

# Schritte zum digitalen terrestrischen Fernsehen

Autor(en): **Klingler, Achill / Corti, Damien**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology**

Band (Jahr): **74 (1996)**

Heft 4

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876759>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*  
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, [www.library.ethz.ch](http://www.library.ethz.ch)

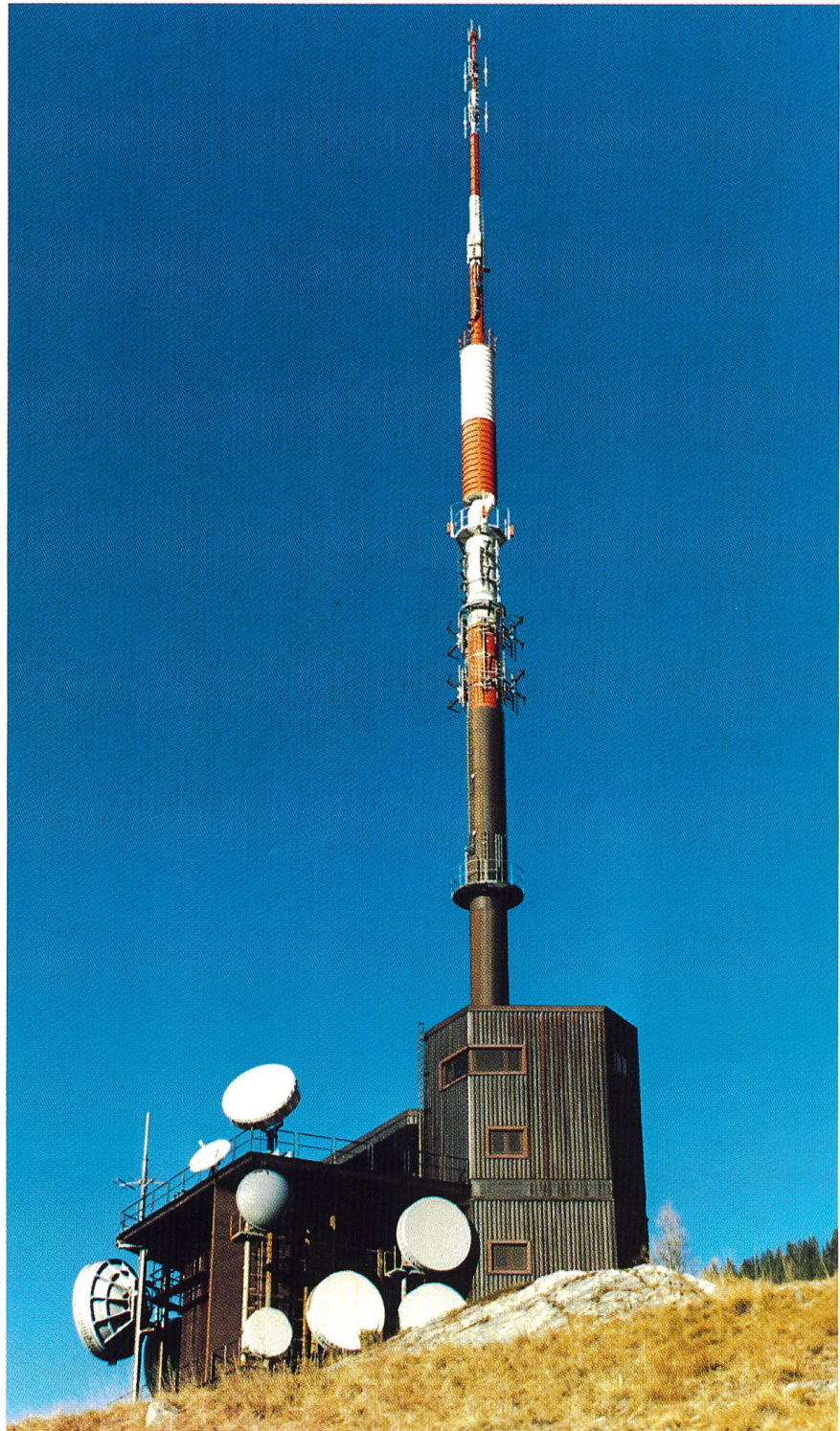
<http://www.e-periodica.ch>

DIGITALER FERNSEHRUNDFUNK

# SCHRITTE ZUM DIGITALEN TERRESTRISCHEN FERNSEHEN

Die Geschichte des digitalen Rundfunks begann eigentlich bereits vor mehr als einem Jahrzehnt, als innerhalb verschiedener Forschungsprojekte gezeigt werden konnte, dass es möglich ist, Fernsehbilder zu komprimieren und dadurch mit einer reduzierten Datenrate zu übertragen, ohne dass der Zuschauer eine Qualitätseinbuße in Kauf nehmen muss. Seither sind weltweit zahlreiche Unternehmen daran, Know-how auf dem Gebiet des digitalen Fernsehens zu erarbeiten und funktionsfähige Netze zu bauen. Der vorliegende Bericht beschreibt die in der Schweiz im Rahmen des Projektes VIDINET bis jetzt durchgeführten Aktivitäten und geht näher auf die neue Technik ein.

Mehrweckanlage Feschel der Telecom PTT in der Nähe von Leuk (Wallis) in einer Höhe von rund 1250 m ü. M.



In Europa befasst sich das Projektteam DVB (Digital Video Broadcasting), das im September 1993 gegründet wurde und dem heute rund 170 Organisationen aus 21 europäi-

ACHILL KLINGLER UND  
DAMIEN CORTI, BERN

schen Ländern angehören, mit den Aspekten des digitalen Fernsehens. Die Schweizer Telecom PTT ist ebenfalls aktives Mitglied.

Im weiteren arbeitet die Schweizer Telecom PTT seit einiger Zeit eng mit der Deutschen Telekom AG zusammen, welche im Rahmen des Projektes VIDINET (Video in digitalen Netzen) im Raum Berlin ein Versuchsnetz mit DVB-Sendern aufgebaut und schon zahlreiche Feldmessungen durchgeführt hat.

Um auch Erfahrungen in topographisch schwierigem Gelände zu sammeln, hat die Schweizer Telecom PTT als Standort für ein eigenes Versuchsnetz das Wallis gewählt. Hier beherrschen hohe Berge und glatte Felswände das Landschaftsbild, was bei der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen zu zahlreichen Reflexionen mit relativ grossen Laufzeitunterschieden führt. Diese Situation ist somit hervorragend geeignet, um das Systemverhalten bei Mehrwegempfang zu testen.

## Ziele des Projektes VIDINET

Im Rahmen des Projektes VIDINET soll ein Versuchsnetz aufgebaut werden, das aus zwei bis drei DVB-Fernsehsendern besteht, welche alle auf dem gleichen Kanal senden und synchron betrieben werden. Dabei stehen primär die Fragen des terrestrisch verbreiteten Fernsehens im Vordergrund, obwohl auch Aspekte der Satelliten- und Kabelübertragung, beispielsweise bei der Senderanspeisung, tangiert werden. Das primäre Ziel ist, umfassende Kenntnisse auf dem Gebiet des digitalen Rundfunks zu erlangen und mögliche Szenarien für die Einführung von digitalem Fernsehen zu erarbeiten.

