



CIFDM ® für die digitale Dividende

Die Versorgung weiter Bevölkerungskreise, die terrestrisch nicht oder nur mit schlechten Datenraten mit einem Breitband-Internetzugang versorgt werden können, stellt angesichts der zunehmenden Durchdringung des alltäglichen Lebens mit Computern und dem Internet ein erhebliches Problem dar. Ganze Regionen werden so vom Fortschritt abgekoppelt, von der Kartenbestellung bis zur Steuererklärung geht heute nichts mehr ohne das Internet.

Die digitale Dividende:

Durch die Umstellung des analogen Fernsehens auf digitale DVB-T Technik werden im 700MHz UHF Band verbreitete Fernsehkanäle mit 8 MHz Bandbreite frei, da das DVB-T mehr als nur ein Fernsehprogramm pro Fernsehkanal ermöglicht. Zudem ermöglicht DVB-T den Gleichwellenbetrieb mehrerer Sender, damit kann ein Fernsehkanal besser wiederverwendet werden.

Damit bietet sich die Nutzung dieser UHF Frequenzen für die Breitbandversorgung an.

Warum UHF, wo es doch auch Frequenzen im Gigahertz-Bereich gibt: Je höher die Frequenz ist, um so lichtartiger verhält sich das Signal. Die langjährige Erfahrung im Betrieb von Breitband-Funk-Zugangsnetzen zeigt, dass die Forderung nach einer Sichtverbindung zum Sender viele Teilnehmer von der Versorgung ausschließt. Bäume, Häuser und Hügel sind die typischen KO-Kriterien. Hingegen zeigen die UHF-Frequenzen sowohl gute Beugungseigenschaften als auch eine deutlich größere Fresnel-Zone, mit diesen Frequenzen kann man leicht um die Ecke funken.

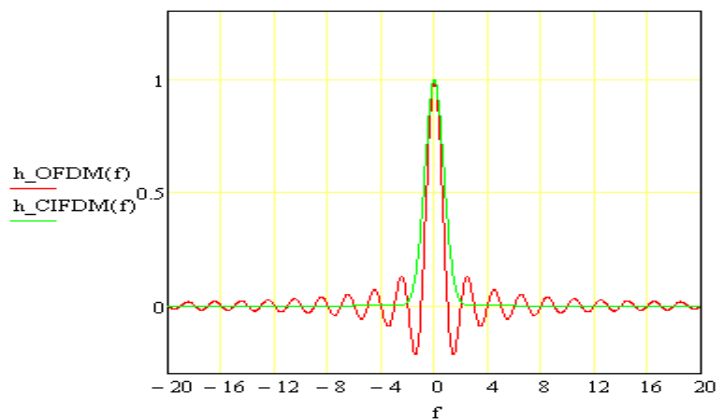
Der Frequenz-Flickenteppich und das Störpotenzial:

Leider fängt man im UHF Band nicht auf der grünen Wiese an, das Kanalschema ist vorgegeben und auch die Verteilung an bestehende UHF DVB-T Sender. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, dass kurzfristig ein einheitliches Frequenzband für die Breitbandversorgung im UHF Bereich geräumt werden kann. Man wird mit einem Flickenteppich leben müssen, in dem sich Fernsehkanäle mit Breitbandkanälen überschneiden.

Genau an dieser Stelle existiert ein erhebliches Problem, welches derzeit zu erregten politischen Diskussionen führt: Für die Nutzung der freiwerdenden Frequenzen wird von verschiedenen Seiten das WiMAX Verfahren propagiert. Bei Tests unter anderem in den USA hat sich ergeben, dass das derzeit von WiMAX verwendete OFDM Übertragungsverfahren leider ein erhebliches Störpotenzial für die Rundfunkdienste hat, obwohl es vom DVB-T selber genutzt wird. Der Grund liegt in der zweiseitigen Übertragung, weil eben nicht nur wie beim Rundfunk Daten vom Sender zum Kunden übertragen werden, sondern eben auch vom Kunden zum Sender zurück. Damit rückt das Störpotenzial aber vom fernen Sendemasten unmittelbar zur Empfangsantenne, der Nachbar des Breitbandkunden, der gerne DVB-T fernsehen möchte, wird durch das Signal des unmittelbar benachbarten Rückkanal-Senders beim Kunden gestört.

