

DVB-T mit Hierarchischer Modulation

Inhaltsangabe

Hierarchische Modulation ist eine Variante des digitalen terrestrischen Fernsehens DVB-T, die in der bisherigen Planung noch relativ wenig Beachtung gefunden hat. Sie erlaubt die Übertragung zweier unabhängiger DVB-T-Multiplexe auf einer Frequenz mit unterschiedlicher Übertragungsqualität (High Priority, Low Priority). Hierarchische Modulation ermöglicht höhere Gesamtversorgungspotentiale als Nicht-Hierarchische. Der High-Priority-Multiplex mit höherer Qualität kann besonders für Portable Indoor- und mobilen Empfang genutzt werden. Anhand von konkreten Beispielen wird gezeigt, dass Hierarchische Modulation in realistischen Fällen die bessere Alternative sein kann.

München, den 12. 09. 2002

Verfasser

A. Schertz

Dr. Ch. Weck

Verteiler

PTKO ARD/ZDF/DLR/ORF/SRG
Arbeitsgruppe Rundfunkversorgung
Leiter Hörfunkbetrieb
Leiter Sendebetrieb
AKO

INSTITUT FÜR RUNDFUNKTECHNIK GMBH

Dr. H. Wilkens

Direktor und Sprecher der Geschäftsleitung

1. Einleitung

In der Spezifikation des terrestrischen digitalen Fernsehens DVB-T, die zahlreiche Varianten für unterschiedliche Anforderungen bereitstellt, ist neben den "konventionellen" Modulationsverfahren (QPSK, 16- oder 64-QAM) die Hierarchische Modulation als eine Alternative vorgesehen, die zusätzliche Möglichkeiten zur Realisierung von Versorgungskonzepten bietet. Es können zwei unabhängige DVB-T-Multiplexe auf einer Frequenz abgestrahlt werden. Und dieser Vorteil kostet wenig, nämlich nur den geringen Overhead, der für den zweiten MPEG-Transportstrom erforderlich ist. Dennoch wurde dieser Variante bisher noch verhältnismäßig wenig Aufmerksamkeit zuteil, vielleicht wegen der höheren Komplexität der DVB-T-Planung durch einen weiteren Freiheitsgrad bei der Parameterwahl. Deshalb soll im Folgenden nach einer Darstellung des Prinzips der Hierarchischen Modulation an einigen Beispielen gezeigt werden, welche Möglichkeiten das Verfahren bietet. Es wird diskutiert, welche Vor- und Nachteile bei der Versorgung durch Einzelsender für den portablen, mobilen und stationären Empfang zu erwarten sind, welche Möglichkeiten sich für lokale und flächendeckende DVB-T-Dienste ergeben und wie sich die Eigeninterferenz im Gleichwellennetz bei Hierarchischer Modulation auswirkt.

2. Prinzipien von DVB-T und Hierarchischer Modulation

2.1 Parameter von DVB-T

Der DVB-T-Standard (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) definiert ein Verfahren zur terrestrischen Übertragung MPEG-2-kodierter Fernsehsignale, das den Eigenheiten des terrestrischen Übertragungskanal (z. B. Mehrwegeprob-

lematik) angepasst ist. Grundlage ist die Modulationstechnik COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) mit Tausenden von schmalbandigen, zueinander orthogonalen Trägern. Zur Anpassung an die konkreten Bedingungen des Übertragungskanal sind mehrere Parameter wählbar:

- die Coderate (Verhältnis von Datenrate der Nutzbits zu der Gesamtdatenrate: 1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8). Je höher die Coderate gewählt wird, um so höher ist die zur Verfügung stehende Nutz-Datenrate, um so schlechter ist aber der Fehlerschutz, um so geringer somit der Versorgungsradius bzw. die Versorgungsqualität.
- das Verfahren zur Trägermodulation: 4-PSK (Quadratur-Phasenmodulation), 16-QAM (Quadratur-Amplitudenmodulation mit zwei 4-stufigen Eingangssignalen) oder 64-QAM (QAM mit zwei 8-stufigen Eingangssignalen). Je höherstufig das Verfahren ist, um so höher ist die übertragbare Datenrate, um so störanfälliger ist aber auch die Übertragung (da der Abstand zwischen den zulässigen Zuständen im Phasenraum um so geringer ist), um so kleiner ist dementsprechend der Versorgungsradius.
- die Länge des Guard-Intervalls (zeitliche Verlängerung der Ausstrahlung eines COFDM-Symbols, um einen Sicherheitsabstand zu dem Folgesymbol zu gewährleisten); möglicher Anteil dieses Intervalls am Gesamtintervall pro Symbol: 1/4; 1/8; 1/16; 1/32). Je größer das Guard-Intervall ist, um so geringer sind Störungen durch Mehrwegeausbreitung und um so schwächer ist die Eigeninterferenz bei Verwendung mehrerer Sender in einem Gleichwellennetz, um so weniger Nutzbits können aber