Ebenfalls sind die neuartigen, komplexen Kompressions-, Modulations- und Multiplexierungsverfahren in der Praxis zu erproben, und einheitliche

Planungs- und Messmethoden müssen erarbeitet werden. Im weiteren ist vorgesehen, umfangreiche Messungen durchzuführen, so dass es möglich ist, konkrete Aussagen über die Robustheit und die Verfügbarkeit des digitalen Fernsehens bei stationärem, portablem oder für spätere Datendienste mobilem Empfang zu machen.

Die Resultate sollen auch in die auf dem Gebiet des digitalen Fernsehens tätigen internationalen Gremien einfließen und dazu beitragen, den Normierungsprozess für die Systemkomponenten zu beschleunigen.

## Einige theoretische Grundlagen

### Die Signalerzeugung im Studio

Heute werden die Fernsehstudios grundsätzlich in digitaler Komponententechnik realisiert. Die Norm dazu findet man in den ITU-R-Empfehlungen 601 und 656. Bei der Digitalisierung wird das Luminanzsignal Y pro Zeile 864mal abgetastet, was bei einer Zeilendauer von 64 µs zu einer Abtastfrequenz von 13,5 MHz führt.

Die beiden Chrominanzsignale  $C_B$  und  $C_R$  werden pro Zeile 432mal abgetastet. Daraus resultiert eine Abtastfrequenz von 6,75 MHz. Das Verhältnis der Abtastfrequenzen von Y,  $C_B$  und  $C_R$  ist 13,5 MHz zu 6,75 MHz zu 6,75 MHz bzw. 4 : 2 : 2. Deshalb spricht man bei einer  $Y_{C_B C_R}$ -Übertragung auch vom Format 4 : 2 : 2.

Für die Rundfunkübertragung ist eine

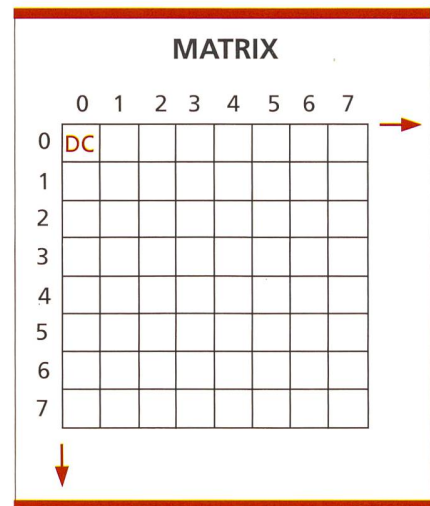


Bild 1. 8x8-DCT-Koeffizienten-Matrix. Langsam veränderliche Pixelstrukturen: linke obere Ecke. Schnell veränderliche horizontale Pixelstrukturen: rechts. Schnell veränderliche vertikale Pixelstrukturen: unten.

Quantisierung von 8 bit vorgesehen. Daraus ergibt sich gemäss Tabelle 1 eine Bruttobitrate von 216 Mbit/s.

### Die Datenreduktion im Videocoder

Für die Übertragung eines Datenstroms von 216 Mbit/s ist eine Bandbreite von einigen 10 MHz erforderlich. Damit diese Bandbreite verringert werden kann, muss die Datenrate durch die Videocoder pro Kanal auf rund 6 Mbit/s reduziert werden. Die Datenreduktion basiert auf der Grundidee, dass nicht die gesamten Fernsehbilder, sondern nur die Änderungen übertragen werden. Dabei wird die Eigenschaft ausgenutzt, dass

## Verwendete Abkürzungen

ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication
DCT	Discrete Cosinus Transformation
DVB	Digital Video Broadcasting
MPEG	Motion Picture Experts Group
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
TDVB	Terrestrial Digital Video Broadcasting
UHF	Ultra High Frequency
VIDINET	Video in digitalen Netzen
ZF	Zwischenfrequenz

**QUANTISIERUNGSMATRIX**

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	8	16	19	22	26	27	29	34
1	16	16	22	24	27	29	34	37
2	19	22	26	27	29	34	34	38
3	22	22	26	27	29	34	37	40
4	22	26	27	29	32	35	40	48
5	26	27	29	32	35	40	48	58
6	26	27	29	34	38	46	56	69
7	27	29	35	38	46	56	69	83

Bild 2. Beispiel einer Quantisierungsmatrix.

einerseits Teile innerhalb eines Bildes und andererseits aufeinanderfolgende Bilder miteinander korrelieren, das heisst eine gewisse Abhängigkeit aufweisen. Wenn benachbarte Punkte eines Bildes ähnliche Helligkeits- oder Farbwerte haben, spricht man von räumlicher Korrelation, wenn aufeinanderfolgende Bilder eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen, von zeitlicher Korrelation.

*Die räumliche Kompression*

Das Bild wird in Blöcke von 8x8 Bildpunkten aufgeteilt und blockweise der diskreten Kosinustransformation (DCT) unterzogen. Ein Block von 8x8 Bildpunkten ergibt bei dieser Transformation ebenfalls wieder einen Block von 8x8 DCT-Koeffizienten, wie in Bild 1 dargestellt. Die DCT-Koeffizienten können als Spektralkomponenten der Bildblöcke interpretiert werden. In strukturlosen Bildbereichen liegt praktisch nur ein Gleichanteil (DC) vor, während feine Bilddetails auch hochfrequente Spektralkomponenten aufweisen.

Im nächsten Schritt wird eine Quantisierung der DCT-Koeffizienten durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass in stark strukturierten Gebieten des Bildes hochfrequente Fehler kaum sichtbar sind, so dass höherfrequente DCT-Koeffizienten gröber quantisiert werden können als niederfrequente.

Die Werte der DCT-Koeffizientenmatrix werden durch die Werte der Quantisierungsmatrix, wie sie in Bild 2 gezeigt ist, dividiert und anschliessend gerundet. Die Werte der im Beispiel gezeigten Quantisierungsmatrix

sind auf der Basis subjektiver Studien ermittelt worden und so gewählt, dass höherfrequente Anteile gröber quantisiert werden als niederfrequente.

Die quantisierten DCT-Koeffizienten werden nun gemäss Bild 3 zick-zackförmig abgetastet. Dadurch entsteht eine Zahlenfolge, die im gewählten Beispiel wie folgt aussieht:

0 -25 -23 0 6 0 -2 0 0 -2 -1 0 0  
0 -1 0 0

Die darin enthaltenen, zum Teil längeren Nullfolgen werden nun nicht einzeln übertragen, sondern abgekürzt durch ihren Faktor wiedergegeben, was zu nachfolgender Reihe führt:

0 -25 -23 1x0 6 1x0 -2 2x0 -2 -1 3x0 -1 nx0

In der Praxis hat sich gezeigt, dass grosse Werte in einer solchen Reihe wesentlich weniger auftreten als kleine Werte. Deshalb werden bei der nachfolgenden Codierung den seltener auftretenden grossen Werten längere Codeworte und den häufiger auftretenden kleinen Werten kürzere Codeworte zugeordnet. Man spricht in diesem Fall von einer variablen Längencodierung. Die dadurch hervorgerufene variable Datenrate muss in einem nachfolgenden Pufferspeicher wieder ausgeglichen werden.

