

OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplex)

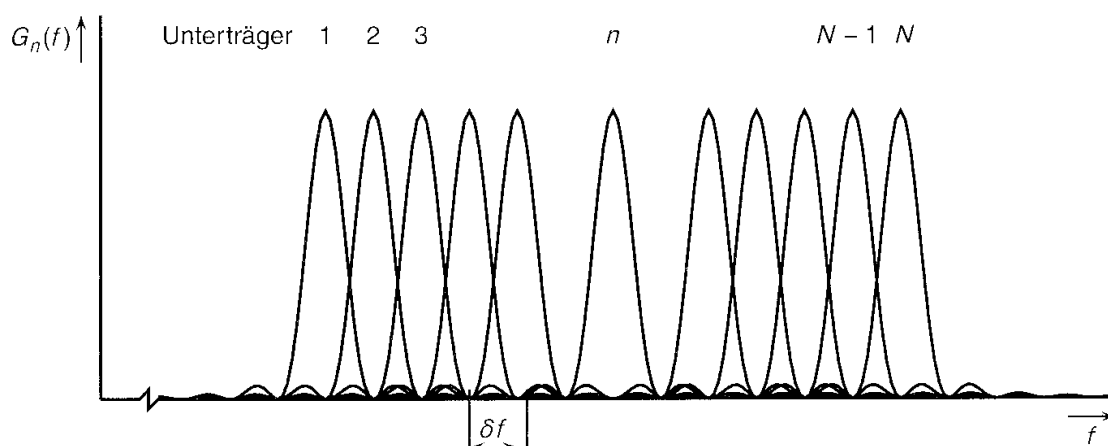
Inhalt:

Was ist OFDM?	1
Frequenzbereich	1
Betragsspektrum	2
Anordnung von Symbol und Schutzabstand	2
Anforderungen von OFDM	3
Blockschaltbild	3
COFDM	4
DVB-T	5

Was ist OFDM?

OFDM wird angewendet, wenn man bei geringen Bandbreiten hohe Datenraten übertragen möchte. OFDM verwendet mehrere parallele unabhängige Unterträger (Unterkanäle). Dadurch können die Daten parallel mit geringerer Datenrate, als bei seriellen Verfahren, übertragen werden und sind daher unempfindlicher gegenüber Störungen.

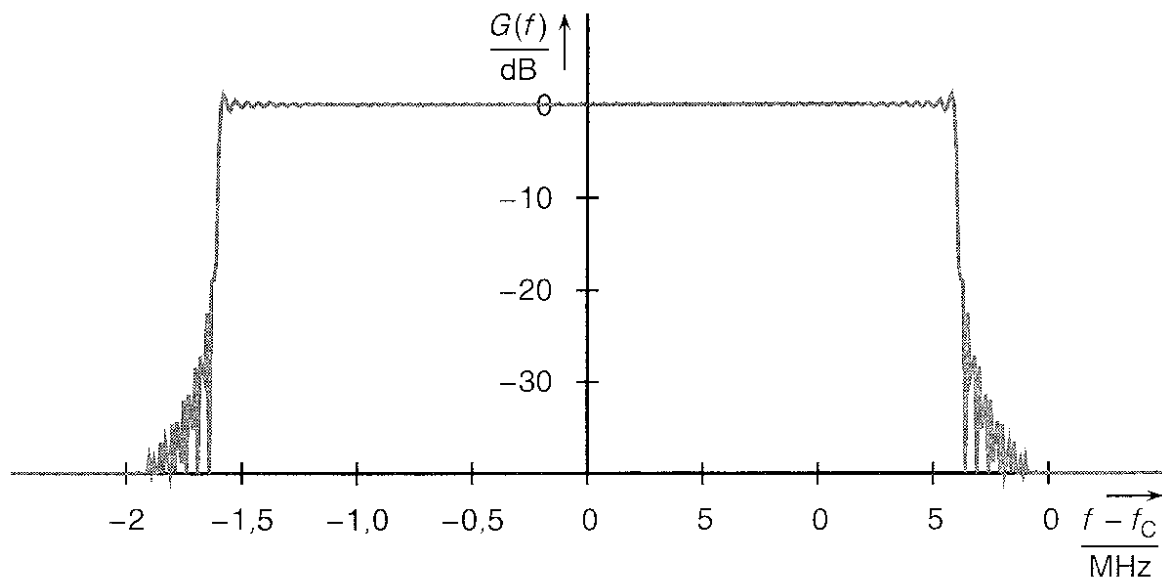
Frequenzbereich



OFDM optimiert die Ausnutzung der Bandbreite, indem der Abstand der Unterträger so gewählt ist, dass diese sich überlappen. Damit sie sich nicht gegenseitig stören, wurde der Abstand der Center-Frequenzen so gewählt, dass sie orthogonal zueinander sind.