übertragen werden.

- die Zahl der Träger (2k-Modus: 1705, 8k-Modus: 6817 Nutz-Träger)
- Hierarchische oder Nicht-Hierarchische Modulation; falls Hierarchische Modulation gewählt wird, muss man sich noch für den Wert des Modulationsparameters α entscheiden (1: gleichförmige Modulation; 2 oder 4: ungleichförmige Modulation) (siehe 2.2).

2.2 Prinzip der Hierarchischen Modulation

Das Prinzip der Hierarchischen Modulation soll hier am Beispiel der 64-QAM-Modulation erläutert werden. **Bild 1** zeigt das sogenannte Konstellationsdiagramm dieses Modulationsverfahrens, in dem jeder zulässige digitale Zustand durch einen Punkt in der komplexen Ebene (Amplitude, Phase) wiedergegeben wird.

Da 8 x 8 verschiedene Zustände definiert sind, können die 64 möglichen Werte von 6 Bit damit übertragen werden. **Bild 1** zeigt die im DVB-T-System getroffene Zuordnung der binären Zahlenwerte zu den definierten Zuständen. Dementsprechend gibt es bei 16-QAM-Modulation nur 4 x 4 verschiedene Zustände (4 Bit), bei 4-PSK schließlich 2 x 2 Zustände (2 Bit).

Bei Hierarchischer Modulation werden die möglichen Zustände anders interpretiert als im Nicht-Hierarchischen Fall. Die Lage eines Zustands innerhalb seines Quadranten wird als eine gesonderte Information angesehen. Die andere Information ist die Nummer des Quadranten, in dem sich der Zustand befindet (1, 2, 3 oder 4). Damit stehen zwei getrennte Datenströme zur Übertragung zur Verfügung. Formal hat man es

immer noch mit 64-QAM-Modulation zu tun, in der hierarchischen Interpretation ist sie aber als Kombination einer 16-stufigen Modulation (wie bei 16-QAM nur vier mal vier Zustände innerhalb eines Quadranten) und einer 4-PSK-Modulation (zwei mal zwei mögliche Positionen des Quadranten) zu verstehen. Man spricht von "4-PSK in 64-QAM". Die Bitraten der beiden Teilströme ergeben zusammen die Bitrate des 64-QAM-Stroms. Das Blockdiagramm von **Bild 2** zeigt, wie bei Hierarchischer Modulation, bei der die gestrichelt gezeichneten Blöcke hinzukommen, der ankommende Transportstrom in zwei vollständig getrennte MPEG-Transportströme gewandelt wird.