*Die zeitliche Kompression*

In Bildsequenzen ändert sich im allgemeinen der Bildinhalt von einem Bild

**DCT-KOEFFIZIENTEN**

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	-25	0	-2	-1	0	0	0
1	23	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-2	0	0	0	0	0	0	0
4	-1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

Abtastreihenfolge

Bild 3. Matrix der quantisierten DCT-Koeffizienten.

B1 zum darauffolgenden Bild B2 nicht wesentlich. Ausnahmen sind harte Szenenschnitte, schnelle Kameraschwenks und sich rasch bewegende Objekte. Die Eigenschaft, dass die Bildinhalte voneinander abhängig sind, wird zur Datenreduktion in allen Videocodern ausgenutzt. Dazu wird das Bild B2 meist in quadratische Blöcke, beispielsweise 16x16 Bildpunkte, aufgeteilt und für jeden Block die Position im vorangegangenen Bild B1 bestimmt, in dem der nahezu gleiche Bildinhalt dargestellt ist. Diese Positionsverschiebung, auch Bewegungsvektor genannt, wird mit einem Bewegungsschätzer bestimmt. Zur Ausnutzung der zeitlichen Abhängigkeit muss das Bild B2 aus dem bereits codierten Bild B1 vorhergesagt,

**PRÄDIKTION**

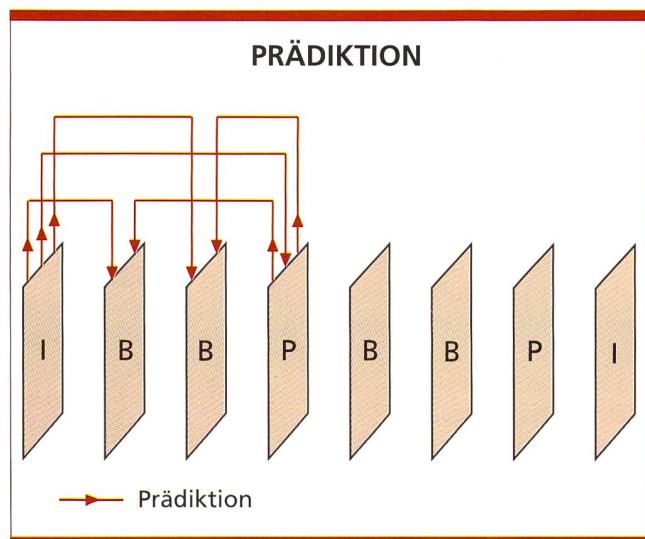


Bild 4. Bildgruppe für die Prädiktion bei Vollbildern.

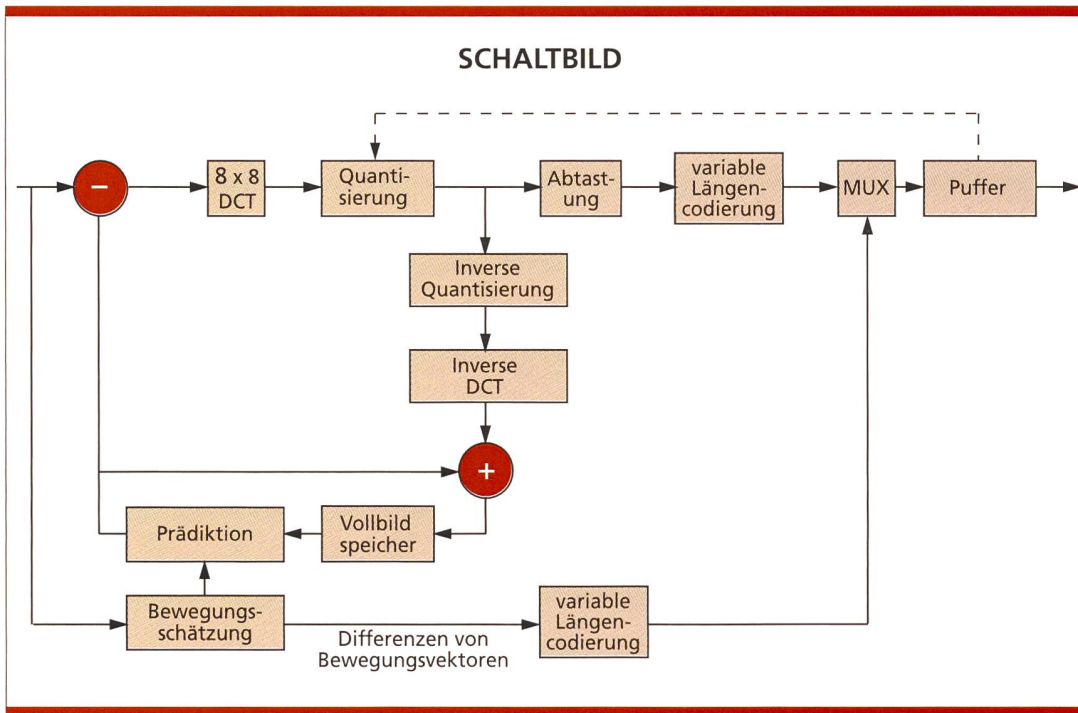


Bild 5. Prinzipialschaltbild eines Videocoders.

das heisst prädiziert werden. Dazu gibt es folgende Möglichkeiten:

- Bilder, die ohne Prädiktion codiert werden, heissen intracodierte Bilder (I-Bilder).
- Bilder, die in bezug auf ein vorangehendes I-Bild codiert werden, heissen vorhergesagte oder prädizierte Bilder (P-Bilder).
- Bilder, die aus einem nachfolgenden und einem vorangegangenen Bild vorhergesagt werden, heissen bidirektional interpolierte Bilder (B-Bilder).

Beim Fernsehen muss etwa alle 0,5 s ein I-Bild übertragen werden, um einerseits neu hinzugekommenen Fernsehteilnehmern die Decodierung zu ermöglichen und andererseits einen «Neustart» bei Übertragungsstörungen zu gewährleisten. Eine mögliche Bildgruppe für die Prädiktion von Vollbildern ist in Bild 4 gezeigt. Ist die Verschiebung des Blocks zwischen zwei Bildern durch den Bewegungsvektor ausreichend gut beschrieben, wird nur der Vektor selber codiert und übertragen, sonst zusätzlich die transformierte Differenz zwischen dem vorhergesagten Bild und dem Originalbild. Falls die Prädiktion sehr schlecht ist, wird der Block direkt codiert und keine Verschiebung über-

tragen. Für die Übertragung benötigen die P-Bilder rund  $\frac{1}{3}$  und die B-Bilder rund  $\frac{1}{8}$  der Datenmenge der I-Bilder. Bild 5 zeigt das prinzipielle Schaltbild eines Videocoders.

