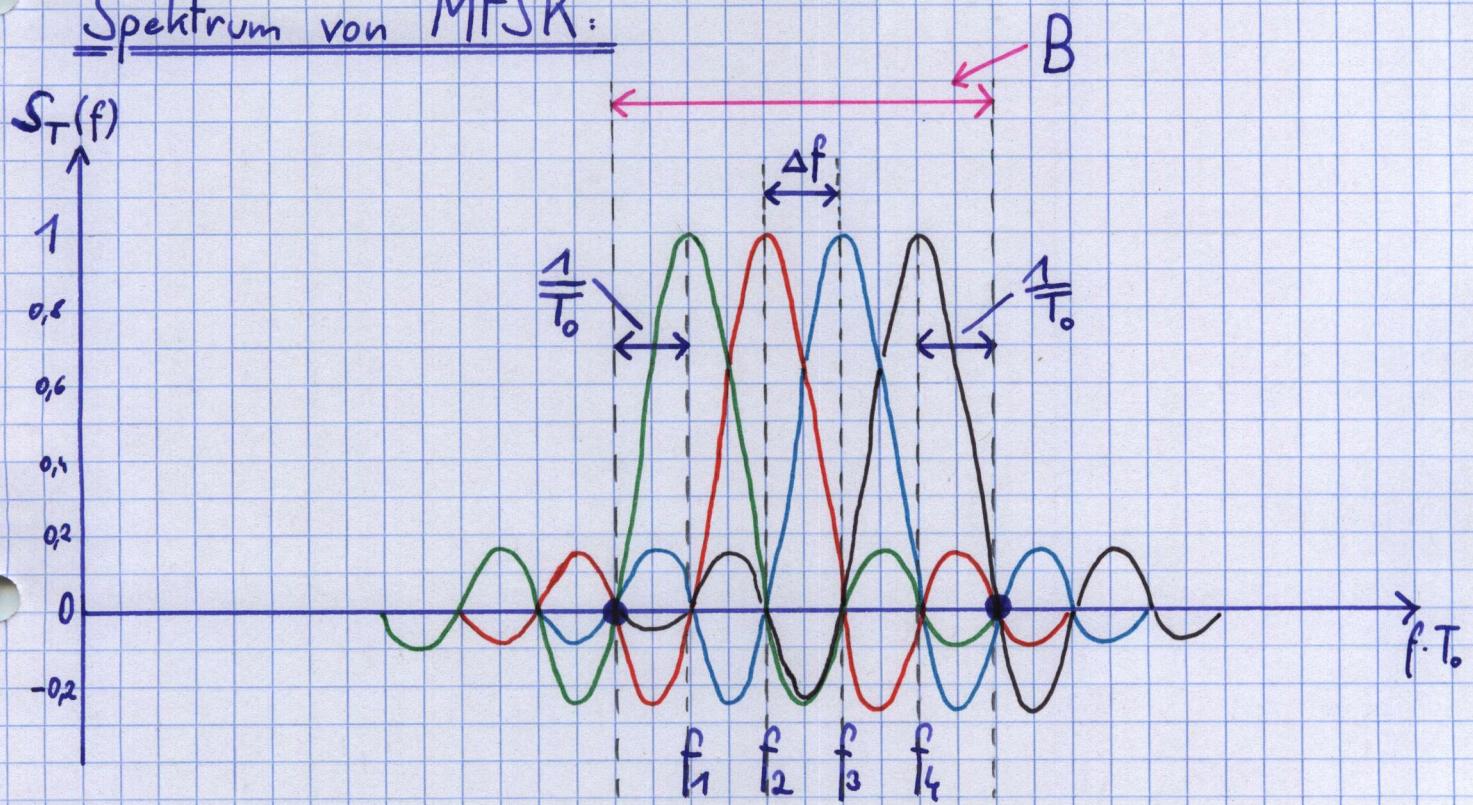
$$\text{Spektrale Effizienz } \eta_s = \frac{R_s \cdot H}{B} = \frac{H}{B \cdot T_0} = \frac{\text{ld}(M)}{\left[(M-1) \cdot \frac{n}{2} + 2\right]} \quad [\text{bit/s/Hz}]$$