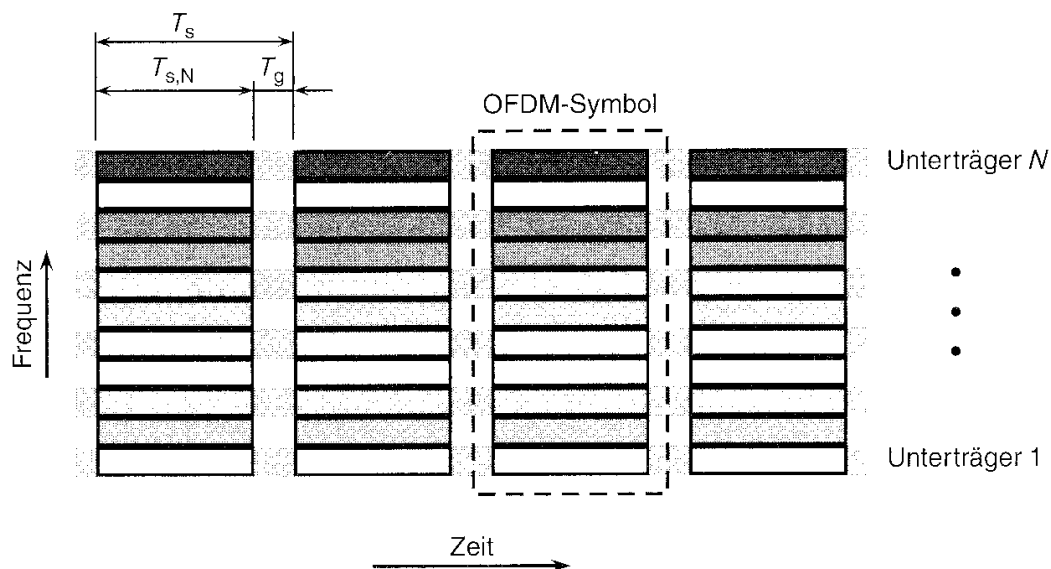
$$\delta f = 1/T \text{ s}$$

Betragsspektrum von N = 128 Unterträgern (Symboldauer 40 μ s)



Hierbei ist zu erkennen, dass an den Bandgrenzen eine - unerwünschte - Überhöhung des Spektrums auftritt. Dies kann dadurch verringert werden, dass die ausersten Unterträger nicht verwendet werden.

Anordnung von Symbolen und Schutzintervallen



$T_s = T_{s,N} + T_g$
 T_s ...Symboldauer
 $T_{s,N}$...Nutzdauer
 T_g ...Schutzabstand

Anforderungen von OFDM

Das theoretische Konzept des OFDM ist seit Ende der sechziger Jahre bekannt (Chang 1970). Die praktische Umsetzung war dagegen lange Zeit nicht möglich, da folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