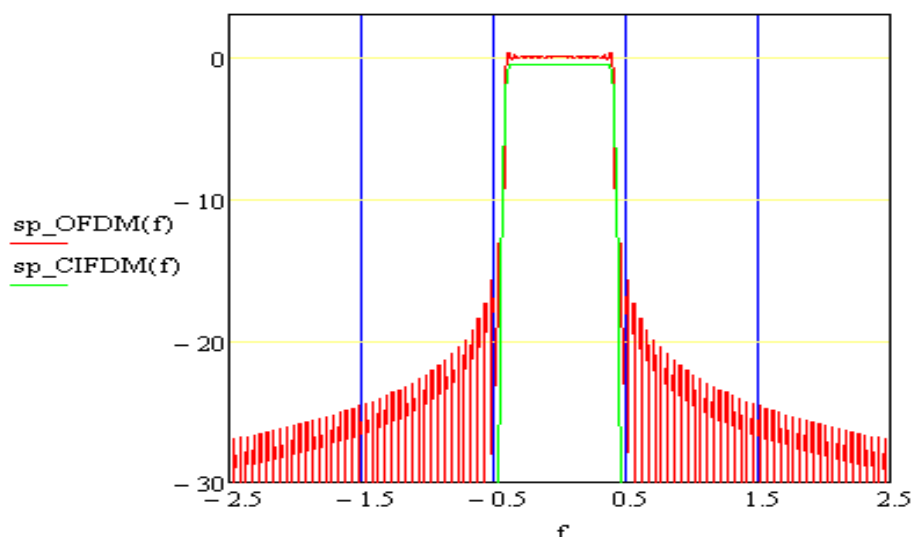


Dieses Störpotenzial rührt leider aus einer grundlegenden Eigenschaft des OFDM Übertragungsverfahrens: Es werden die Daten in streng getrennten Blöcken gesendet, diese harten Schnitte in der Zeitachse führen – ähnlich wie bei der bekannten Heisenbergschen Unschärferelation – zu einem sehr unscharfen Spektrum in der Frequenzebene, welches in die Nachbarkanäle hereinstreut und damit den Fernsehempfang stört. Denn ein solches OFDM *Mehrträgersignal* besteht aus sehr vielen Einzelsignalen auf dicht beieinander liegenden Frequenzen, welche verschachtelt ineinandergreifen. Das folgende Bild zeigt *ein* solches OFDM Einzelsignal (Unterträger) mit der roten Linie:



Im Grunde endet die Nachschwingung erst links und rechts im Unendlichen, ein solches Signal hat ein beliebiges Störpotenzial. Die grüne Linie – ein Gauss-gefiltertes Signal – zeigt hingegen sehr schön, wie man es besser machen kann. Diese Gauss-Filterung findet bei geringen Bandbreiten schon seit Jahren Verwendung im „Handy“-GSM Funknetz, leider nur für langsame Schmalbanddienste.

Die Folgen der schlechten Filterung durch die unzureichende Technik für die benachbarten Rundfunknutzer sind gravierend, die Sendeanstalten beschwerten sich hier völlig zu recht. Zum Vergleich hier wieder das aus Gauss-Signalen zusammengesetzte wohlgeformte Spektrum (grün) im Vergleich zu einem OFDM Signal (rot) und den Kanalgrenzen (blau):

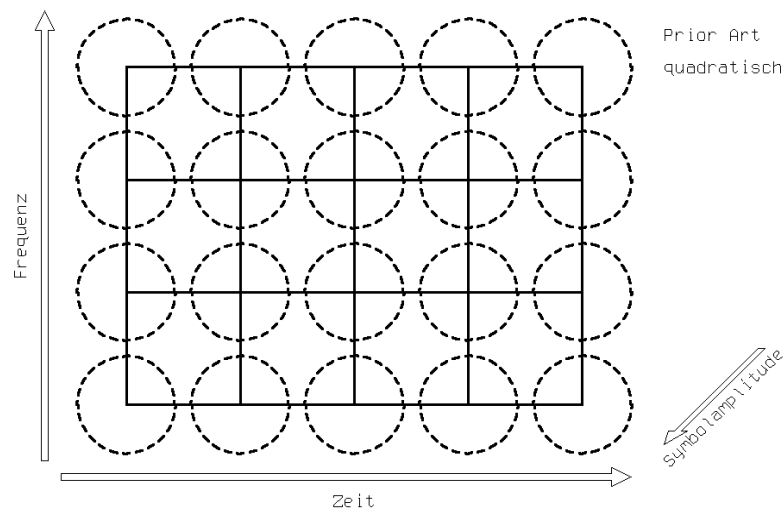




Man sieht hier, wie das OFDM Signal die blauen Bandgrenzen überschreitet und die Nachbarkanäle erheblich stört, das grüne CIFDM-Signal aber innerhalb der Bandgrenzen bleibt.