### Das OFDM-Modulationsverfahren

Beim Modulationsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) handelt es sich um ein Übertra-

## HINTERGRUND

Das digitale Fernsehen weist gegenüber dem analogen PAL- oder PALplus-Fernsehen einige Vorteile auf:

So ist es möglich, in Abhängigkeit von dem gewählten Kompressions- und Modulationsverfahren sowie der geforderten Bildqualität vier bis zehn Programme in einem einzigen herkömmlichen 8 MHz breiten analogen Kanal zu übertragen. Diese frequenzsparende Eigenschaft ist sehr bedeutungsvoll, wenn man bedenkt, dass die Übertragungskapazität des bestehenden analogen terrestrischen Netzes weitgehend ausgeschöpft ist und zusätzliche Fernsehprogramme oder andere Dienste in einigen Gebieten nur noch via Kabel verbreitet werden können.

Um ein Gebiet terrestrisch in guter Qualität versorgen zu können, kommt das digitale Fernsehen mit einem wesentlich geringeren Störabstand aus als das analoge System, so dass die Senderleistung merklich reduziert werden kann.

Mit Hilfe geeigneter Modulationsverfahren wird es möglich sein, Gleichwellennetze, das heisst Netze, bei denen benachbarte Sender synchron auf dem gleichen Kanal betrieben werden, aufzubauen. Dadurch ist eine sehr effiziente Nutzung des Frequenzspektrums möglich.

Digitales Fernsehen wird weitgehend unempfindlich gegen Mehrwegausbreitung sein, so dass auch der portable Empfang in sehr guter Qualität möglich sein wird. Dies ist nicht zuletzt im Hinblick auf die sich abzeichnende Entwicklung bei den Bildschirmen, deren Bauart immer flacher wird, ein interessanter Aspekt.

Mit der neuen Technologie können nicht nur Fernseh- und Radioprogramme, sondern auch Daten verschiedenster Anbieter drahtlos zum Kunden übertragen werden.

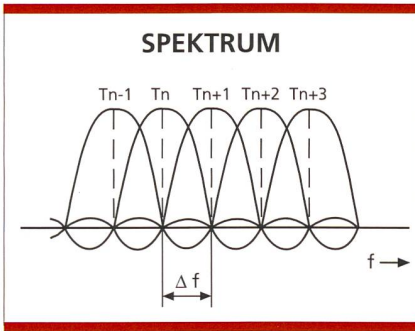


Bild 6. Spektrum beim OFDM-Verfahren.

ungsverfahren im Frequenzmultiplex, bei dem die Information über eine grosse Zahl von Trägern parallel übertragen wird. Die 1024 (1k) bis 8192 (8k) Träger sind auf der Frequenzachse alle im gleichen Abstand  $\Delta f$  angeordnet.

Im Gegensatz zu 1-Träger-Modulationsverfahren ist das OFDM-Übertragungsverfahren relativ unempfindlich gegen Mehrwegausbreitung, welche durch Reflexionen der elektromagnetischen Wellen zwischen Sender und Empfänger entsteht.

Bild 6 zeigt einen Ausschnitt des Spektrums. Man erkennt, dass das Spektrum des Trägers  $T_n$  an den Orten der Nachbarträger  $T_{n-1}$  bzw.  $T_{n+1}$  Null ist. In Bild 7 ist das Grundprinzip des OFDM-Übertragungsverfahrens bei der Modulationsart 64-DAPSK dargestellt. Aus dem Zustandsdiagramm ist ersichtlich, dass die einzelnen Träger vier verschiedene Amplituden und 16 unterschiedliche Phasenlagen annehmen können. Der codierte und mit einem Fehlerschutz versehene MPEG-Datenstrom mit einer Datenrate von 34 Mbit/s wird deshalb in Gruppen von 6 bit aufgeteilt. Jede Gruppe oder jedes Wort moduliert einen Träger in seiner Amplitude und Phase. So lassen sich bei der gewählten Wortlänge von 6 bit insgesamt  $2^6 = 64$  verschiedene Zustände der Träger erreichen.

Durch eine inverse Fast-Fourier-Transformation der 2048 Punkte wird das 64-DAPSK-modulierte Signal zu einem OFDM-Symbol zusammengefasst. Die gesamte Symbollänge ist  $T_s$ . Ein OFDM-Symbol besteht aus zwei Teilen: einem aktiven Teil, welcher die Daten überträgt, und einem passiven Teil, dem sogenannten Guard- oder Schutzintervall  $T_G$ . Das Guardintervall wird vor dem aktiven Teil des Symbols

übertragen. Mit Hilfe der Fourier-Theorie kann man zeigen, dass die Frequenz  $\Delta f$  zwischen zwei Trägern genau dem Reziprokwert der aktiven OFDM-Symbollänge  $T_U$  entspricht. Mit der Modulationsart 64-DAPSK sowie unter Berücksichtigung des Guard-Intervalls und der Hilfsträger erreicht man eine praktische Bandbreiteneffizienz von rund 4,3 bit/s/Hz, so dass in einem 8 MHz breiten Fernsehkanal der Datenstrom von 34 Mbit/s, welcher vier codierten Fernsehprogrammen entspricht, übertragen werden kann.

## Der VIDINET-Versuchsaufbau

### Die Signalaufbereitung

Bild 8 zeigt die Signalerzeugung für den VIDINET-Versuch. Sämtliche dazu erforderlichen technischen Ausrüstungen befinden sich im Forschungs- und Technologiezentrum der Deutschen Telekom AG in Berlin.

Die Bild- und Tonsignale der vier verschiedenen Programme stammen entweder aus einer Kamera mit nachgeschaltetem Analog/Digital-Wandler oder direkt ab digitalen Magnetband-Aufzeichnungsmaschinen. Die Datenrate an der Schnittstelle S1 beträgt pro Kanal 216 Mbit/s, entsprechend den ITU-R-Empfehlungen 601 und 656. Müsste diese hohe Datenrate übertragen werden, wäre dazu selbst bei Verwendung aufwendiger Modulationsverfahren, eine Bandbreite von einigen 10 MHz erforderlich. Deshalb müssen die Daten in der nachfolgenden Stufe, den Videocodern, in einem komplexen Verfahren komprimiert werden. Die Datenrate an der Schnittstelle S2 beträgt pro Kanal nur noch 6 Mbit/s. Der Multiplexer fasst die vier verschiedenen Kanäle zu einem einzi-

gen Bitstrom mit einer Datenrate von 34 Mbit/s zusammen (Schnittstelle S3). Anschliessend wird das digitale Signal phasenmoduliert (Schnittstelle S4 : ZF = 70 MHz) und über eine Parabolantenne auf den deutschen Fernmeldesatelliten Kopernikus DFS-1 gebracht (30-GHz-Uplink).

### Die DVB-Sendeanlage

In Bild 9 ist die DVB-Sendeanlage schematisch dargestellt. Gesendet wird von der Mehrzweckanlage Feschel der Telecom PTT, welche sich in der Nähe von Leuk (Wallis) in einer Höhe von rund 1250 m ü. M. befindet. Über eine Parabolantenne wird das Signal vom Satelliten Kopernikus empfangen (20-GHz-Downlink), in die ZF-Lage gebracht und mit einem QPSK-Satellitendemodulator demoduliert, so dass an der Schnittstelle S3 wieder der ursprüngliche digitale Bitstrom von 34 Mbit/s zur Verfügung steht.

