



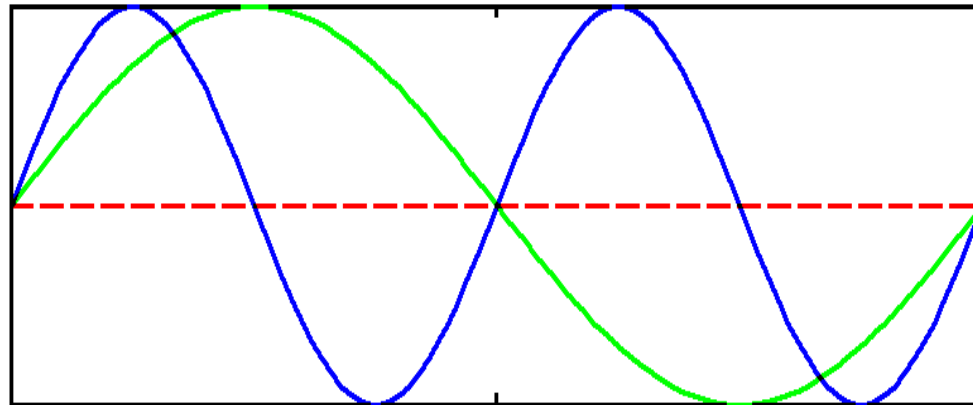
Technischer Extrakt



Auszug aus der Präsentation CIFDM Technikdetails CIFDM für Fachkreise

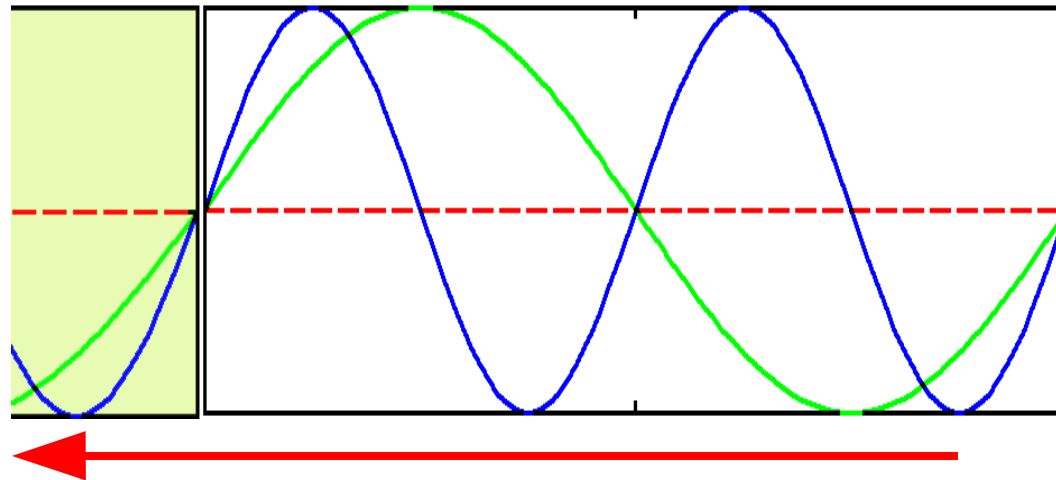
von Oliver Bartels
Bartels System GmbH

Im folgenden verwendete graphische Darstellung eines invers fouriertransformierten Blocks:



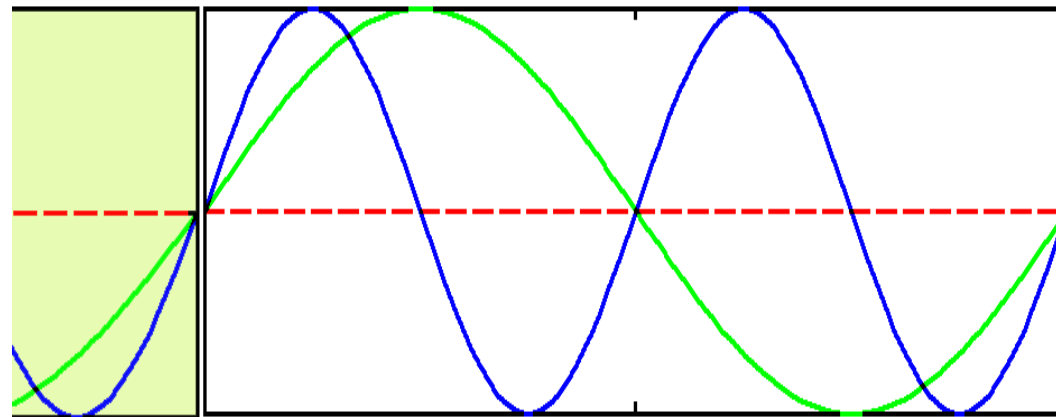
Harmonische werden skaliert (DC: verschoben) und vor dem Senden aufaddiert.

Der Cyclic Prefix, Phasenlage:



Wiederholung der letzten Abtastwerte am Anfang

Nutzwirkung des Cyclic Prefix:

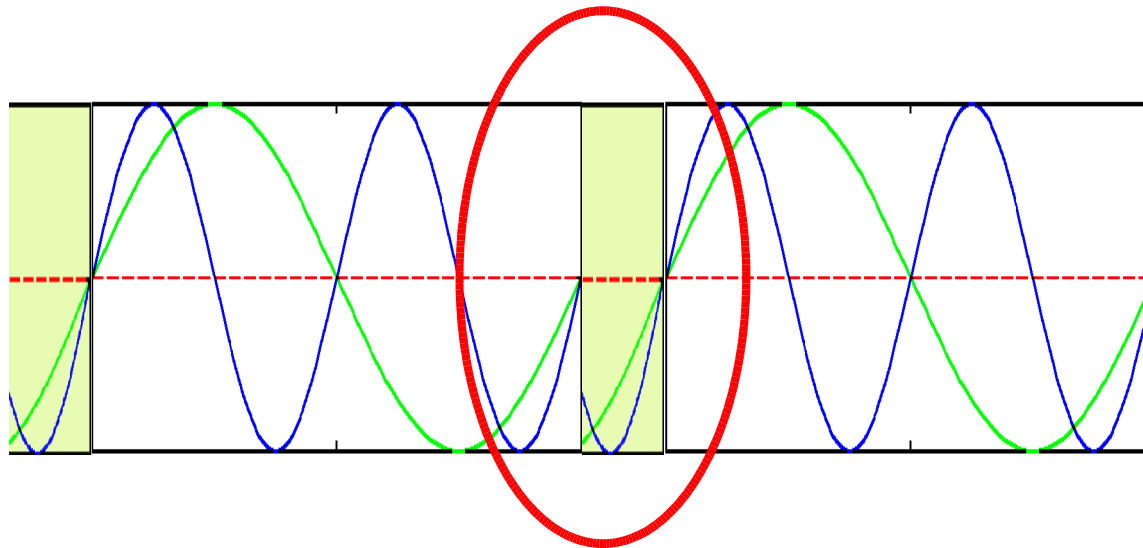


Empfangspfad 1 : direkt

Empfangspfad 2 : verzögerte Reflexion

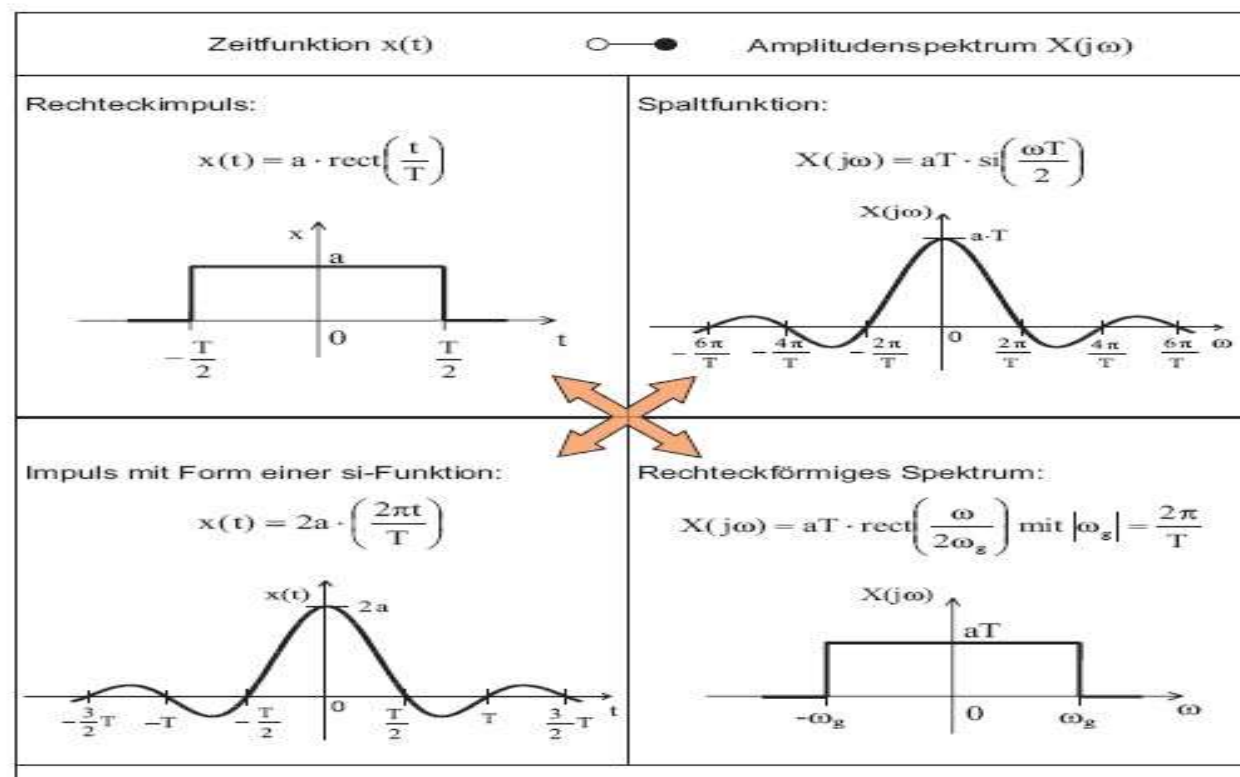
Vorteil: Trotz Multipath vollständige Daten, Nutzung Faltungssatz

Problemkind Guard Intervall:



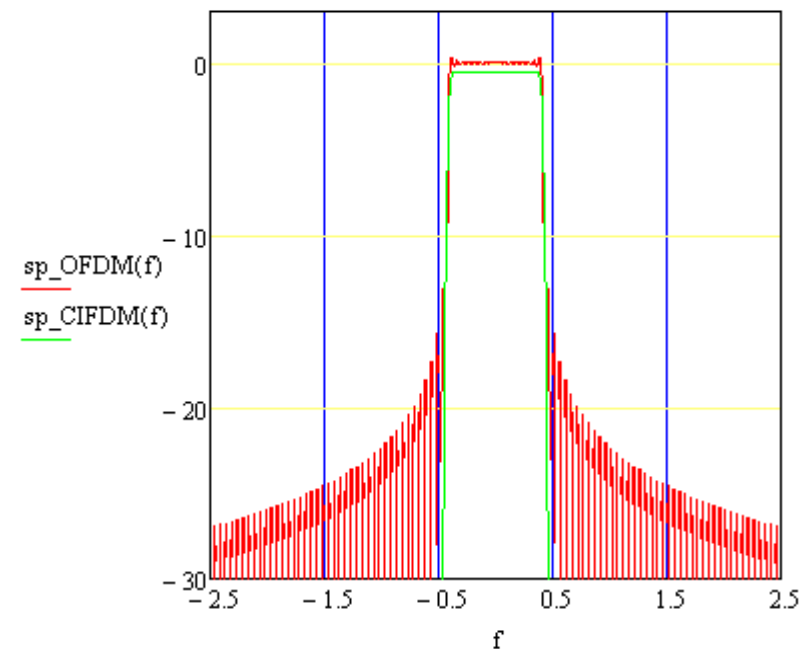
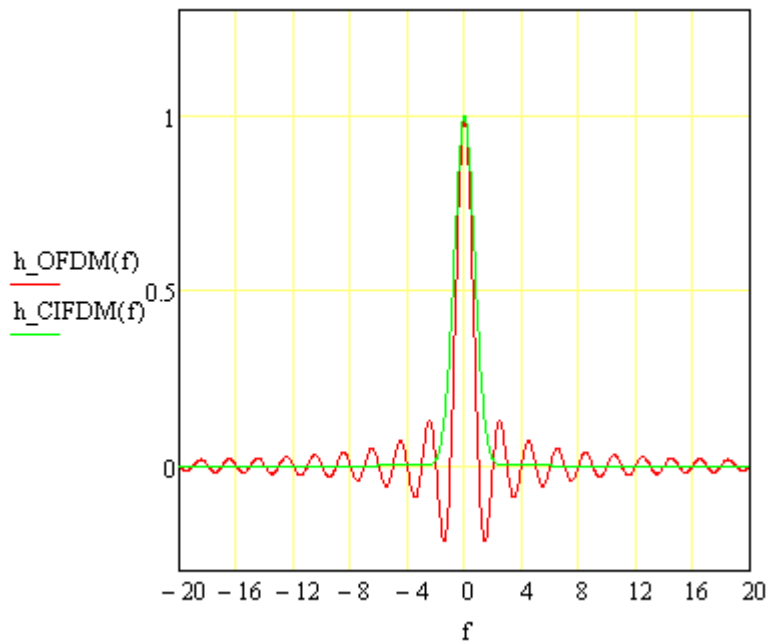
OFDM Problem: Harter Übergang zwischen zwei Symbolen!
Hohes Störpotential bei hoher Symbolrate (interaktive Nutzung)
oder: Absenken der Leistung per Fenster, heißt verlängerter
Cyclic Prefix => reduzierte spektrale Effizienz!

OFDM nutzt ein quasi rechteckiges Filter in der Zeitdarstellung, daraus resultiert ein sinc Filter in der Frequenzdarstellung:

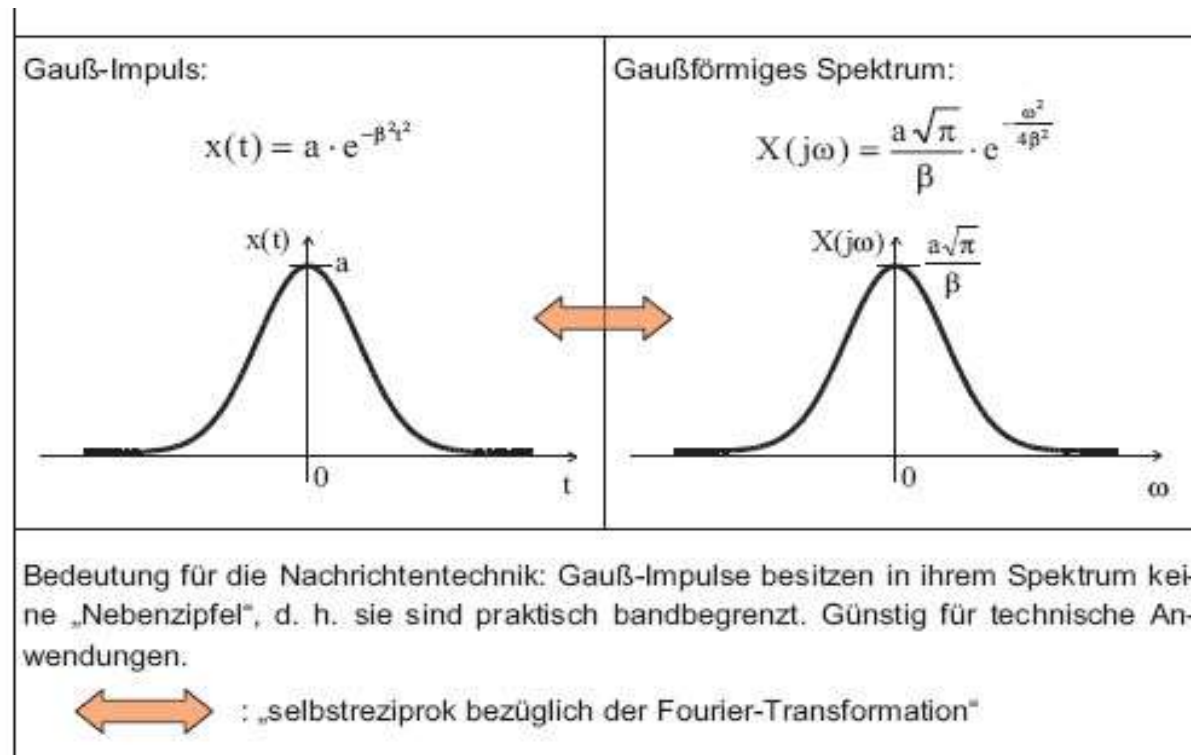


Auszug aus:
Neubert,
Nachrichtentechnik.

OFDM erzeugt daher inhärent Seitenbänder und hat nur eine geringe Frequenzselektivität pro Unterträger, es ist kein klassisches Matched Filter System (S/N)!



Im Vergleich dazu Gauss-Pulse als Eigenfunktion der Fouriertransformation:



Auszug aus:
Neubert,
Nachrichtentechnik.

Wichtig: Die Symboldauer!

DVB-T: Nicht interaktive Broadcast-Anwendung, diese kann mit großer Symboldauer leben. Dadurch viele Unterträger und geringer Effizienzverlust durch das Guard Intervall, steile Flanken an den Bandgrenzen.

Daten, Breitband-Internet: Diese Anwendungen benötigen aufgrund der Interaktivität eine kurze Symboldauer, es entstehen signifikante Aussendungen außerhalb des Funkkanals. Fensterung bedeutet längeres Guard Intervall und kann nie wirklich gut sein (Orthogonalität). Kein Problem im Mikrowellenbereich, freie Zwischenkanäle.

Aber: LTE im UHF Band ?

Zusammenfassung:

- + heutzutage einfache und pragmatische Lösung
- + Orthogonaltransformation, hohe Spektraleffizienz
(nur bei großer Symboldauer!)
- + Multipath wird im Kern erfasst
- + Ideal für Broadcast (Gleichwellenfunk)
- + Gut geeignet für Mikrowelle
- Schlecht bei frequenzselektiven Störern
- kein Matched Filter System (S/N!)
- Phasensprung birgt hohes Störpotenzial bei interaktiven
Anwendungen (häufig, kurze Symbole), verschwendet
Bandkapazität

- OFDM wird interaktiv sehr gerne im Mikrowellenbereich in lizenzfreien Bändern genutzt, da hier ohnehin keine Störfreiheit garantiert ist und der geringe Aufwand sich in niedrigen Gerätepreisen niederschlägt.
- OFDM wird mit großer Symboldauer (1ms) für DVB-T Broadcast und DAB genutzt.
- OFDM findet Nutzung als ADSL/DMT auf non-shared Media (TAL), hier zeigt sich aber beim Übersprechen die mangelhafte Frequenzselektivität.
- *OFDM wird bisher nicht im UHF Bereich mit engen Kanälen und harten Anforderungen an Nebenaussendungen verwendet! LTE ist Neuland.*

Der zweite Ansatz:

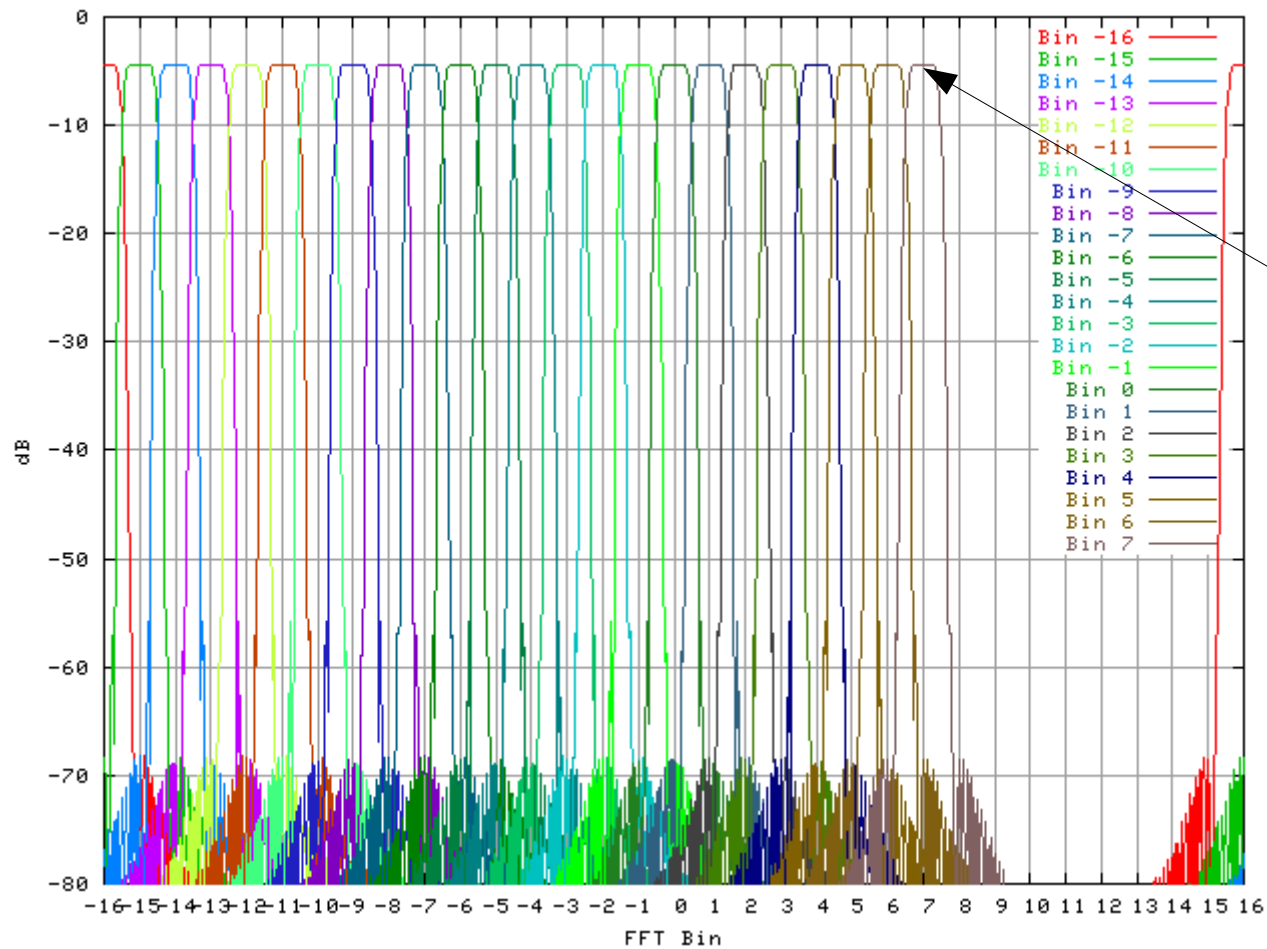
Schon vor über zwanzig Jahren wurden Polyphasen-Filterbänke als Kandidaten zur Erzeugung gleich gefilterter Unterträger-Kämme betrachtet.

