

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

Herausgeber: Swisscom

Band: 74 (1996)

Heft: 11

Artikel: Mit Breitband via Satellit zum Kunden

Autor: Denzler, Viktor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876801>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

MIT BREITBAND VIA SATELLIT ZUM KUNDEN

Im Zeitalter der Multimediasdienste nimmt die Bedeutung der Breitbandkommunikation zu. Die Satellitensysteme von heute bieten Möglichkeiten zur Übertragung breitbandiger Signale an. Die Breitbandsignale der synchronen digitalen Hierarchie verlangen neue Lösungen. Diese Problemkreise werden in dem Artikel behandelt. Vorgängig wird ein Einblick in einige Details der Satellitentechnik gewährt, die digitale Übertragungsströme beeinflussen können.

Die Satelliten und ihre Bodenstationen haben sich in den letzten Jahren gewaltig geändert. Gewisse satellitenspezifische Kriterien sind aber die

VIKTOR DENZLER, BERN

gleichen geblieben, so bleibt beispielsweise die relativ grosse Laufzeit in einer Verbindung mit geostationären Satelliten. Die lange Laufzeit ist heute aber nicht nur eine Eigenschaft von Satellitenverbindungen, in modernen, digitalen terrestrischen Netzen können sie auch beobachtet werden. Die terrestrischen Netze und die Satellitennetze sind sich in dieser Beziehung nähergerückt.

Einleitung

Verbindungen mit Satelliten der früheren Generation benötigten Bodenstationen mit Parabolantennen, die einen Durchmesser von etwa 30 Meter haben mussten, um die geforderten Übertragungsqualitäten gewährleisten zu können. Neuere Satel-

liten haben dank der fortschreitenden Technologie bessere Übertragungseigenschaften. Es wird deshalb möglich, Bodenstationen mit immer kleineren Antennen einzusetzen, ohne dass die Übertragungsqualitäten schlechter werden. Die Ausmasse und Kosten der Bodenstationen wurden bis anhin

durch die Grösse der Antenne festgelegt. Sie waren in der Regel für einen Standort bestimmt und konnten wegen ihres Volumens und Gewichts nur mit grossem Aufwand an einem anderen Standort betrieben werden. Mit kleineren Antennen werden die Bodenstationen mobiler, Satellitenverbindungen können immer schneller und billiger erstellt werden. Dies gilt natürlich auch für Bodenstationen, die breitbandige Signale übermitteln. Es ist heute schon möglich, einen 8-Mbit-Träger über eine Bodenstation mit einem 2-m-Parabolspiegel zu übertragen. Besonders eindrücklich sind die Wirkungen neuer Technologien in den Satellitenrundfunksystemen zu beobachten. Für die bis zu 33 Mbit/s grossen MPEG-2-Ströme, mit deren Hilfe in naher Zukunft TV-Signale via Satelliten verteilt werden, genügen bereits 60 cm Empfangsspiegel für gute Bildqualitäten. Die Normierung der synchronen digitalen Hierarchie (SDH) ist zurzeit soweit fortgeschritten, dass weltweit SDH-Verbindungen geplant werden

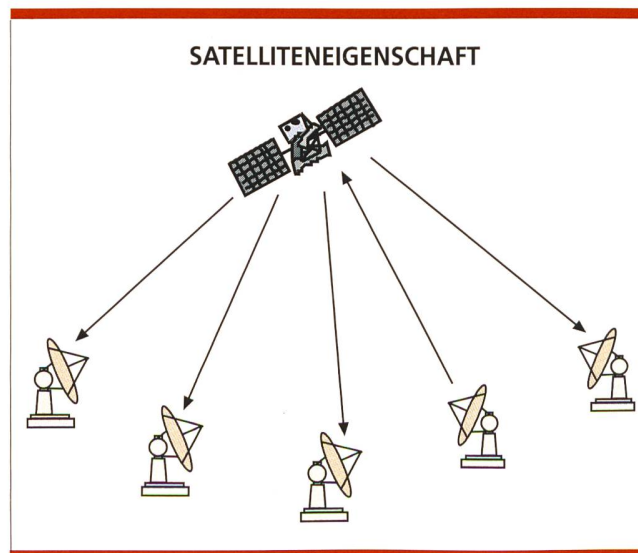
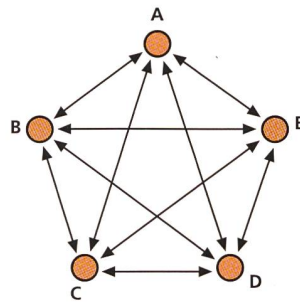