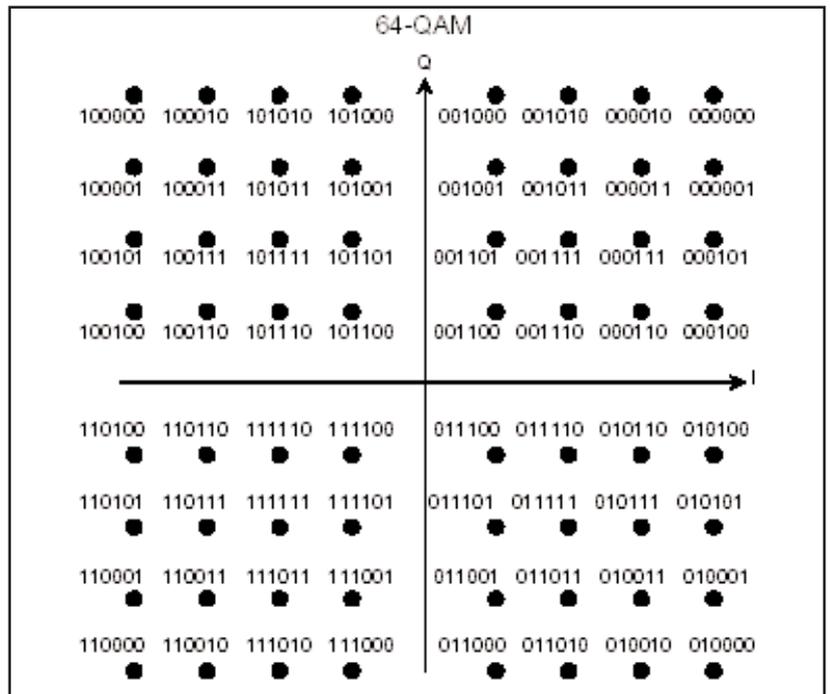


Bild 1: Konstellationsdiagramm für 64-QAM-Modulation (mit $\alpha = 2$ für Hierarchische Modulation)

Welchen Preis zahlt man nun für diese Aufspaltung? Würde man zwei Datenströme mit entsprechenden Bitraten getrennt realisieren, hätte man für die 16 Zustände des 16-QAM-Stroms alle vier Quadranten zur Verfügung. Der Abstand der Zustände wäre also größer, sie wären besser

unterscheidbar und daher wäre das erforderliche Signal-Rausch-Verhältnis für den Empfang geringer. Ebenso verhält es sich mit dem 4-PSK-Strom. Die Abstände der Zustände, die durch ihre Lage in einem der Quadranten die 4-PSK-Information angeben, variieren, so

dass sie für 4-PSK in 64-QAM etwas schlechter zu unterscheiden sind als bei 4-PSK alleine. Der Vorteil des Verfahrens besteht aber darin, dass man innerhalb eines Frequenzkanals zwei Datenströme mit unterschiedlichen Modulationseigenschaften zur Ver-