Derartige Polyphasen-Filterbänke erlauben mit einem aus heutiger Sicht relativ geringen Aufwand die Parallelisierung klassischer Einzelträger-Funksysteme mit Matched Filtern.

Damals war der nachgeschaltete FIR ein Problem!

Knackpunkt: Das ist nicht orthogonal, Spektraleffizienz!

Beispielhafte Signalanalyse mit Polyphasen-Filterbank:

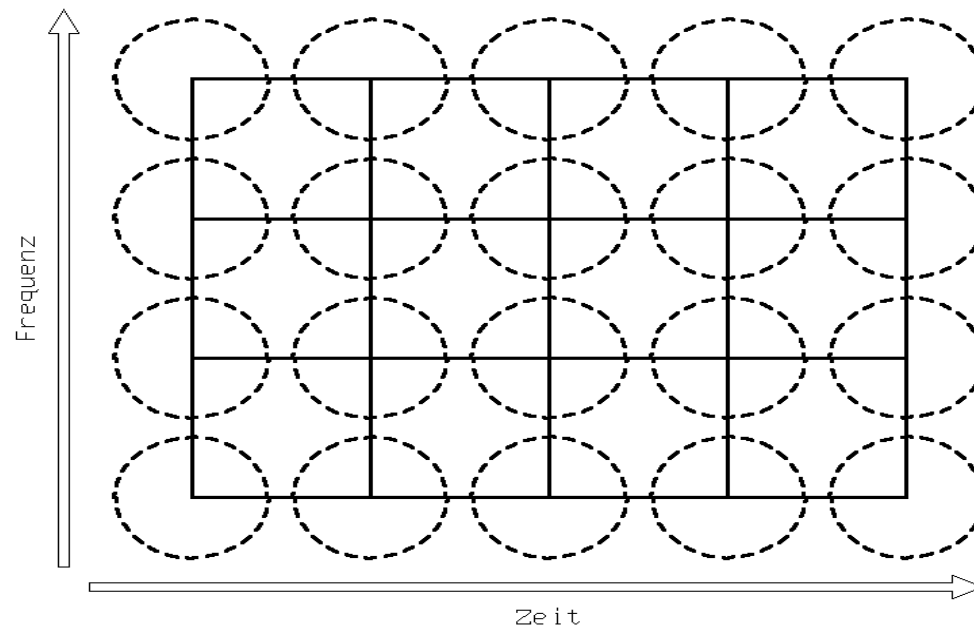


Plateau,
keine Side Lobes

Uni Berkley
GALFA
Spectrometer

Das Grundübel:

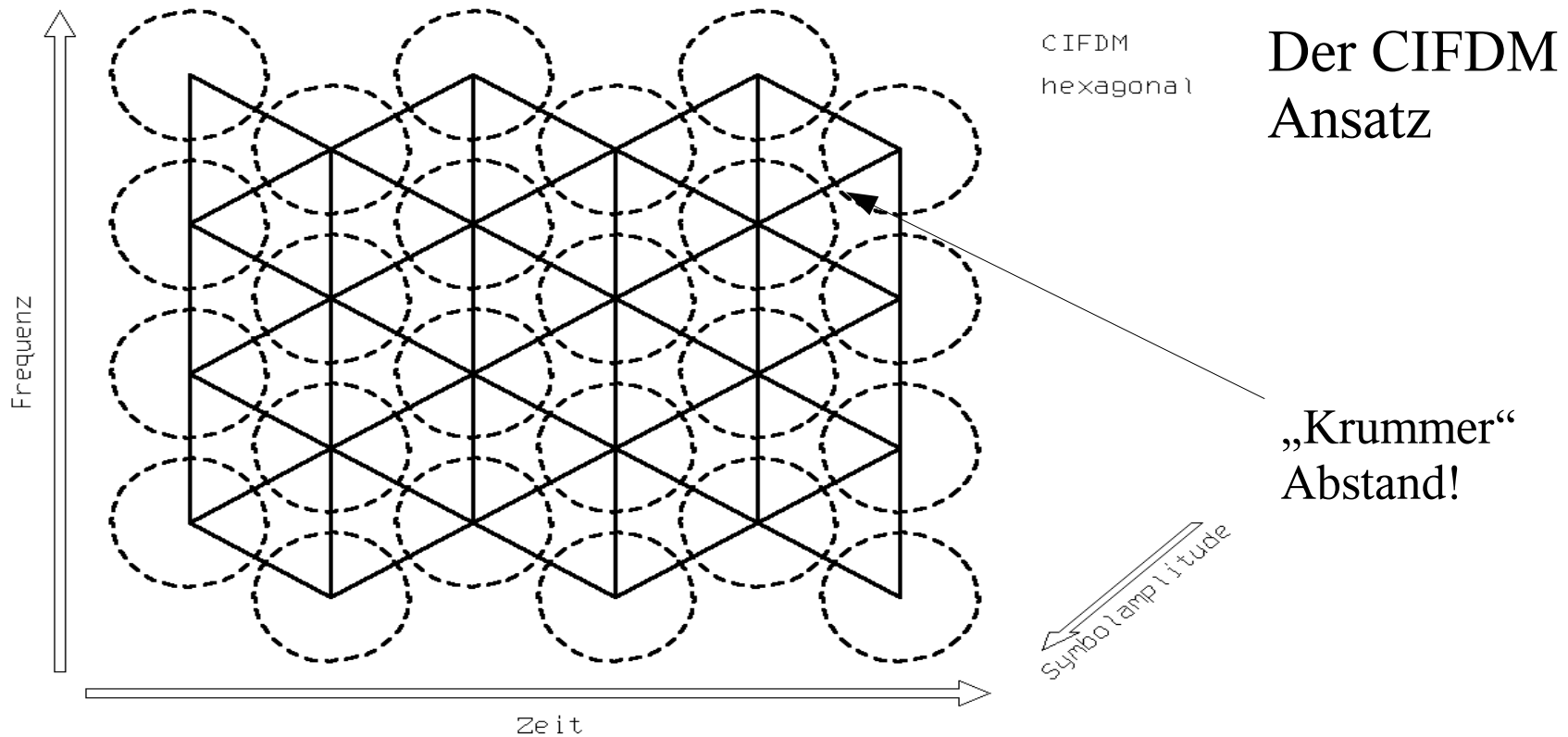
Die Mathematik hat nicht nur gerade Nummern,
sie kennt auch pi und Wurzel aus zwei.
Eine FFT will jedoch Zweierpotenzen sehen!