Damit die digitale Information terrestrisch übertragen werden kann, muss der Datenstrom moduliert werden. Beim VIDINET-Versuch wird dafür das Mehrträgerverfahren OFDM in Kombination mit einer differentiellen Amplituden- und Phasenmodulation angewandt. Im Gegensatz zum analogen PAL-Fernsehen, wo das Bild auf dem amplitudenmodulierten Bildträger und die Töne auf zwei frequenzmodulierten Tonträgern übertragen werden, sind die zu übertragenden Daten beim OFDM-Modulationsverfahren auf mehrere HF-Träger verteilt. Im VIDINET-Versuch wurde mit 2048 Trägern gearbeitet, wobei die internationalen Normen bis 8192 (8k) Träger vorsehen. Das gewählte Modulationsverfahren weist eine gute Bandbreiteneffizienz auf. So können theoretisch bis zu 6 bit/s/Hz übertragen werden.

Signal	Abtastfrequenz [Mbit/s]	Quantisierung [bit]	Datenrate [Mbit/s]
Y	13,5	8	108
C <sub>B</sub>	6,75	8	54
C <sub>R</sub>	6,75	8	54
Total			216

Tabelle. Datenrate der Videosignale.

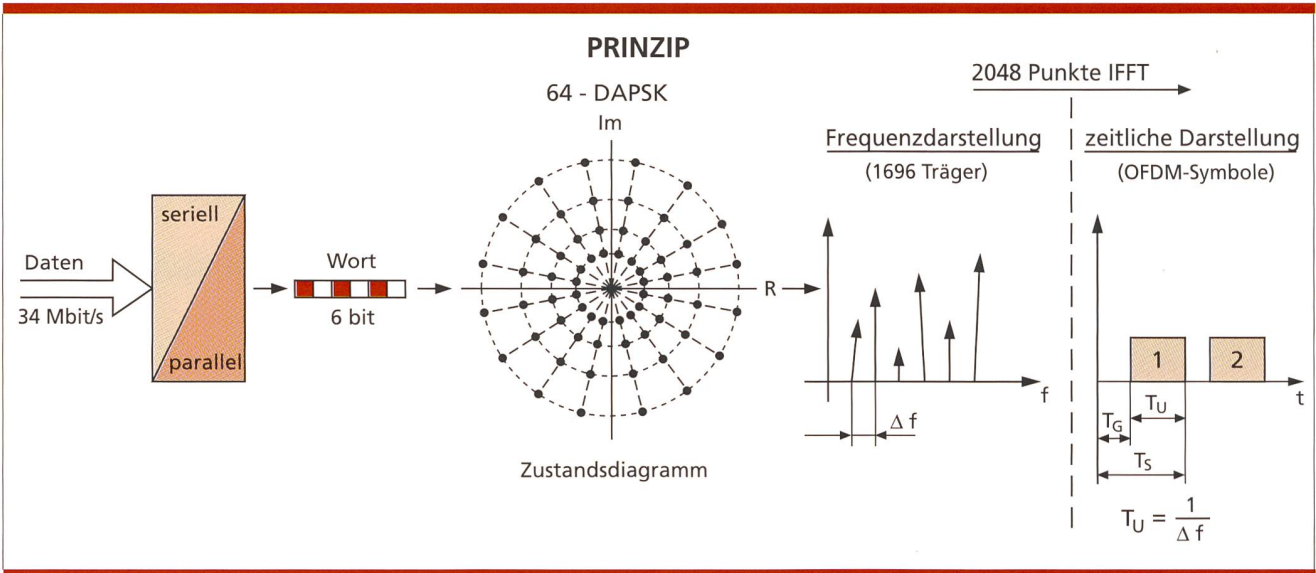


Bild 7. Prinzip des OFDM-Übertragungsverfahrens (2k-FFT).

IFFT inverse Fast-Fourier-Transformation  
 $T_U$  Länge des aktiven Teils des OFDM-Symbols  
 $T_S$  Länge des gesamten OFDM-Symbols

$T_G$  Guardintervall  
 $\Delta f$  Frequenzabstand zwischen zwei Trägern  
 DAPSK Differential Amplitude Phase Shift Keying

Das an der Schnittstelle S4 vorhandene modulierte Signal mit einer Zwischenfrequenz ZF von 35,9 MHz wird der DVB-Sendervorstufe zugeführt und via Senderendstufe auf Kanal 59 abgestrahlt. Zu Vergleichs- und Messzwecken kann wahlweise auch ein PAL-Signal (Generator oder Kamera) zugeführt und abgestrahlt werden.

**Die DVB-Empfangsanlage**

Die DVB-Empfangsanlage (Bild 10) wurde in der Telefonzentrale in Raron (Wallis) aufgebaut. Raron liegt in östlicher Richtung von der Sendeanlage Feschel und ist rund 10 km entfernt. Mit Hilfe des UHF-Empfängers und des OFDM-Demodulators wird aus

dem auf Kanal 59 empfangenen Signal wieder der ursprüngliche 34-Mbit/s-Datenstrom zurückgewonnen (Schnittstelle S3). Der Demultiplexer teilt nun diesen Bitstrom wieder in die Daten der vier verschiedenen Kanäle auf (Schnittstelle S4). In den nachfolgenden Videodecodern erfolgt die Dekompression, so dass an der