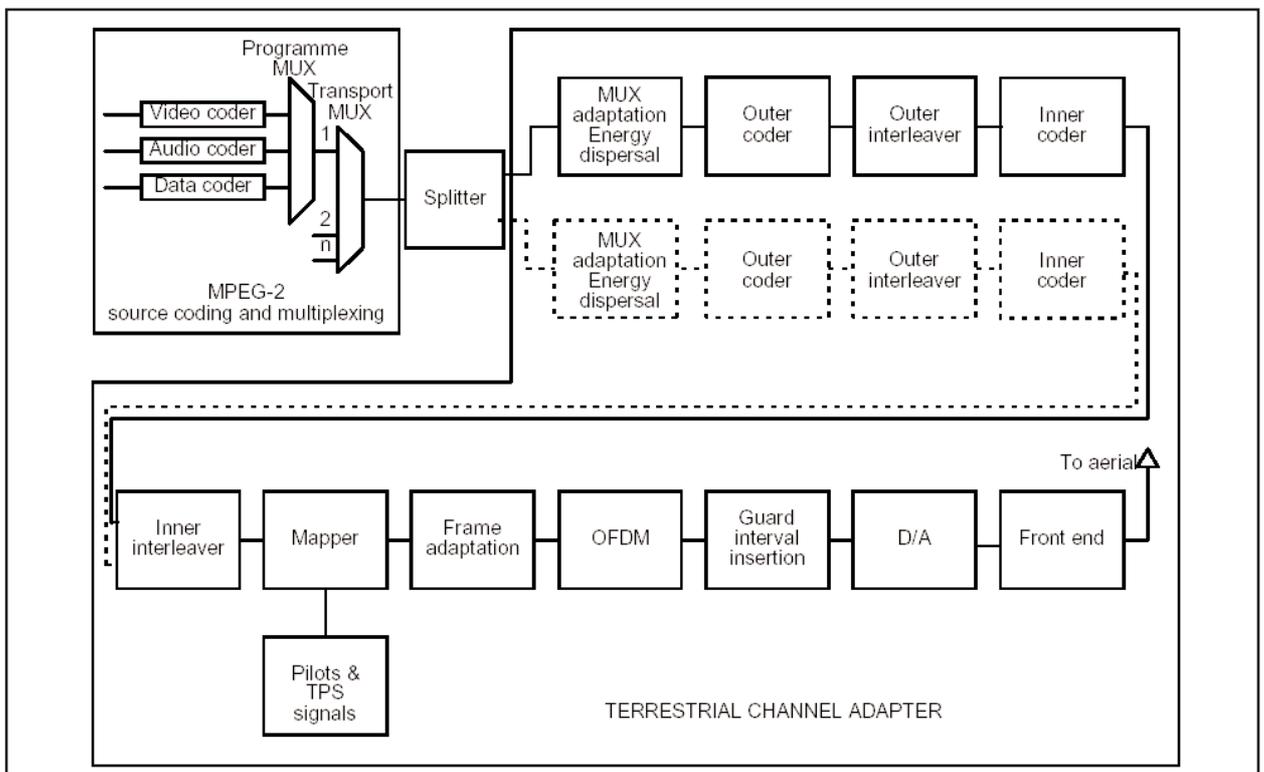


Bild 2: Blockdiagramm für DVB-T-System mit Hierarchischer Modulation

fügung hat. Angemessen ist deshalb in diesem Fall der Vergleich der Hierarchischen Modulation mit einer 64-QAM bei der Nicht-Hierarchischen Modulation. Am Abstand der Zustände in dem 64-QAM-Schema von **Bild 1** ändert sich ja nichts, wenn man die Zustände innerhalb eines Blocks als mögliche Zustände einer 16-stufigen Modulation interpretiert. Die Störimpfindlichkeit ist bei der Hierarchischen Modulation für diesen Teilstrom deshalb nur unwesentlich größer (wegen des etwas geringeren Codierungsgewinns bei dem Fehlerschutz) als dies für die 64-QAM-Modulation der Fall ist. Die Störimpfindlichkeit des 4-PSK-Datenstroms im Rahmen der Hierarchischen Modulation ist dagegen wesentlich geringer als diejenige des 64-QAM-Datenstroms bei Nicht-Hierarchischer (und auch bei Hierarchischer) Modulation, weil die Verwechslung der Zugehörigkeit eines Zustands zu einem Quadranten weniger wahrscheinlich ist als die Verwechslung zweier beliebiger Zustände. Wenn ein Zustand mit irgend einem anderen im selben Quadranten verwechselt wird, ist die Quadranten-Information ja immer noch korrekt.

Man bekommt also bei der Hierarchischen Modulation im Vergleich zur Nicht-Hierarchischen Modulation für einen Kanal zusätzlich zur Aufspaltung in zwei unabhängige Datenströme in der Tat etwas "geschenkt": ein Datenstrom (der mit der geringeren Datenrate) ist weniger störanfällig als es der Datenstrom bei Nicht-Hierarchischer Modulation wäre, ohne dass dafür bei der Hierarchischen Modulation der Datenstrom mit der höheren Datenrate merklich weniger robust wäre als der Datenstrom des Nicht-Hierarchischen Falls. Dabei ist die Summe der Datenraten der beiden Datenströme der Hierarchischen Modulation

identisch mit der Datenrate bei Nicht-Hierarchischer Modulation. Die Netto-Datenrate wird aber etwas geringer ausfallen, weil wegen der beiden Multiplexe bei Hierarchischer Modulation zweimal der MPEG-TS-Overhead anfällt.

2.3 High und Low Priority Stream (Abkürzungen: HP, LP)

Wie gerade dargestellt, sind die Datenströme der Hierarchischen Modulation unterschiedlich störanfällig. Anders ausgedrückt: die versorgten Sendegebiete sind unterschiedlich groß. Den besser geschützten Datenstrom bezeichnet man als High Priority (HP) Stream, den anderen als Low Priority (LP) Stream. Gegenüber der Nicht-Hierarchischen Modulation kann man mit dem Datenstrom mit niedrigerer Datenrate der Hierarchischen Modulation ein größeres Gebiet versorgen, während für den Datenstrom mit höherer Datenrate das Versorgungsgebiet nur unwesentlich kleiner wird als bei der entsprechenden nicht-hierarchischen Variante. Diese Aufteilung alleine kann schon von praktischem Nutzen sein.