Prior Art
quadratisch

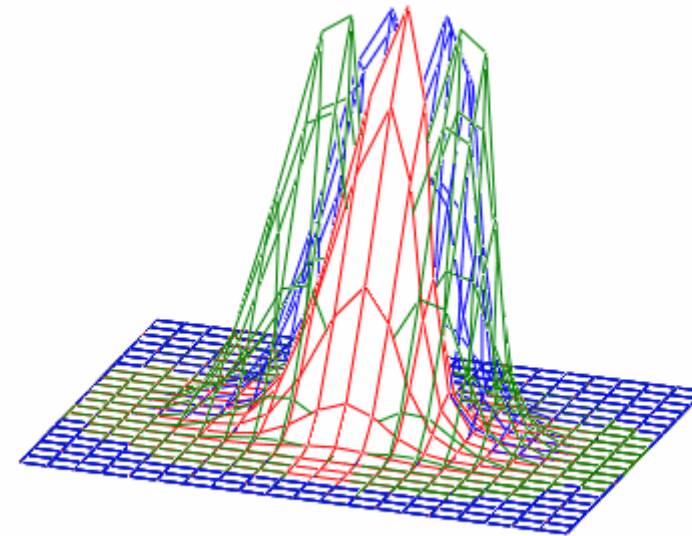
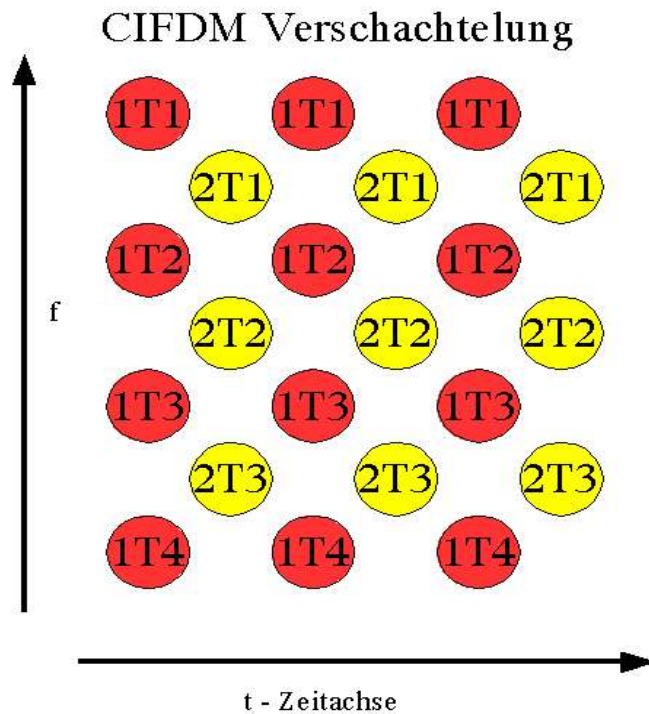
Herkömmliche
Symbolpackung,
hier wird Platz
verschwendet!

Höhere Packungsdichte bei Symbolen:



CIFDM = Comb Interleaved Frequency Division Multiplex

Es werden zwei Käämme mittels zweier Polyphasen-Filterbänke erzeugt und ineinander verschränkt:



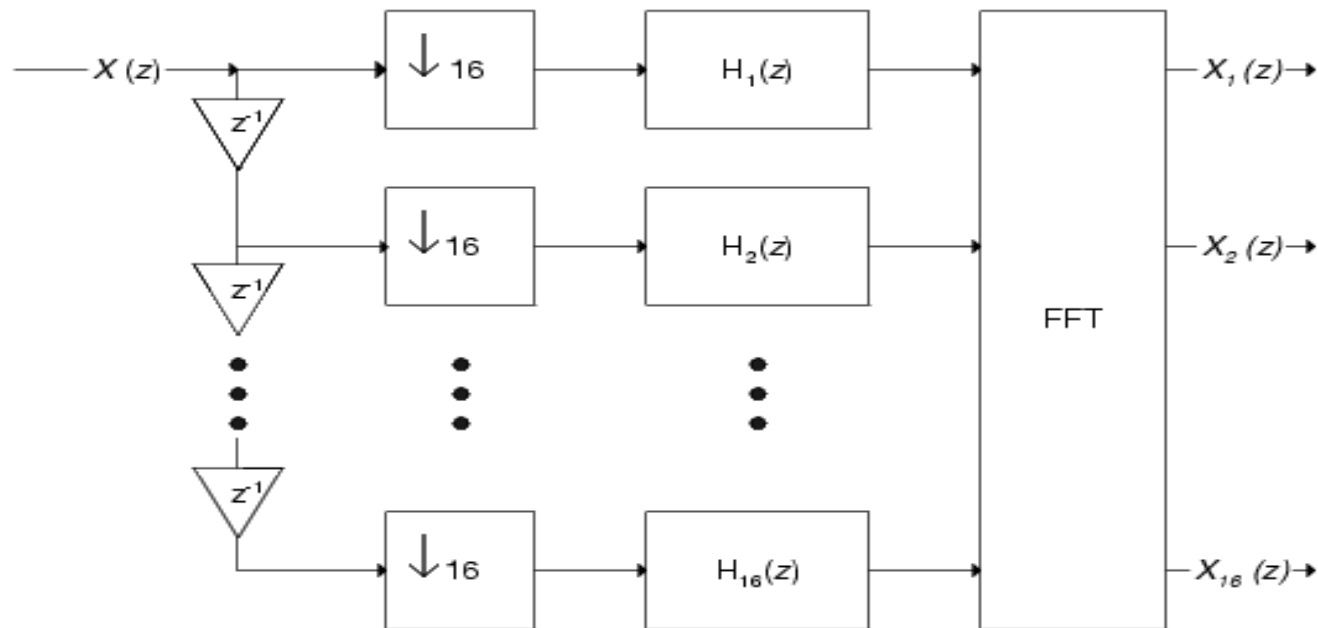
„Eigentlich doch logisch, das müsste es doch schon geben, wo Polyphasen-Filterbänke 20 Jahre alt sind ?“

(Zitat Herr Nachhersanmirimmerschlauer)

Großes Problem:

Die Synthese von Signalen mit in Verhältnis zur Abtastrate und Unterträgeranzahl „krummen“ Symbolauern war bisher mittels Polyphasen-Filterbank nicht möglich. Das Verfahren erfordert aber genau dieses (Wurzel zwei Abstand)!

Klassische Polyphasen-Filterbank:



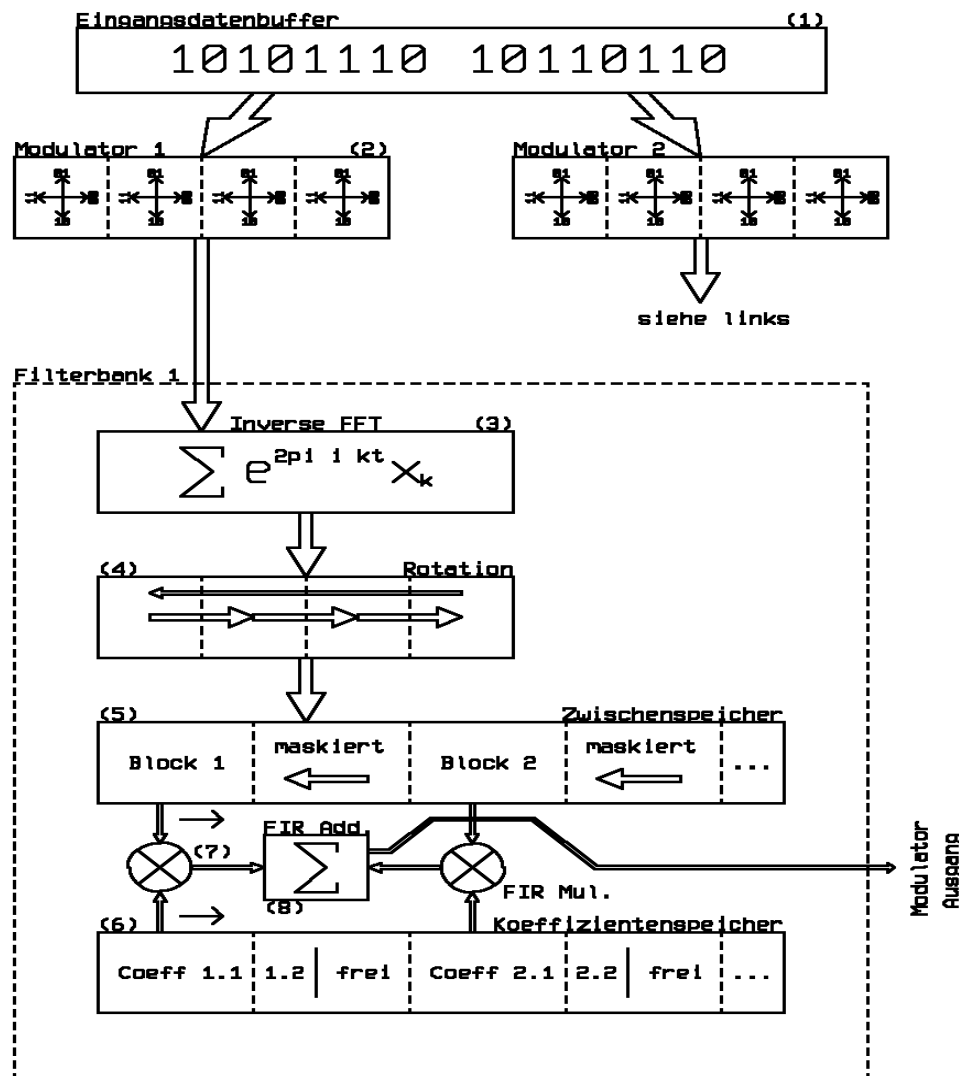
(De-) Multiplexer
(Verteiler)

FIR Filter
(verteilt!)

FFT dient als **reiner Mischer**
mit Sinus-/Cosinus Funktionen

Der Trick: Es werden, da lineare Operationen, FIR Filter und Mischer vertauscht und das FIR-Filter auf hier 16 Phasen partitioniert (Poly-Phase).
Das Problem: Nur ein Ausgangswert exakt alle 16 Eingangswerte für genau eben 16 Unterträger.

Die Patentlösung:



Neu:

- Es werden pro Symbol FFT-Werte gezielt wiederholt, aber mit jeweils *anderen* FIR Koeffizienten.
- Dadurch Phasenversatz wie bei OFDM!
- Es wird der notwendige Phasenversatz zwischen zwei Symbolen durch Permutation *aller* FFT Ausgangswerte (auch der historischen!) pro Symbol kompensiert.
- Dazu wird eine neuartige Indexmaskierung (AND) in Kombination mit einem Bit-Reverse Zugriff genutzt.

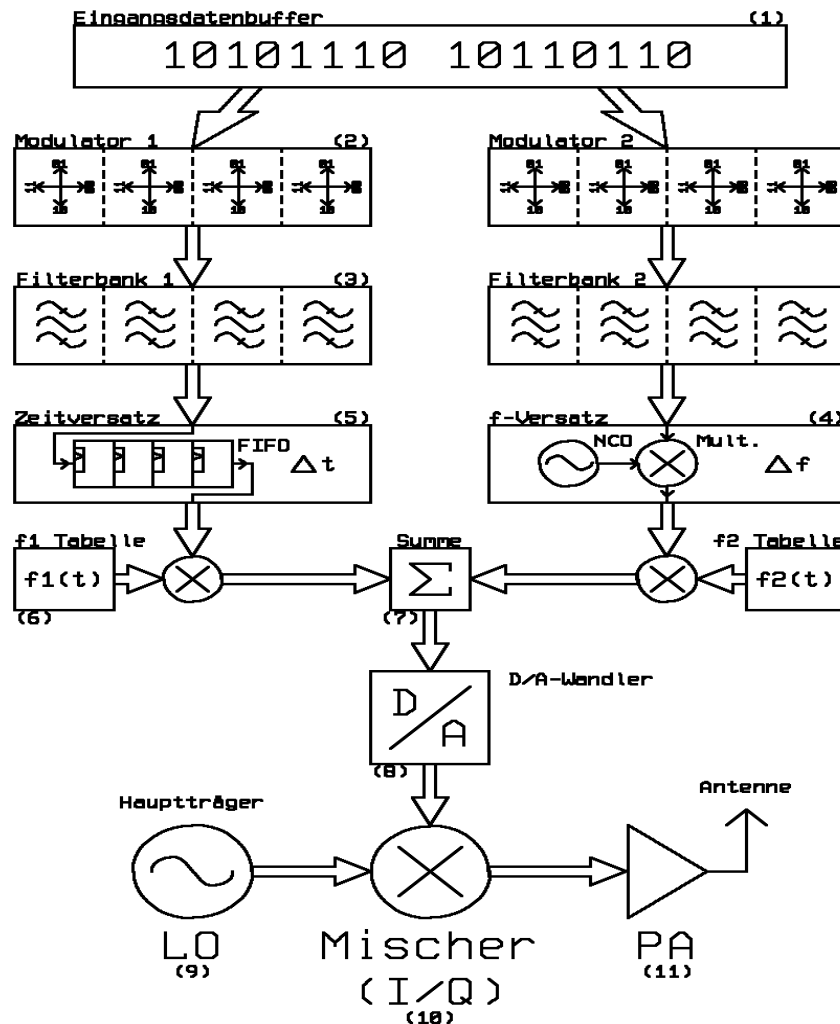
Eckpunkte des neuartigen CIFDM Modulators:

- Erzeugung gleichartig gefilterter Unterträger mit beliebig wählbaren FIR Koeffizienten und somit beliebig wählbarer Filtercharakteristik
- Beliebiger Abstand der Symbole im Synthesefall, mindestens jedoch die Anzahl Abtastwerte entsprechend der Unterträgeranzahl (sonst Informationsverlust)
- Einfache Implementierung durch maskierten Index, Permutation mit konstant wachsendem Start-Datenzeigeroffset pro Symbol

Weitere Eckpunkte:

- phasenkontinuierliche Sinus-Ausgabe auf einem Unterträger bei konstanter FFT-Eingangsphase für diesen Unterträger
- Die Wiederholung von Messwerten erscheint wie ein Cyclic Prefix, dies ist aber nur begrenzt vergleichbar, da jeder Abtastwert auch FFT-Ausgangswerte historischer FFT mit beinhaltet (FIR-Summe)
- Somit weiche Überlagerung der Symbole, der Cyclic Prefix ist für die Entzerrung per Faltungssatz (Frequency Domain Equalizer) nicht mehr notwendig, kein Systemversagen bei Multipath-Guard-Verletzung
- Optional Equalizer durch Polyphase FIR Anpassung
- Analyse per klassischer Polyphasen-Filterbank

Einfügen zweiter Kamm, kontrollierte Intersymbol- und Intercarrier-Interferenz:



Somit theoretisch auch weniger Abtastwerte als Unterträger in einem Symbol-Abschnitt.

Achtung: In dem Fall würde eine (kontrollierte) Intersymbol-Interferenz resultieren!

Die genaue Parametrisierung ist somit völlig frei wählbar. OFDM ist ein *Grenzfall* in diesem Modulator (Rechteck-FIR, inaktiver zweiter Kamm).