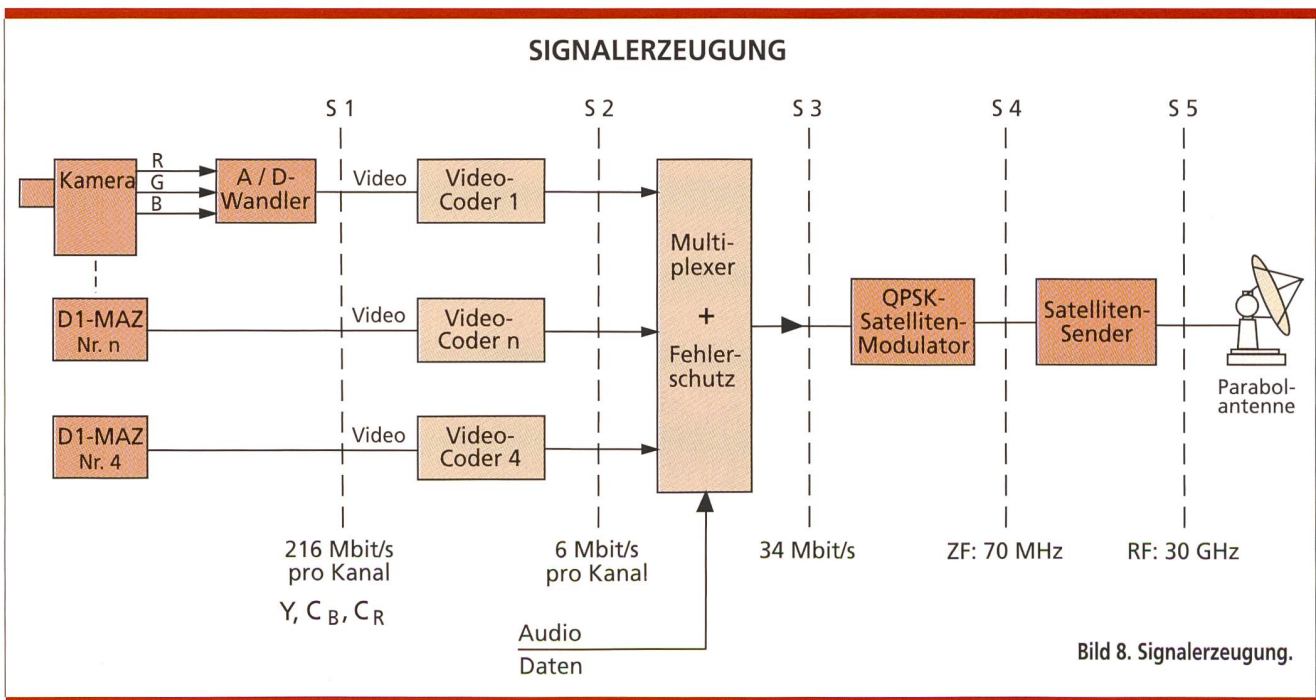
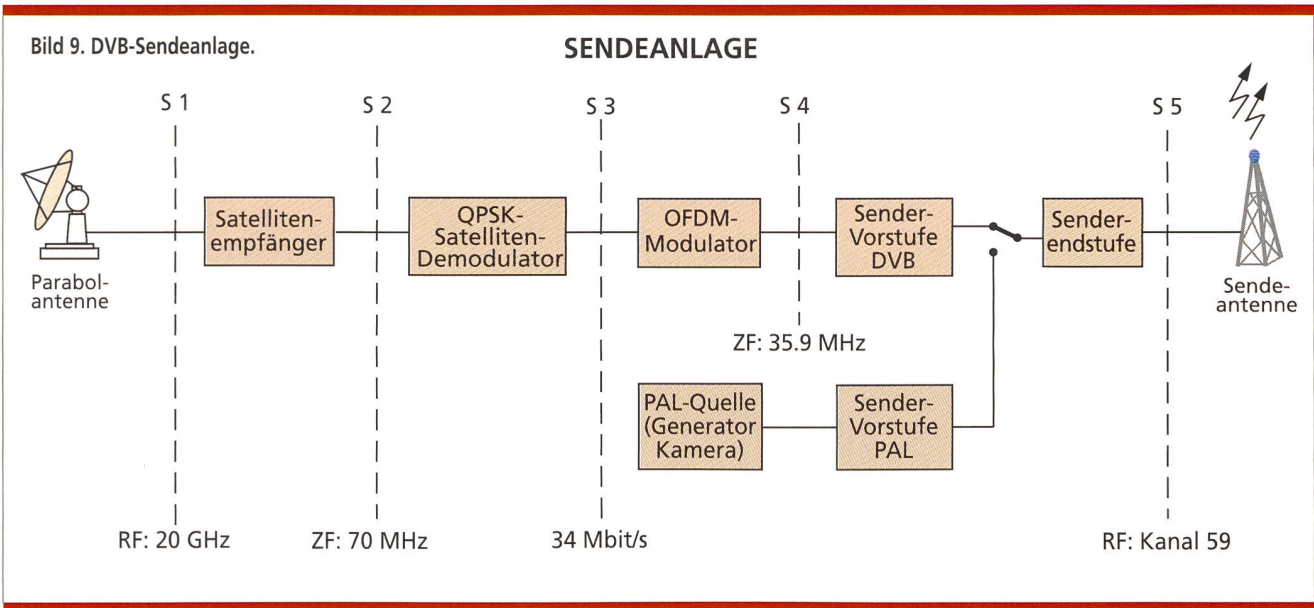


Bild 8. Signalerzeugung.



Schnittstelle S5 pro Kanal ein Signal mit der Datenrate von 216 Mbit/s ansteht. Damit die Bilder auf den Monitoren mit dem neuen Bildseitenverhältnis von 16 : 9 dargestellt werden können, werden die Signale digital/analog gewandelt und den RGB-Eingängen der handelsüblichen Fernsehempfänger zugeführt.

stehen für die eigentliche Datenübertragung und 64 Träger für die Synchronisation zur Verfügung. Die Bandbreite beträgt 7,57 MHz, der Frequenzabstand  $\Delta f$  zwischen den einzelnen Trägern 4,46 kHz. Das Guardintervall ist 56  $\mu$ s lang, und als Modulationsart wird 64-DAPSK eingesetzt.

nem 8 MHz breiten Fernsehkanal terrestrisch von Feschel nach Raron übertragen. Bei diesem Versuch beeindruckte vor allem die geringe Senderleistung, die gewählt werden kann, ohne dass Störungen bei der Übertragung der Fernsehprogramme auftreten. Ebenfalls sind bereits erste Messungen mit dem Ziel durchgeführt worden, das neue DVB-System in topographisch schwierigem Gelände auf sein Verhalten zu testen und praktische Erfahrungen zu sammeln.