Man kann nun durch Änderung des Modulationsparameters α auch das Versorgungsgebiet des HP- auf Kosten des LP-Streams noch weiter ausdehnen. Dies ist bei dem durch **Bild 1** beschriebenen Konstellationsdiagramm der Fall. Benachbarte Punkte, die in angrenzenden Quadranten liegen, haben hier nämlich den doppelten räumlichen Abstand wie Nachbarn innerhalb eines Quadranten (Modulationsparameter $\alpha=2$). Sie können also bei gestörtem Empfang leichter verwechselt werden. Die ersten beiden Bits kennzeichnen in dem Schema von **Bild 1** den Quadranten. Somit werden diese Bits sicherer übertragen als die anderen vier. Mit $\alpha=4$ wäre der Schutz der 2 vorderen Bits noch besser. Auf der anderen Seite nimmt durch die Verringerung des Abstands der Zustände innerhalb eines Quadranten die Sicherheit der Unterscheidung zwischen den Zuständen bei der Dekodierung ab. Die Verbesserung des Schutzes für jeweils 2 Bits geht also auf Kosten der 4 anderen. Bei $\alpha=4$ ist der Abstand zwischen den Schutzniveaus entsprechend größer als bei $\alpha=2$. Die in der angegebenen

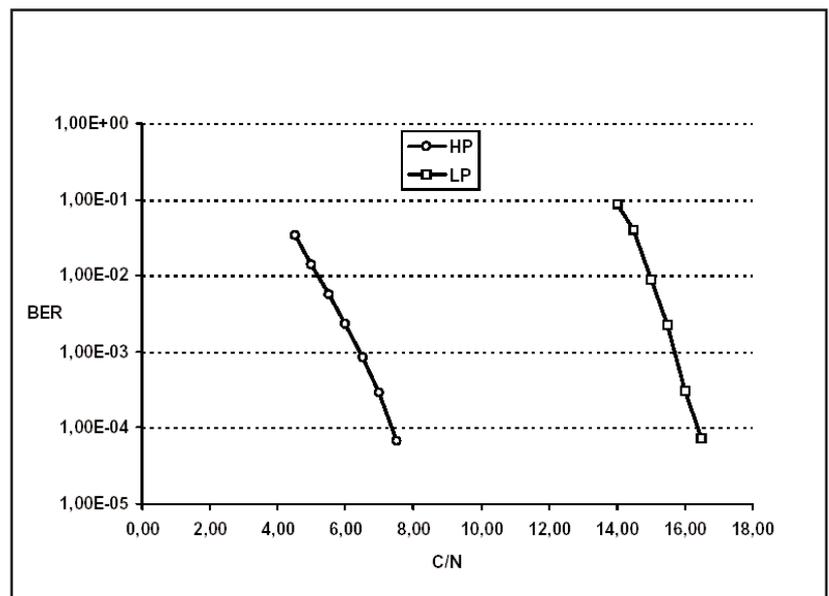


Bild 3: Systemverhalten für Low- und High- Priority Streams bei Hierarchischer Modulation ($\alpha=2$; High Priority: 4-PSK, Coderate: 2/3; Low Priority: 16 QAM, Coderate: 3/4)

Weise besonders geschützten Bits des High Priority Streams können zusätzlich mit einem höheren Fehlerschutz als die des Low Priority Streams übertragen werden, also mit niedrigerer Coderate (z.B. 1/2 oder 2/3). Dies kann z. B. für mobilen Empfang erforderlich sein (siehe 3.3). Zusammen können diese Maßnahmen dazu führen, dass beim High Priority Stream ein wesentlich niedrigeres C/N (Carrier to Noise) -Verhältnis erforderlich ist als beim Low Priority Stream, um die gleiche Fehlerrate (BER = Bit Error Rate) zu erreichen, wie **Bild 3** zeigt.

Zur Beschreibung einer Hierarchischen Modulation sind also drei Parameter erforderlich: α und die Coderates für den HP (High Priority) - und den LP (Low Priority) Stream.