\Rightarrow maximale spektrale Effizienz für $n=2$:

$$\boxed{\eta_s = \frac{\text{ld}(M)}{M+1}}$$

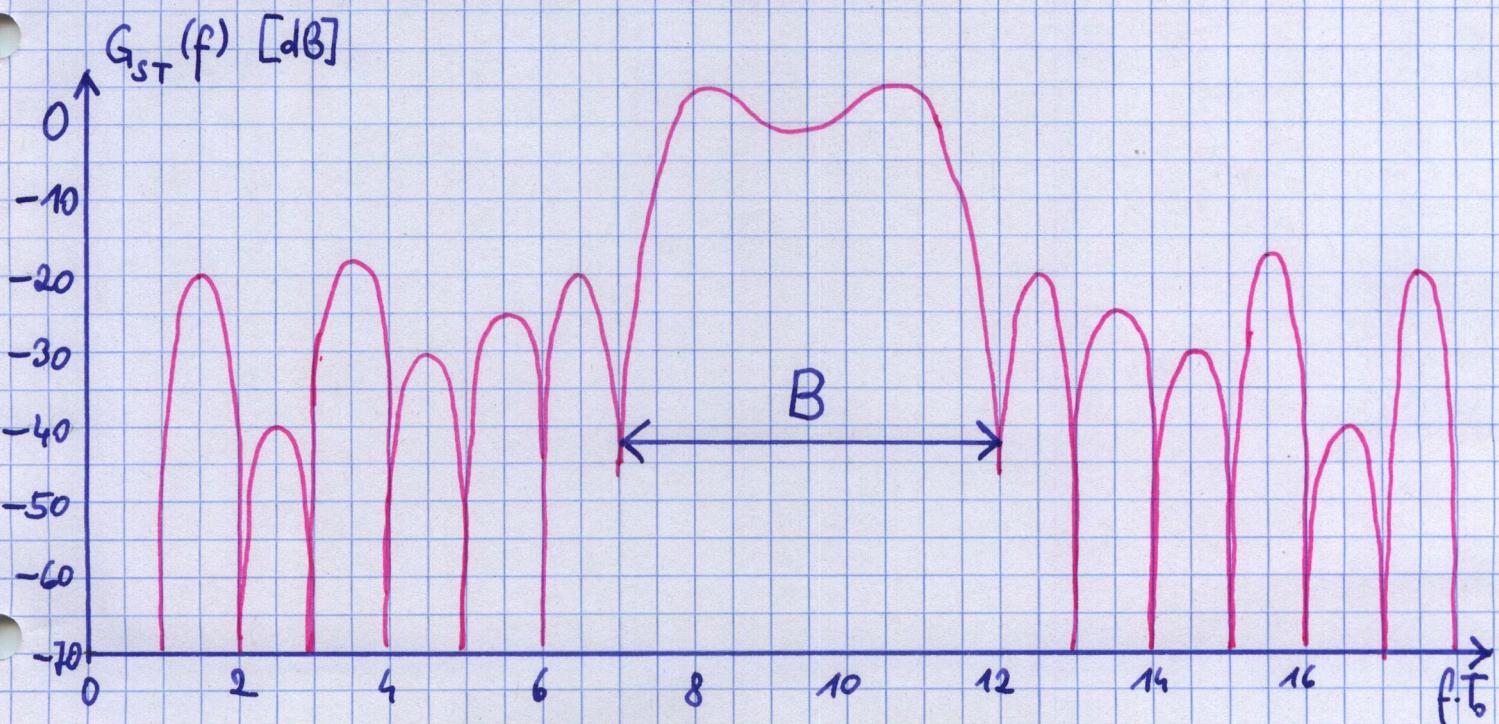
TK 9.4)

Spektrum von MFSK:



$$\underline{B = (M - 1) \cdot \Delta f + \frac{2}{T_0}} \quad \underline{\Delta f = \frac{n}{2T_0}} \quad \text{hier: } \underline{n=2}$$

Leistungsdichtespektrum von MFSK:



IK 9.5).

Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM):

OFDM besteht aus gleichzeitig aktiven FSK-Verbindungen, welche orthogonal zueinander sind.

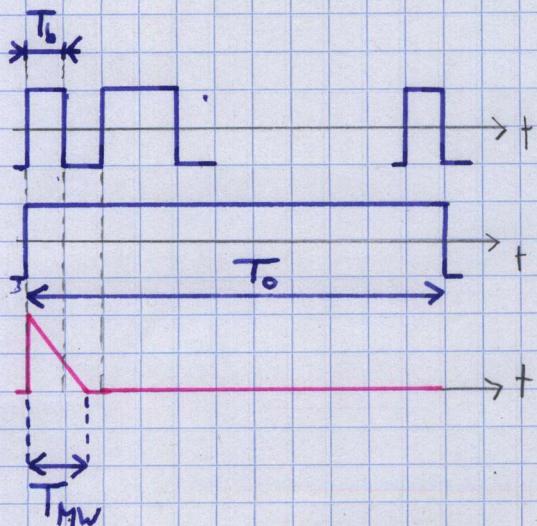
→ Teilt einen Bitstrom hoher Datenrate auf mehrere parallele (M) Bitströme geringer Datenrate auf, welche jeweils FSK moduliert werden. ⇒ MFSK

OFDM ersetzt ein breitbandiges Signal mit k gleichzeitig aktiven schmalbandigen FDM-Signalen. (k liegt zwischen 1000 und 8000)

Durch die Lange Symboldauer ist OFDM weniger anfällig gegen Mehrwegegestörung.

Die k schmalbandigen FDM-Signale können jeder für sich noch codiert werden.

⇒ **C**OFDM (**Coded** OFDM)



Informationssignal

OFDM-Signal [1 Kanal]

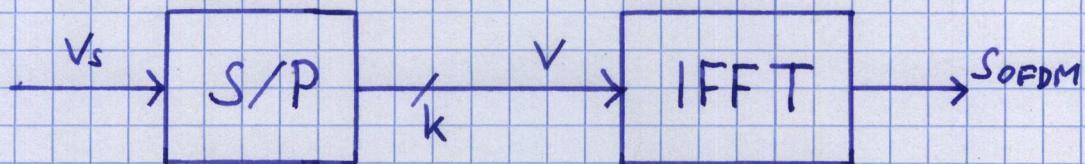
Mehrwegeprofil

$T_{MW} \ll T_0 \dots$ Keine Entzerrung notwendig

TK 9.5)

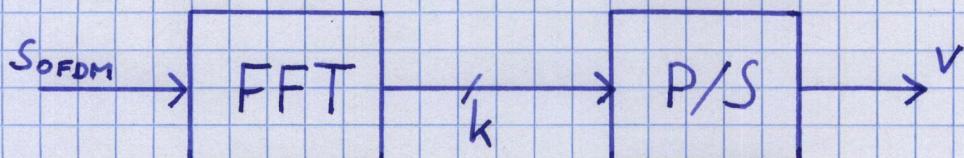
Diskrete Erzeugung des OFDM-Signals:

$$s_{\text{OFDM}} = \mathcal{F}^{-1}\{v\} = \text{IFFT}\{v\}$$



Demodulation des OFDM-Signals:

$$v = \mathcal{F}\{s_{\text{OFDM}}\} = \text{FFT}\{s_{\text{OFDM}}\}$$



Weitere Erhöhung des Datendurchsatzes:

Jeder der k Subträger wird mit einem höherwertigen Modulationsverfahren moduliert: QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Einsatz von OFDM:

- a) Audio- und Videoanwendung: DAB
- b) Wireless LAN
- c) ADSL, IEEE 802.16