Technisches Fazit:

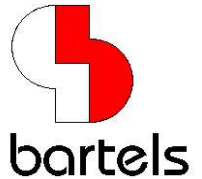
- CIFDM löst einerseits das Problem der Side Lobes des OFDM, es vermeidet den Phasensprung bei konstanter Eingangsphase, bietet Matched Filter S/N und quasi-orthogonale Spektraleffizienz
- Der neue Modulator erlaubt eine völlig wahlfreie Filter- und Symbolabstands-Parametrisierung und löst damit zusammen mit dem zweiten Kamm das Problem der Lücken nicht orthogonaler Systeme im Frequenz-Zeitdiagramm
- Die Rechenvorschrift ist etwas komplizierter als bei OFDM, aber mit heutiger Technik machbar
- OFDM ist ein Grenzfall des neuen Modulators, allerdings mit dann korrekt angepasster Phase pro Unterträger
- Peak to Average Power Ratio gemessen abhängig von der Zahl der Unterträger von Single Carrier bis +15dB (wie OFDM)

Nutzen:

- CIFDM hat gegenüber CDMA nach unabhängigen Messungen der BnetzA ein um ca. 10dB geringeres Störpotenzial bezüglich DVB-T (Gauss-Funktion ist Eigenfunktion der Fouriertransformation, kleinstes BT gilt auch in Störrichtung nach DVB-T OFDM FFT, kein Phasensprung an der Symbolgrenze!)
- Die im Vergleich zu OFDM wesentlich verbesserte Frequenzselektivität erlaubt den Einsatz erstmals in echten <K61 White Spaces, ohne reguläre DVB-T Zuseher zu stören oder vom DVB-T gestört zu werden!



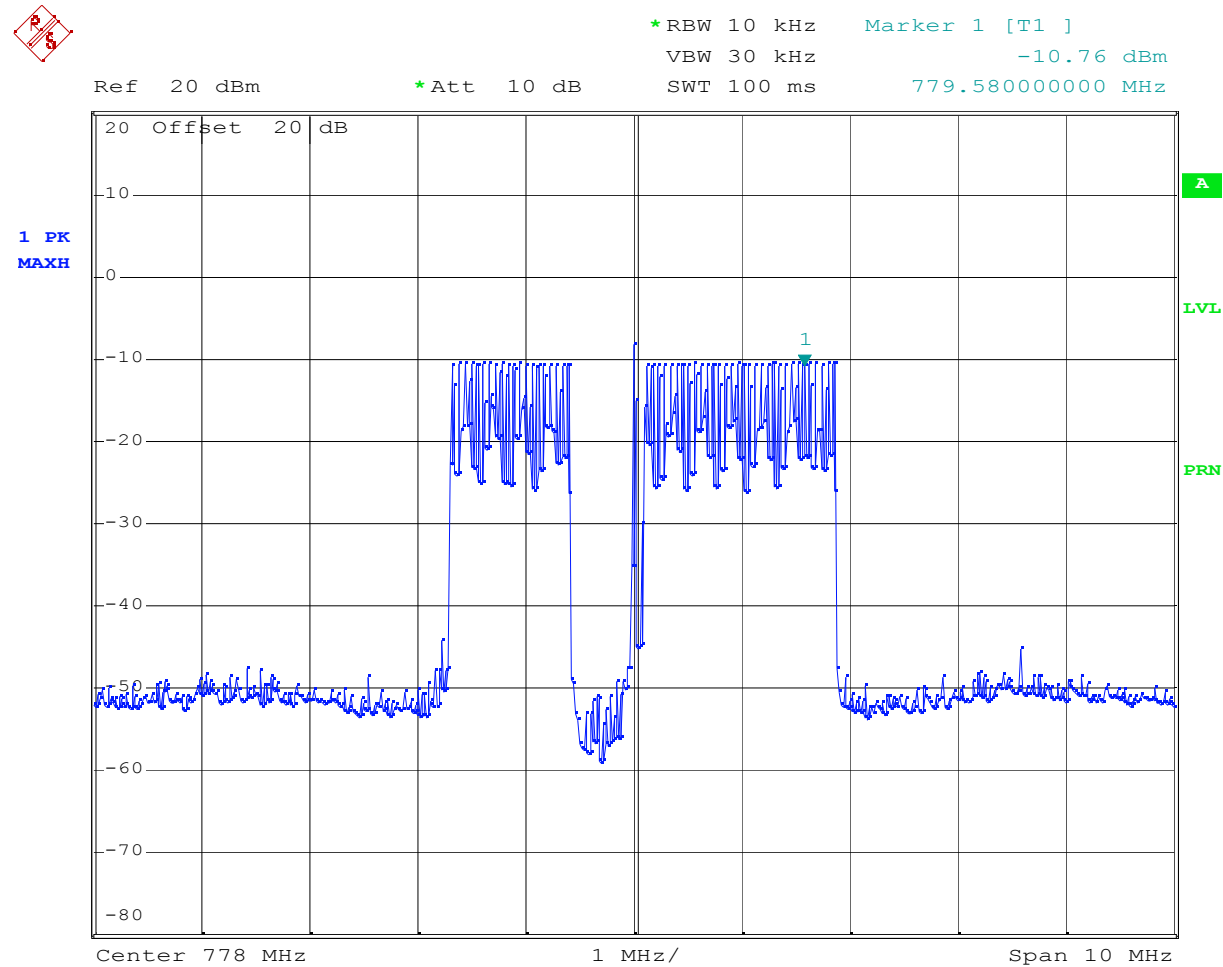
CIFDM für Breitband Internet



Nutzen:

- CIFDM bietet eine extreme Flexibilität bei der Unterträgerzuweisung, z.B. Teil-FDD mit Uplink in Kanalmitte
- CIFDM ermöglicht einen echten Mehrfach-Zugriff durch unterschiedliche Kundenmodems zur selben Zeit
- *Damit die Option auf ALOHA mit redundanten Aussendungen zwecks Reduzierung der Kollisionswahrscheinlichkeit beim Erstzugriff (erster Bandwidth Request nach Kundeninteraktion), dieses neue Verfahren erlaubt extrem kurze Latenzzeiten (<20ms)*

QAM16 mit bewußt realisierter Lücke (Mehrfachzugriff):