Bild 1. Der Satellit ist prädestiniert, ein Signal von einer Bodenstation auf viele Bodenstationen zu verteilen.

MASCHENNETZ



Vollständiges Maschennetz mit 5 Stationen (A, B, C, D & E).
Jede Station hat Verbindung zu den 4 anderen Stationen.

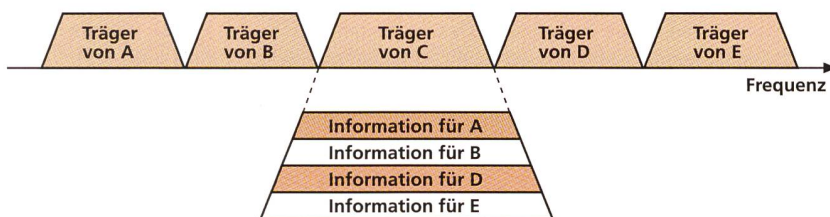
Bild 2a, b, c
Beispiel eines vollständigen Maschennetzes mit fünf Bodenstationen mit IDR (FDMA).

oder im Einsatz sind. Sie werden die bestehenden Netze der plesiochronen digitalen Hierarchie (PDH) ersetzen. Für die Architektur der PDH-Systeme hat man seinerzeit den 2-Mbit/s-Strom

Satellitensysteme

Im folgenden werden in möglichst geraffter Form die prägnantesten Zusammenhänge eines Satellitensystems

TRÄGERANORDNUNG



Mögliche Trägeranordnung bei FDMA. Ein Träger enthält Informationen für alle Partnerstationen seiner Sendestation, hier dargestellt für den Träger gesendet von der Bodenstation C. Die verschiedenen Informationen sind im Träger mit einem Zeitmultiplexverfahren ineinander geschachtelt.

als «Baustein» gewählt, er hat die Gestalt des «PDH-Gebäudes» geprägt. Das Ziel der SDH-Erbauer ist ein breitbandiges Übertragungssystem, sie wählten das synchrone Transportmodul (STM-1) mit einer Kapazität von etwa 155 Mbit/s als Einheit. Für einen Satellitennetzbetreiber bedeutet das, er muss, anstelle der heute vielfach genutzten 2-Mbit/s-Ströme, mindestens 155 Mbit/s mit einem Träger übertragen können. Dieser Umstand hat die European Space Agency (ESA) dazu bewogen, eine Studie über Breitbandkommunikation via Satellit erarbeiten zu lassen [1]. Diese Studie gab den Anstoß zu diesem Artikel. Aus der umfangreichen Studie wird hier nur ein Teil zusammengefasst.

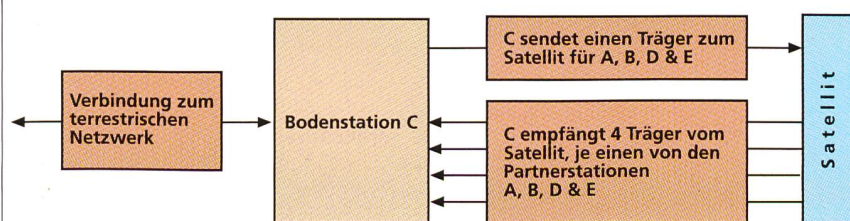
soweit erläutert, dass auch der Nichtspezialist die Besonderheiten einer Satellitenverbindung verstehen kann. Eine Satelliteseigenschaft, die keiner Erklärung bedarf, ist das Vermögen, Signale aus einer Bodenstation auf viele Bodenstationen verteilen zu können (Bild 1).