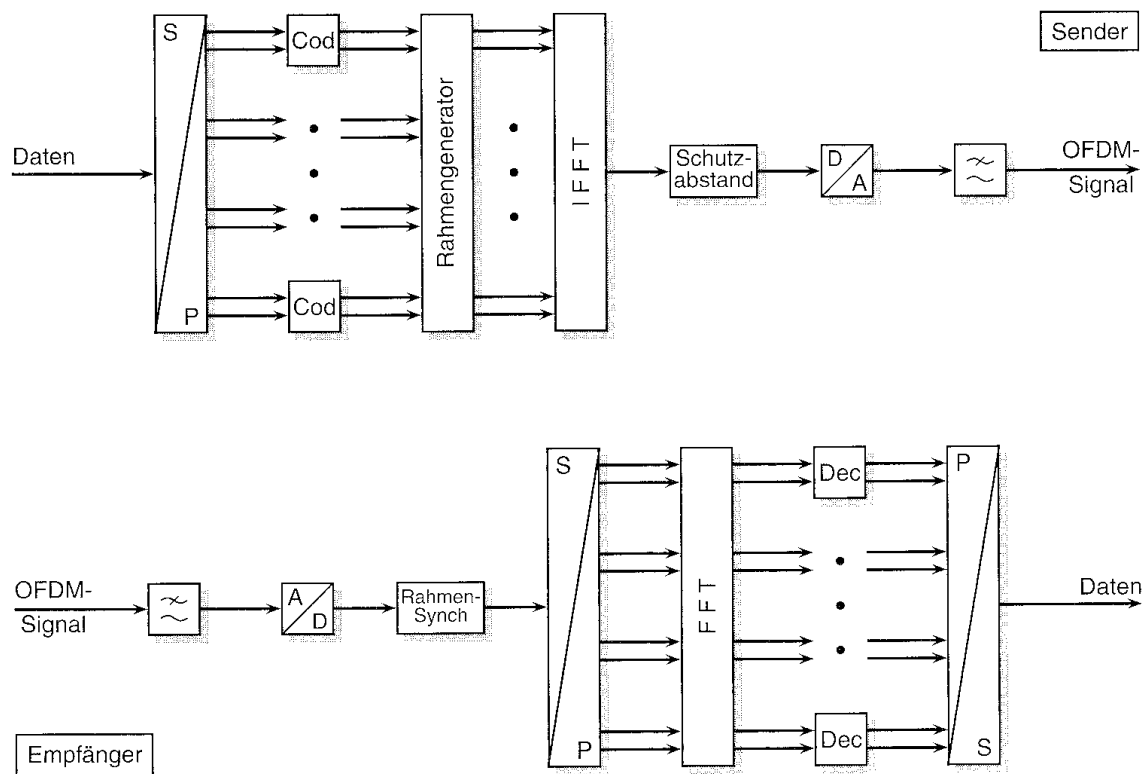
- sehr gute Synchronisierung von Sender und Empfänger (erst in den 90er Jahren umsetzbar)

- vernachlässigbare Mehrwegeausbreitung (Schutzintervalle)

- hochwertige analoge Komponenten (Neben der hohen Stabilität der Oszillatoren in Sender und Empfänger sind hier insbesondere die Senderverstärker zu erwähnen)

Außerdem erfordert die Signalverarbeitung in Sender und Empfänger hohe Rechenleistungen, die - insbesondere für den Einsatz in Massenprodukten - früher nicht zur Verfügung standen.

Blockschaltbild



Sender:

Die in serieller Form vorliegenden Daten werden über einen Seriell-Parallel-Wandler (S/P) den Encodern zur Verfügung gestellt, die entsprechend dem verwendeten Modulationsverfahren die Umwandlung (Mapping) in die komplexe Ebene durchführen. Im anschließenden Rahmengenerator wird die Rahmenstruktur erzeugt. Nach der Berechnung der IFFT wird ein Schutzintervall definierter Dauer eingefügt und das D/A-gewandelte Signal über einen Tiefpass zum Übertragungskanal gegeben.

Empfänger:

Der OFDM-Empfänger stellt in wesentlichen Punkten eine »Umkehrung« des Senders dar. In dem gefilterten und A/D gewandelten Empfangssignal wird zuerst die Rahmensynchronisation (Frame Synch) hergestellt. Nach der Seriell-Parallel-Wandlung (S/P) und der Berechnung der FFT wird in der komplexen Ebene die Symbolentscheidung durchgeführt. Mit der abschließenden Parallel-Seriell-Wandlung steht wiederum ein serieller Datenstrom bereit, der im Idealfall identisch mit dem ursprünglichen Datenstrom ist.

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)