Warum verwendet man dann nicht heute schon Gauss-Filter für derartige Mehrträgersignale, so wie beim "Handy"-GSM: Leider ist eine Ineinanderschachtelung nach einem orthogonalen Schema wie beim OFDM mathematisch nicht möglich ist. Eine schnelle Übertragung auf nur *einem* Träger, also ein beschleunigtes GSM, verbietet sich für die Breitband-Internet-Nutzung aufgrund der vielen Reflexionen an Hauswänden etc., welche aufgrund unterschiedlicher Laufzeiten des Funks auf dem direkten versus dem reflektierten Weg die schnellen Symbole miteinander vermischen würden. Dafür wäre wieder eine klare Sichtverbindung notwendig.

Das folgende Bild illustriert das Problem der fehlenden Datenrate:



Zwischen den Kreisen, welche einerseits die klassischen Gauss Symbole mit dem Datenfluss in der Zeitachse nach Rechts darstellen, und andererseits den einzelnen Unterträgern in der Frequenzebene von oben nach unten befinden sich erhebliche Lücken. Diese werden bei Gauss-gefilterten Signalen nicht zur Übermittlung von Daten genutzt, damit ist ein derartiges Sendeschema wenig effektiv.

Beim OFDM überschneiden sich jetzt die Kreise, mit der Konsequenz, dass man zwar im eigenen Kanal deutlich mehr Daten übertragen kann, allerdings die Nachbarkanäle dauerhaft unbrauchbar werden. Denn ohne die im vorherigen Bild rot dargestellten Anteile links und rechts vom Nutzkanal ist das Sendesignal nicht mehr vernünftig auswertbar, selbst ein weiches Fenster in der Zeitebene ändert daran wenig.

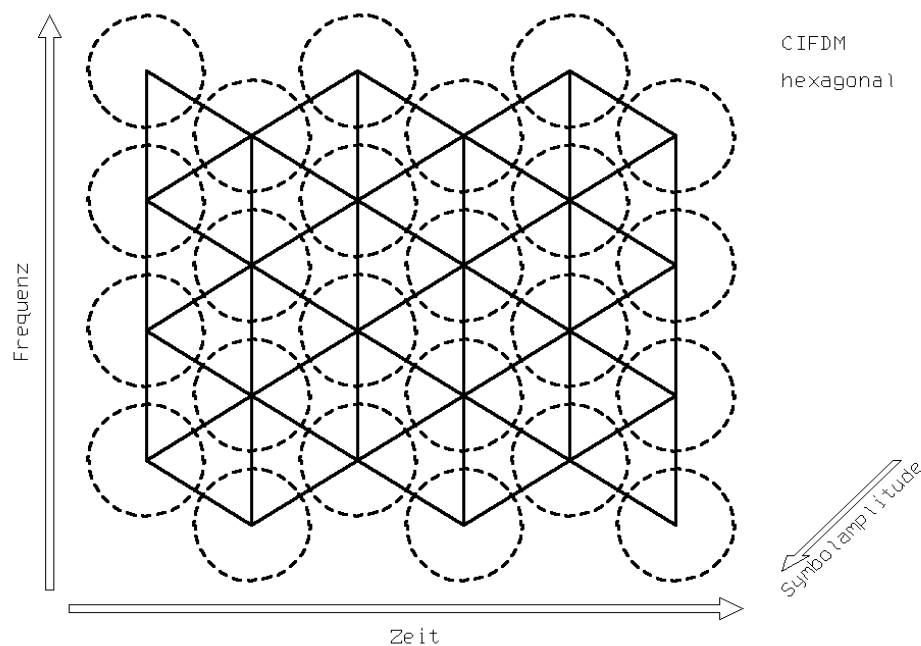
Auch wenn das OFDM in der Literatur immer als sehr effizientes Sendeschema für einen Kanal dargestellt wird, aus der Sicht mehrerer Nutzer von Frequenzkanälen ist es das nicht wirklich.