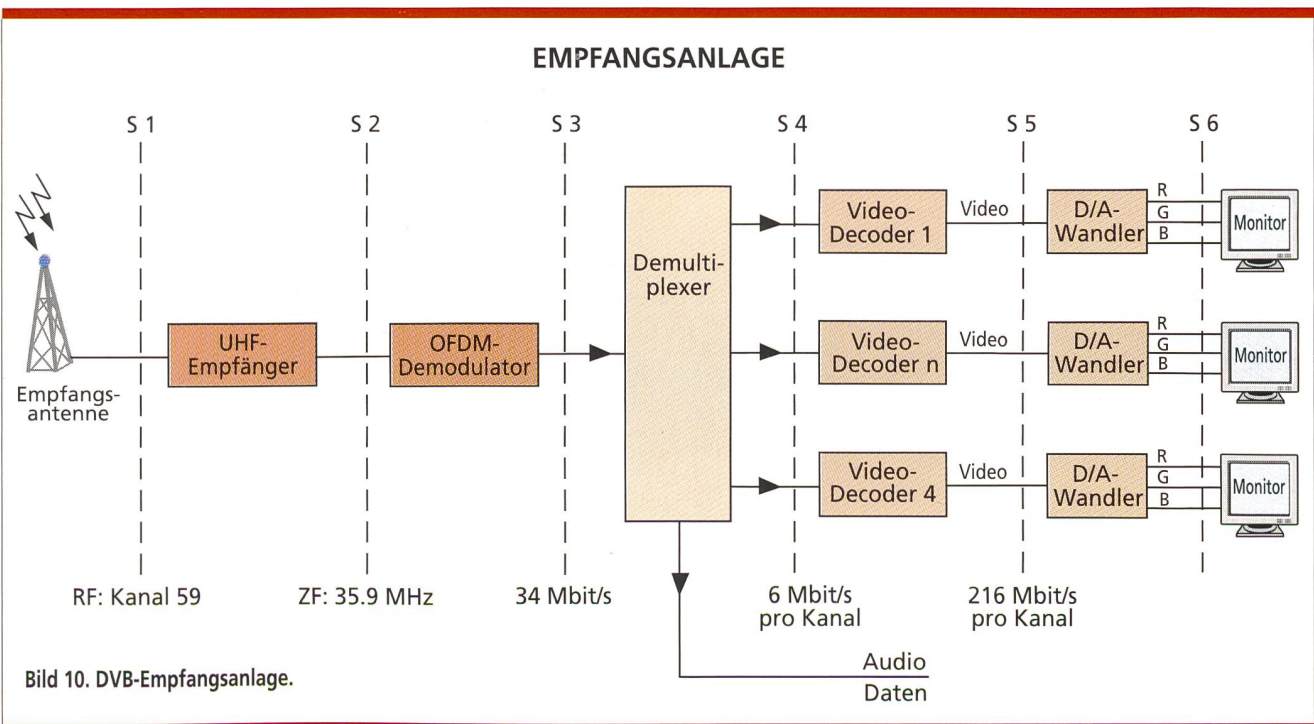
**Die Parameter**

Im VIDINET-Versuch wird eine 2048-Punkte-FFT verwendet. 1632 Träger

**Durchgeführte Messungen**

Im Oktober 1995 wurden erstmals vier digital aufbereitete Programme in ei-

Die durchgeführten Messungen ha-



**Bild 10. DVB-Empfangsanlage.**



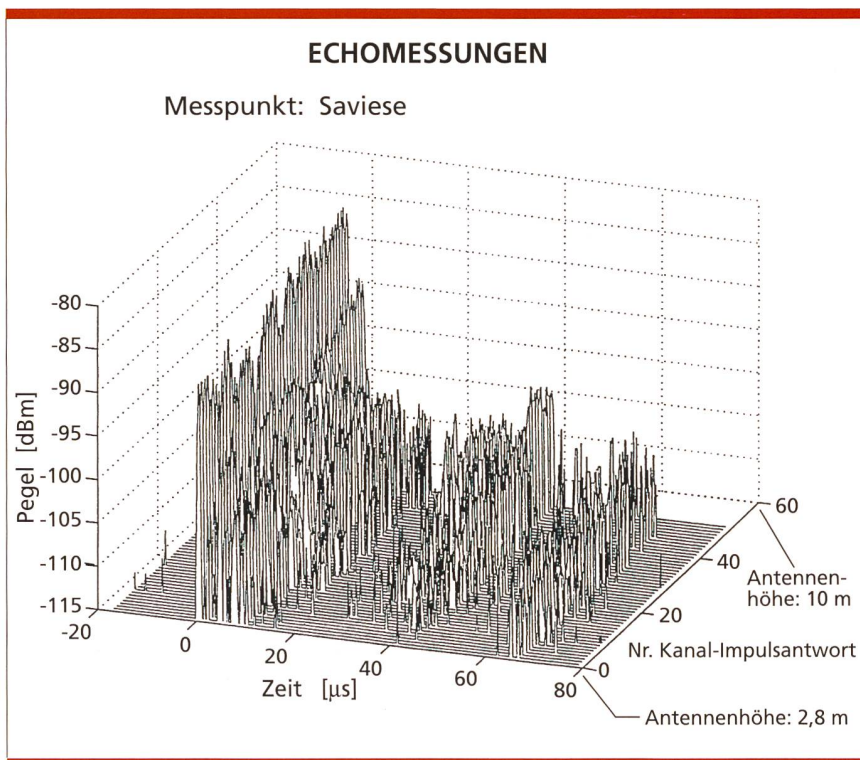


Bild 11a. Echomessungen.

ben gezeigt, dass das digitale terrestrische Fernsehen im Vergleich zum analogen PAL-Fernsehen ein sehr robustes System ist.

**Echomessungen**

Mit Hilfe eines Channel Sounders wird die Kanalimpulsantwort gemessen. Bei dieser Messung kann festgestellt werden, wie gross die Amplituden und Laufzeiten der Echos an einem bestimmten Messpunkt sind. Die Kanalimpulsantwort wird für verschiedene Antennenhöhen zwischen 2,8 und 10 m ermittelt.

Die Bilder 11a und 11b zeigen zwei extreme Fälle, bei denen der portable DVB-Empfang vermutlich nicht mehr garantiert werden kann. Kritisch sind vor allem Echos mit sehr langen Laufzeiten, die das Guardintervall verletzen (Bild 11a), oder kurze Echos mit hohem Pegel (Bild 11b).

**Messung der Bitfehlerrate**

Für die Messung der Bitfehlerrate wird an der Schnittstelle S3 in Bild 9 ein Datenstrom mit einer Datenrate von 34 Mbit/s mit einer bekannten Bitfolge durch einen Pseudorandom-generator erzeugt, moduliert und mit

einer mittleren Leistung von 400 W über die Antenne abgestrahlt. Das Signal wird in Raron mit einer Antenne ohne horizontale Richtwirkung empfangen, demoduliert und von einem Bitfehlermessgerät (Wandel & Goltermann PF5) analysiert. Die Bit-

fehlerrate ist ein direktes Mass für die Übertragungsqualität. Wenn die Bitfehlerrate grösser als etwa  $10^{-2}$  wird, kann der Demultiplexer nicht mehr synchronisieren, was zu einem Ausfall des Bildes führt.

**Der Einfluss der Echos auf den Empfänger**

In Bild 12 ist der Einfluss der Mehrwegausbreitung, welche durch die Reflexion der elektromagnetischen Wellen auf dem Weg zwischen Sender und Empfänger auftreten kann, dargestellt. Auf dem direkten Pfad gelangen die OFDM-Symbole 1, 2, 3 ... n zum Empfänger. Die gesamte OFDM-Symbollänge ist  $T_s$ , das Guardintervall  $T_G$ .

Über Umwege erreichen die reflektierten OFDM-Symbole nach der Zeit  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$  ebenfalls den Empfänger. Solange die Verzögerungszeit der Echos  $\tau_n$  kleiner ist als das Guardintervall, ist der Empfänger in der Lage, die Hauptsymbole n und die verzögerten Symbole n' zu erkennen und die nötigen Korrekturen durchzuführen. Sobald die Verzögerungszeit  $\tau_n$  jedoch wesentlich grösser wird als das Guardintervall, fallen Teile des verzögerten Symbols n'' mit Teilen des Hauptsymbols n+1 zusammen, was zu massiven Empfangsstörungen führen kann.