2.4 Nutzen der Hierarchischen Modulation

Ursprünglich gab es Überlegungen, das Prinzip der Aufspaltung eines Datenstroms in zwei Teile mit unterschiedlicher Datenrate und unterschiedlicher Störempfindlichkeit auch auf die Quellencodierung anzuwenden (Hierarchische Quellencodierung). Man wollte damit einem Grundproblem der digitalen Übertragung begegnen, nämlich dem abrupten Ausfall des Empfangs, wenn eine kritische Feldstärke unterschritten wird. Wenn man bei der MPEG-Quellencodierung eine grobe und eine feine Auflösung in zwei Datenströme aufteilen würde (SNR-Scalability), würde bei entsprechender Hierarchischer Modulation bei abnehmender Feldstärke am Empfangsort der Empfang nicht mit einem Schlag ausfallen, sondern zunächst würde sich die

Auflösung der Quellcodierung um eine Stufe verringern. Diese Möglichkeit wurde aber im DVB-T-Standard nicht realisiert, weil dies den Hardware-Aufwand für den Quellendecodierer im Empfänger erhöht hätte.

Im Standard enthalten ist dagegen die übertragungsseitige Anwendung des Prinzips, eben die Hierarchische Modulation, die keinen zusätzlichen Hardware-Aufwand im Empfänger verursacht und bei der die unterschiedlich robusten Konstellationen zur Übertragung verschiedener Programm-Multiplexe mit ungleicher Priorität (High Priority, Low Priority) über einen Frequenzkanal genutzt werden. Die **Bilder 4** und **5** zeigen die entsprechenden Alternativen, die der DVB-T-Standard somit zur Verfügung stellt: 4-PSK und 16-QAM über zwei getrennte TV-Kanäle (bei Nicht-Hierarchischer Modulation) oder 4-PSK in 64-QAM über einen einzigen Kanal (bei Hierarchischer Modulation).

Wie oben dargestellt, sind bei Hierarchischer Modulation die Versorgungsgebiete für die beiden Programm-Multiplexe wegen der verschiedenen Störanfälligkeit schon bei $\alpha=1$ (gleichförmige Modulation) unterschiedlich groß: für den LP-Datenstrom etwa so groß wie bei Nicht-Hierarchischer Modulation, für den HP-Datenstrom dagegen größer. Das HP-Versorgungsgebiet lässt sich auf Kosten des LP-Gebiets noch vergrößern, wenn dies gewünscht wird.

Natürlich sind unterschiedlich große Versorgungsgebiete für die von einem Sender abgestrahlten Programm-Multiplexe nicht immer wünschenswert. Aber ist dies ein prinzipieller Einwand gegen Hie-

rarchische Modulation? Es ist zu bedenken, dass auch ohne Hierarchische Modulation unterschiedliche Reichweiten unumgänglich sein können, hängt doch die Reichweite von der Frequenz (wegen der nationalen und internationalen Frequenzkoordination können DVB-T-Multiplexe auf unterschiedlichen Kanälen meist nicht mit der gleichen Sendeleistung betrieben werden), von dem gewählten Modulationsverfahren und der Coderate ab. Es empfiehlt sich also, jeweils im konkreten Fall zu prüfen, ob Hierarchische Modulation unter den gegebenen Randbedingungen nicht eine bessere Alternative ist.

2.5 Definition von Vergleichsmaßstäben

Wie kann man beurteilen, ob Hierarchische oder Nicht-Hierarchische Modulation für eine konkrete Anwendung günstiger ist? Mit Hierarchischer Modulation können zwei MPEG-Multiplexe mit unterschiedlicher Datenrate und Robustheit (d.h. Versorgungsradius) auf einem Frequenzkanal ausgestrahlt werden. Knappheit an Übertragungskanälen ist also ein Argument für Hierarchische Modulation. Ob unterschiedlich große Versorgungsgebiete akzeptabel oder sogar erwünscht sind, hängt vom Einzelfall ab. Im Folgenden werden für konkrete Anwendungsfälle die Versorgung für verschiedene Möglichkeiten der Hierarchischen Modulation mit einer wichtigen Variante der Nicht-Hierarchischen Modulation (16-QAM, Coderate: 2/3) verglichen. Dafür ist ein allgemein anwendbarer Vergleichsmaßstab erforderlich.