An dieser Stelle ist eindeutig ein Innovationsschritt notwendig, welcher die Vorteile der hohen Datenrate bezogen auf *einen* Funkkanal mit dem Vorteil der störarmen Gauss-Filterung kombiniert, welche *mehrere* benachbarte Funkkanäle sauber voneinander trennt.



Die Lösung – CIFDM – Technologie Made in Germany:

Es geht besser. Das folgende Bild zeigt, wie man die verlorene Kapazität wieder zurückgewinnen kann, ohne die Nachbarkanäle zu schädigen, und gleichzeitig damit eine hohe Störfestigkeit für das eigene Signal gewinnt:

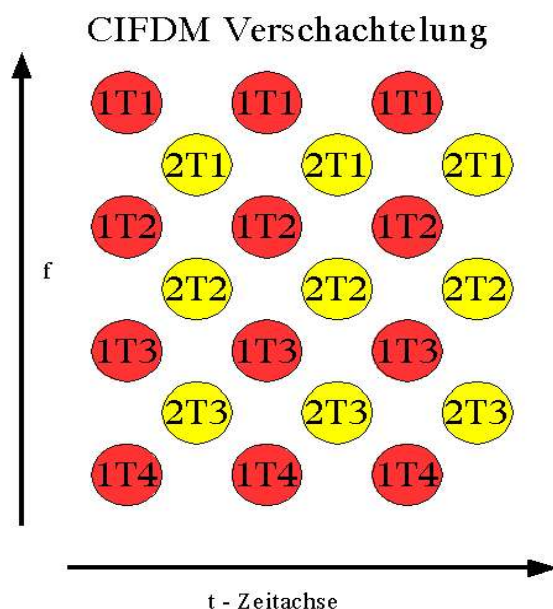


Hier wird die mathematisch optimale hexagonale Packung der Symbole verwendet. Es ist leicht verständlich, dass so eine wesentlich höhere Packung und damit erzielbare Datenrate erreicht werden kann. Jeder Obsthändler wird nun einwenden: Ja, so täte ich meine Orangen und Äpfel auch stapeln. Aber in der Funktechnik ist diese mehrdimensionale Betrachtung in der Tat neu.

Durch die Verwendung von Gauss-Filtern, welche sich zudem bei dem – leider nicht mit hoher Datenrate gesegneten - Einzelträger-Verfahren GSM weltweit in Abermillionen von Handys speziell mit guter Funkabdeckung auch innerhalb von Gebäuden bewährt haben, kann weiterhin auf das bei WiMAX OFDM nötige Schutzintervall (Guard) zwischen den Datenblöcken verzichtet werden. Damit ergibt sich eine weitere Kapazitätssteigerung, sodass nicht nur beim einzelnen UHF Funkkanal an die Kapazität des OFDM angeknüpft wird, sondern auch nebeneinander liegende Funkkanäle im UHF Band viel besser genutzt werden können und somit das wertvolle UHF Frequenzspektrum insgesamt viel besser ausgeschöpft wird.



Der Name CIFDM erklärt sich als „Comb Interleaved Frequency Division Multiplex“ und deutet an, dass hier zwei Frequenzkämme ineinander geschachtelt werden, um das gewünschte hexagonale Symbolmuster zu erreichen:



Die roten Kreise sind die Symbole, welche dem ersten Kamm entstammen, die gelben jene aus dem zweiten Kamm.

Im Zuge der Entwicklung eines realen Funksystems mit diesem neuartigen Übertragungsverfahren wurde auch eine sehr leistungsfähige Signalverarbeitungsarchitektur entwickelt, welche es ermöglicht, beliebige „krumme“ Abstände zwischen den Symbolen zu realisieren.

Ebenso wie das eigentliche Übertragungsverfahren ist auch diese Architektur von uns patentrechtlich geschützt, die Bezeichnung CIFDM ® ist ein eingetragenes Warenzeichen. Eine Nutzung der Verfahren für Forschungszwecke ist zulässig und wird von uns unterstützt, eine kommerzielle Nutzung bedarf einer Lizenz.

Für einen ersten Praxiseinsatz hat uns die mvox AG als Betreiber eines der größten Breitband Internet Funknetze Deutschlands mit großer Praxiserfahrung den Auftrag zur Entwicklung eines CIFDM Funksystems mit der Möglichkeit des Einsatzes im UHF Band erteilt. Die ersten Systeme werden voraussichtlich zum Jahresende 2008 einsatzbereit sein.

Weitere Informationen:

Bartels System GmbH

info@bartels.de

<http://www.bartels.de>