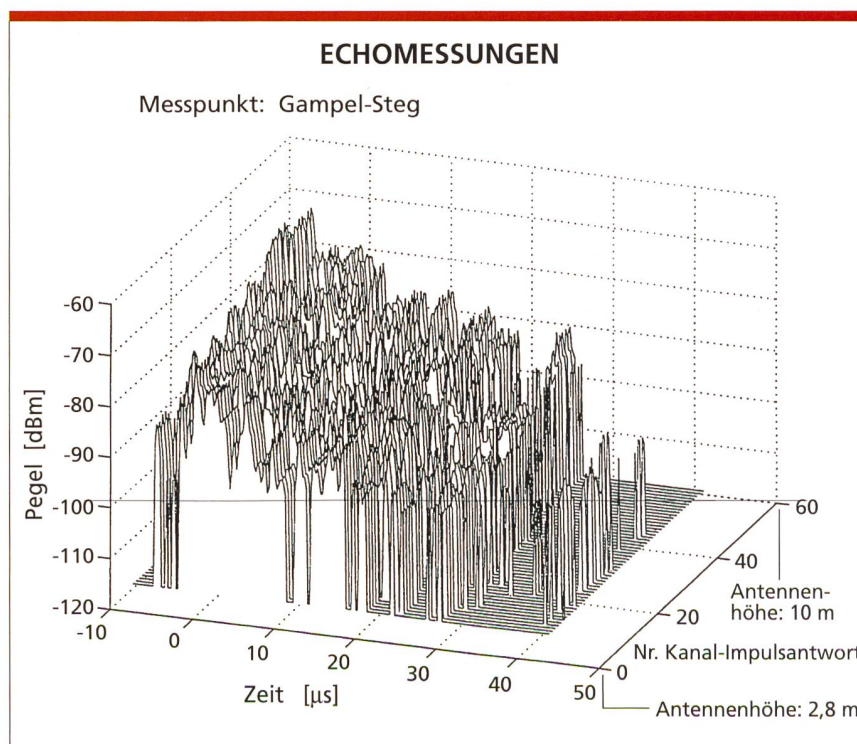


Bild 11b. Echomessungen.

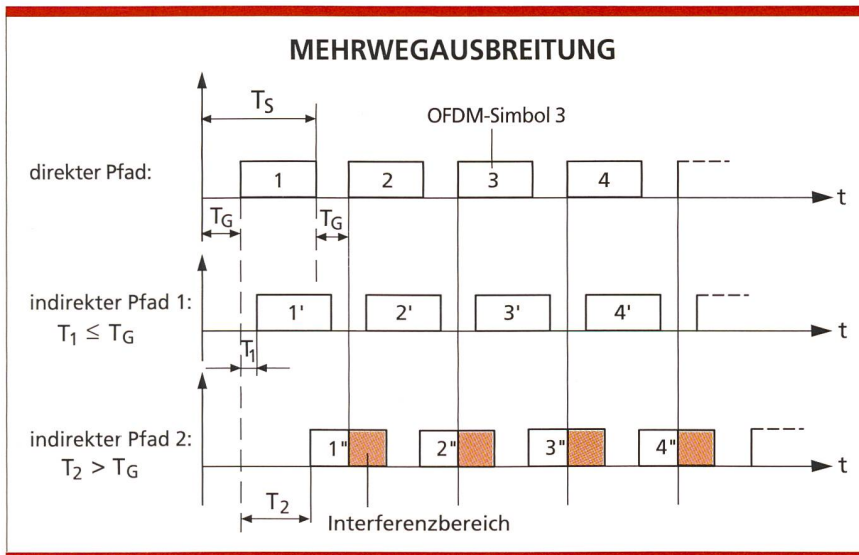


Bild 12. Einfluss der Mehrwegeausbreitung.

$T_S$  OFDM-Symbollänge  
 $T_G$  Guardintervall  
 $T_n$  Verzögerungszeit Echo

## Blick in die Zukunft

Mitte 1996 wird ein zweiter DVB-Sender ebenfalls auf Kanal 59 im Wallis verfügbar sein, um weitere Feldversuche in einem einfachen Gleichwellennetz durchführen zu können. Ziel der Telecom PTT ist, sich intensiv mit den neuen Technologien auseinanderzusetzen und sich Know-how für Planung, Aufbau und Vermarktung von DVB-Systemen und -Diensten anzueignen.

Sobald Set-Top-Boxen auch für den terrestrischen DVB-Empfang erhältlich sind, wird der Durchbruch der digitalen Fernsehtechnik kaum mehr aufzuhalten sein, um so weniger als dank dieser Boxen die vorhandenen Fernsehempfänger weiterverwendet werden können.

Da das digitale Fernsehen die nur beschränkt vorhandenen Frequenzen weit effizienter nutzt, sind neue Dienste denkbar, ohne vorläufig auf die analoge Ausstrahlung der wichtigsten Fernsehprogramme verzichten zu müssen.

Digital Video Broadcasting ist nicht an das Medium Fernsehen gebunden, sondern erlaubt generell die drahtlose Verbreitung breitbandiger Datenströme für die unterschiedlichsten Bedürfnisse eines Publikums, das Multimedia auch unterwegs nutzen will.

Die Telecom PTT als das führende Unternehmen im Bereich Kommunikationssysteme für elektronische Medien, wird dabei sein. 6

## Literaturverzeichnis

- [1] Ulrich Reimers, *Digitale Fernsehtechnik: Datenkompression und -übertragung für DVB*, Springer-Verlag
- [2] *Multimedia: Anwendungen, Technologie, Systeme; Vorträge des 6. Dortmunder Fernsehseminars*, VDE-Verlag
- [3] Paul Dambacher, *Digitale Technik für Hörfunk und Fernsehen*, R. v. Decker's Verlag



**Achill Klingler** studierte an der Ingenieurschule Rapperswil SG Nachrichten- und Hochfrequenztechnik und schloss das Studium 1981 mit dem Diplom als Elektroingenieur HTL ab.

Anschließend arbeitete er in verschiedenen Unternehmen der Privatindustrie in der Entwicklung und als Projektleiter. Seit 1987 ist er in der Direktion Radiocom der Telecom PTT tätig und leitet die Fachgruppe *Frequenz- und Versorgungsplanung TV* der Sektion Fernsehen RC 12 sowie das Team *Terrestrial Digital Video Broadcasting*, welches sich mit der Planung sowie der System- und Messtechnik des digitalen terrestrisch verbreiteten Fernsehens befasst.



**Damien Corti** a obtenu le diplôme d'ingénieur électricien de l'EPFL en 1992. Durant ses études il s'est orienté dans le traitement électronique du signal et de l'information. Jusqu'en 1995, il a travaillé chez

ETA SA du groupe SMH, entreprise dans laquelle il a développé des circuits électroniques pour de nouveaux modèles Swatch. Il est entré en juin 1995 à la direction Radiocom des Télécom PTT où il est responsable des aspects systèmes et techniques de la future télévision numérique terrestre. Il fait partie du groupe Terrestrial Digital Video Broadcasting de la section Télévision.

## SUMMARY

### Digital television broadcasting

In Switzerland there are today around 2300 transmitters and transformers for the terrestrial distribution of television programs. Topographic conditions in Switzerland are such that, in addition to provision by satellite and cable, the terrestrial distribution of broadcasts is still of great importance.

Over the years, the analogue network has become so dense that at a great many transmitter locations it is now practically impossible to find available frequencies for the emission of new programs or services.

This is a very unsatisfactory situation, as time and again there are local or regional television projects which for the aforementioned reason cannot be realized.

Already today there are terminals available on the market for the reception of digital broadcasts, more and more of which are being distributed via satellite and cable. In the foreseeable future it will also be possible to receive terrestrially distributed digital television programs with simple portable receivers, even inside buildings, as the new digital system is highly resistant to interference and largely insensitive to reflections. Between four and ten different programs in good quality can be wireless-transmitted over one conventional analogue 8-MHz width television channel.