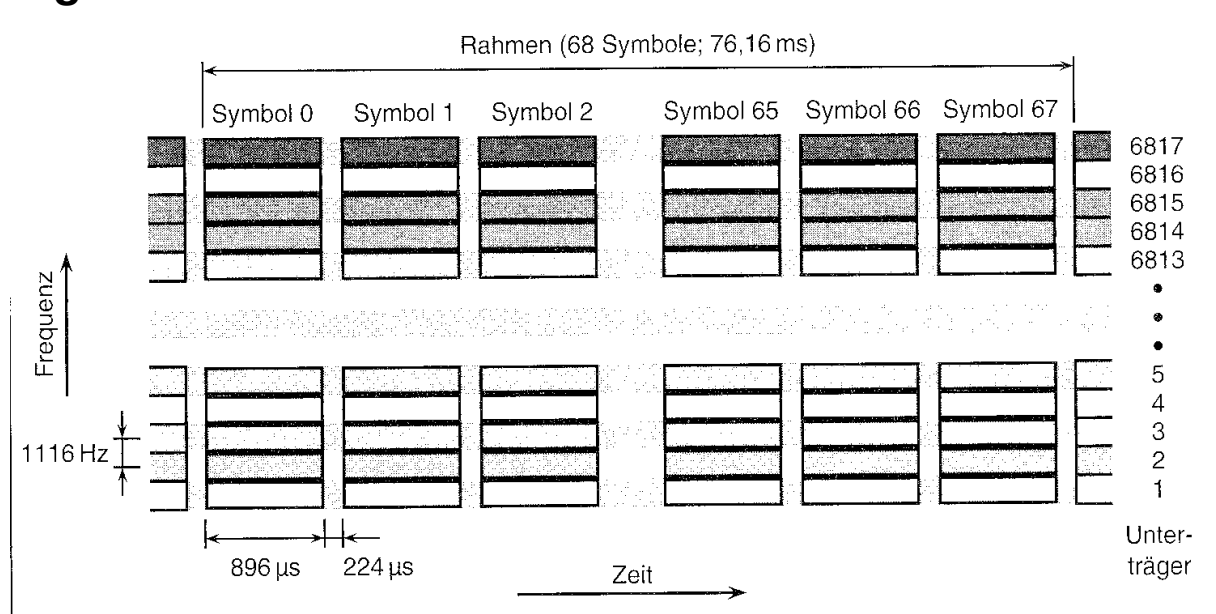
COFDM ist ein Verfahren zur Übertragung hoher Datenraten über sehr ungünstige Kanäle bei einer vertretbaren Komplexität (und entsprechendem Aufwand) von Sender und Empfänger.

Werden durch einen frequenzselektiven (schmalbandigen) Störer oder durch Mehrwegeausbreitung ein oder mehrere Unterträger gestört, so führt dies bei OFDM unweigerlich zum Verlust der entsprechenden Daten ->Einsatz von geeigneten Methoden der Kanalcodierung unterdrückt werden.

$$\text{Symbolfehlerhäufigkeit} = \frac{\text{Anzahl der Fehler}}{\text{Anzahl der Unterträger}}$$

Voraussetzung ist - entsprechend COFDM -, dass von jedem Sender zu jedem Zeitpunkt das gleiche Signal (die gleichen Daten) ausgestrahlt werden. Das bedeutet, dass die Sender sowohl hinsichtlich der Zeit als auch hinsichtlich der Frequenz synchronisiert sein müssen. Eine Möglichkeit für die Umsetzung dieser Forderung in der Praxis ist die Verwendung von GPS. Da bei Verletzung der zeitlichen Synchronität die Funktionsfähigkeit des gesamten Netzes gefährdet ist, ist hier eine sorgfältige Überwachung erforderlich.

COFDM-Rahmenstruktur beim terrestrischen digitalen Fernsehen DVB-T

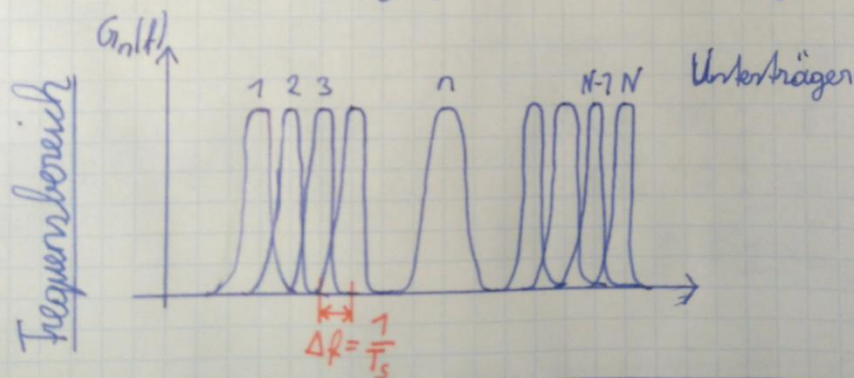


Als eine Anwendung von COFDM wird hier das terrestrische digitale Fernsehen DVB-T vorgestellt:

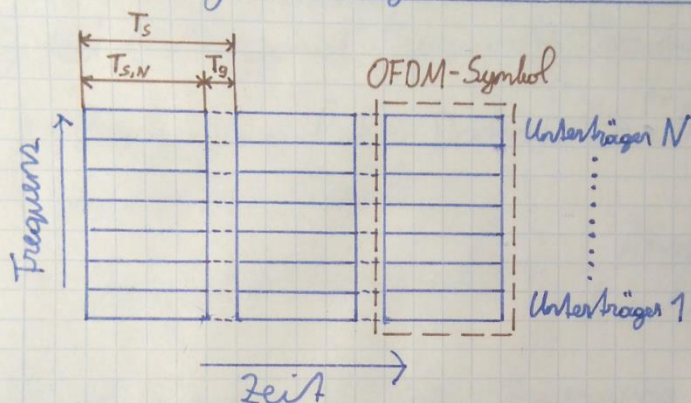
In dem »8k-Modus« besteht ein Rahmen aus 68 Symbolen. Ein Symbol weist eine Nutzdauer von 896 µs bei einem Schutzabstand von 224 µs ($T_s/4$) auf - die Symboldauer beträgt somit insgesamt 1,12 ms. Bei insgesamt 6817 Unterträgern (Modulationsverfahren 16-QAPSK) ergibt sich eine Anzahl von 27268 Bits (Anzahl der Unterträger mal 4 weil $2^4=16$) je OFDM-Symbol. Die Brutto-Bitrate beträgt somit 21,56 Mbit/s. Aus dem gegenseitigen Abstand der Unterträger von jeweils 1116 Hz ($1/T_s \cdot N$) resultiert eine gesamte Bandbreite von ca. 7,61 MHz (Anzahl der Unterträger mal Abstand der Unterträger).

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

- wird verwendet wenn man bei geringen Bandbreiten hohe Datenraten übertragen möchte
- mehrere parallele unabhängige Unterträger
- Unempfindlich gegenüber Störungen



Anordnung von Symbolen und Schutzintervallen



$$T_s = T_{s,N} + T_g$$

T_s ... Symboldauer

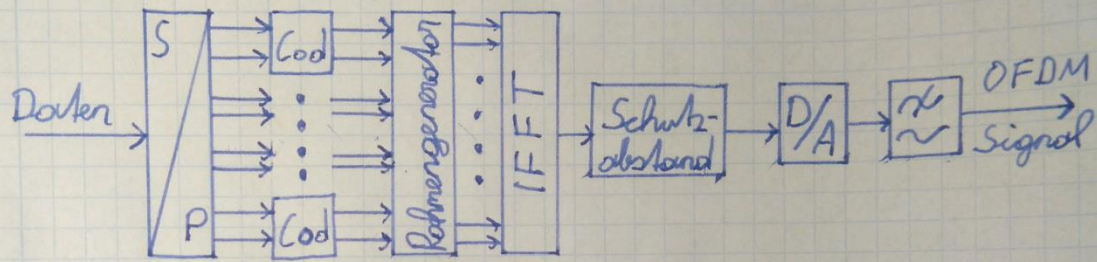
$T_{s,N}$... Nutzdauer

T_g ... Schutzintervall

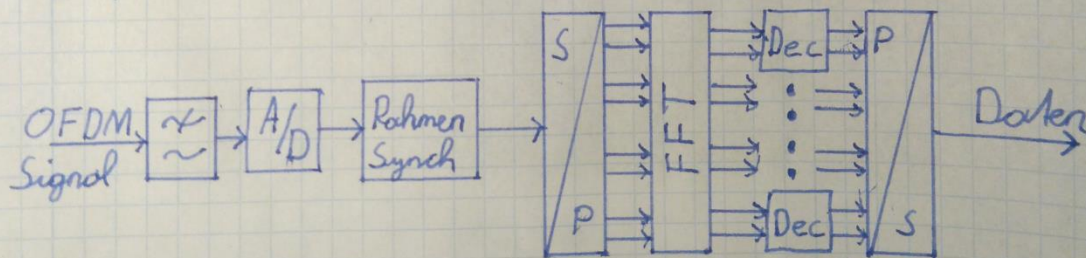
Anforderung von OFDM

- sehr gute Synchronisierung von Sender und Empfänger
- vernachlässigbare Mehrwegausbreitung
- hochwertige analoge Komponenten

Sender



Empfänger



COFDM

(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)

- Übertragung hoher Datenraten über sehr ungünstige Kanäle
- Symboolfehlerhäufigkeit = $\frac{\text{Anzahl der Fehler}}{\text{Anzahl der Unterträger}}$

Formeln für eine COFDM-Anwendung

$$\text{Frequenzabstand } \Delta f = \frac{1}{\text{Nutzdauer } T_{s,N}}$$

$$\text{Bandbreite} = \Delta f \cdot (\text{A.d. Unterträger} - 1)$$

$$\text{Bruttoletrate} = \frac{\text{Bitt pro COFDM Signal}}{\text{Symboldauer } T_s}$$

$$\text{Abstand der Sender} = \text{Lichtgeschwindigkeit} \cdot \text{Schutzabstand}$$