CIFDM – reale Hardware



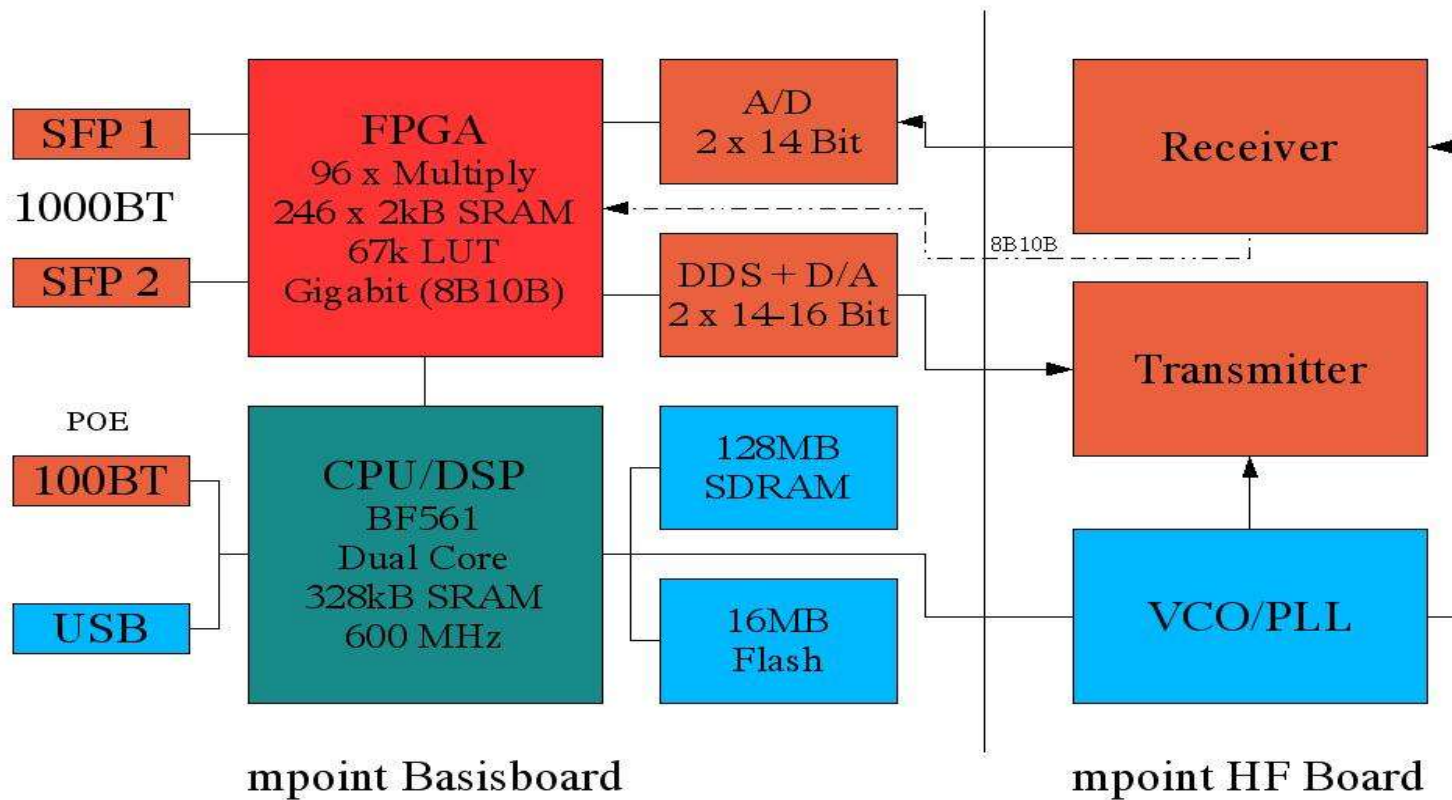
Modulares Funksystem auf Eurokarte (100x160mm)

CIFDM *more at the speed of light!*



Das neue Hochleistungs-Funksystem

Blockschaltbild:



Hardware Basisboard:

- Analog Devices BF561 Dual Core DSP, 2 x 600 MHz 32 Bit CPU
328kByte on chip RAM (Cache + Direktzugriff), 2 x 40 Bit MAC pro Core
 - 128 MByte SDRAM
- 16 MByte CPU Flash, 4 MByte FPGA Flash, Config. EEPROM
- USB für Maintenance (einschließlich Flash und FPGA Load)
- 100 BT LAN mit echtem POE (alle 8 Adern) gemäß IEEE 802.3af
Bis zu 30W optional (13W Basis)

Echt isolierter POE Schaltregler ohne Optokoppler mit Synchrongleichrichter

- 1000 BT SFP Cage für optische oder elektrisches Gigabit LAN

Hier ist bereits die Verkettung mit Routingfunktionalität eingeplant

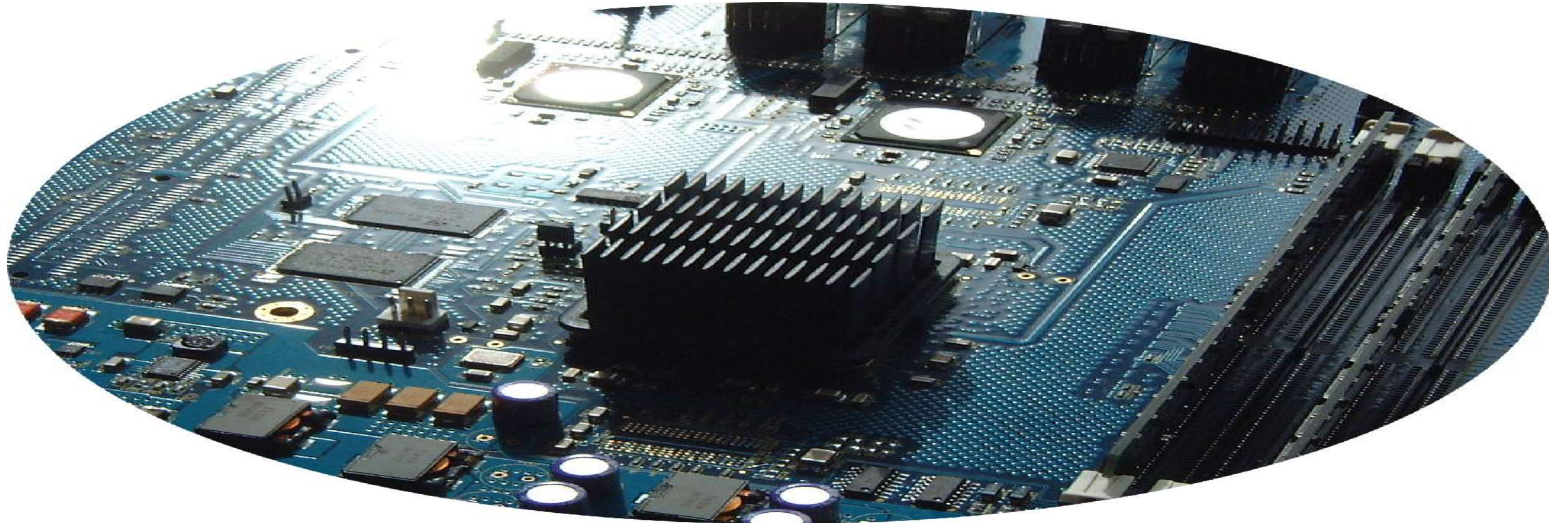
- Frei programmierbare FPGA Logik für Software Radio

96 Multiplizierer, 246 RAM Blöcke a' 18kBit und 67000 Logikblöcke

Direkte Datenpfade RAM/Mul./Logik, Soft-Realisierung beliebiger CODECs

Basis für AES Hardware Verschlüsselung

- Basis A/D und D/A Wandler für RF Board (Long Reach: 8B10B Link)



Im Haus Bartels wurde ein komplettes IP Routing System entwickelt:

BGP4 mit vollen Policies und IPv6

Full Featured OSPF

Eigene PPPOE in/out und L2TP in/out Implementierung

Load Balancing für Nutzung gebündelter DSL als Zuführungsleitung

Aggregation von >50000 DSL Sessions auf n x GigE getestet

Vollwertiger L2TP Tunnel Switch

Damit besteht ein direkter Zugriff auf alle Komponenten eines Breitband-Netzes:

- Kundenmodem (CPE)
- Basisstationen all-IP (FastE und GigE) mit modularem HF-Kopf und Soft Radio
- HF-Köpfe für UHF (400-900MHz), optional VHF und Mikrowelle
- komplett eigenentwickeltes (Router!) IP Routing von den Aussenstandorten bis zum Backbone, PPPOE und L2TP
- Eigener Backbone mit echten Peerings
- Nutzung von Bündel-DSL via ZISP/Bitstream

*achja, das EDA System haben wir auch im Quellcode ;-)
Und all das ist Made in Germany.*