Der Transponder

Der Transponder ist die funktionelle Einheit des Satelliten, er ist im wesentlichen nichts anderes als ein Frequenzumsetzer. Die von einer Bodenstation empfangenen Signale im Aufwärtsband setzt der Transponder in das Abwärtsband um, verstärkt sie und sendet sie zur Partnerbodenstation. Auf- und Abwärtsbänder sind Frequenzbänder, in denen die Signale von der Sendebodenstation zum Satelliten hinauf bzw. vom Satelliten zur Empfangsbodenstation herab gesendet werden. Ein Transponder setzt alle empfangenen Signale um, egal ob sie digitale oder analoge Informationen enthalten. Die heute öfters benutzte Bezeichnung «Digitalsatellit» ergibt daher keinen Sinn.

Heutige Satelliten besitzen 15 bis 30 Transponder, die in zwei Polarisations-ebenen ihre Signale empfangen und senden. Die Fernmeldesatelliten (Intelsat und Eutelsat) haben Transponder von 36 oder 72 MHz Bandbreite. Neuerdings wird bei Intelsat für zukünftige Satelliten auch von Transpondern mit 106 MHz Bandbreite gesprochen. Die Rundfunksatelliten (z. B. Astra und Hotbird) bieten Transponder mit 27 MHz Bandbreite an.

BODENSTATION



Jede Bodenstation sendet einen Träger mit Informationen für alle Partner Bodenstationen und empfängt vier Träger, von jedem Partner einen.

Bitrate	Mittlerer Bitfehler pro Fehlerbündel	Mittlere Länge des Fehlerbündels
8 Mbit/s	12	30 bit
34 Mbit/s	13	52 bit

Tabelle 1. Fehlerbündel in einer IDR-Übertragung, geschützt mit einem Viterbi-Code.

Der Breitbandkommunikation setzt der Transponder Limiten. Er bestimmt die maximale Bandbreite eines Signals. Bei Mehrträgerbetrieb beschränkt in vielen Fällen die Nichtlinearität (Intermodulationsprodukte) des Transponders die Anzahl der Träger, welche der Transponder störungsfrei übertragen kann.

Die Satellitenbahn und die Folgen für die Übertragung

Die ideale Umlaufbahn eines geostationären Satelliten beschreibt einen Kreisbogen in der Äquatorebene mit dem Zentrum im Erdmittelpunkt. Eine geostationäre Umlaufbahn wird aber nur dann erreicht, wenn die Winkelgeschwindigkeit des Satelliten auf diesem Kreisbogen und die Winkelgeschwindigkeit der Erddotation um die Erdachse identisch sind. Aus physikalischen Gegebenheiten hat der Radius der idealen Umlaufbahn eine Grösse von 42 108 km [2]. Ein geostationärer Satellit kreist also etwa 36 000 km über dem Äquator um die Erde.

Die reale Umlaufbahn weicht von der idealen ab. Zudem driftet jeder Satellit von seiner Orbitposition, da die Erde inhomogen ist (Erdteile, Ozeane, Gebirge usw.) und weil andere Gestirne, vorwiegend die Sonne und der Mond, durch die Massenanziehung den Lauf des Satelliten beeinflussen. Der Satellitenbetreiber ist deshalb genötigt, den Satelliten periodisch durch Steuerraketen, die an Bord des Satelliten montiert sind, wieder an sei-

ne ihm zugewiesene Orbitposition zu schieben.

Die Umlaufbahnen sind deshalb nicht genau kreisförmig, sondern meistens leicht elliptisch. Die Distanz zwischen einer Bodenstation und einem Satelliten ändert sich im Rhythmus eines Umlaufzyklus. Ein geostationärer Satellit bewegt sich also bezüglich seiner Bodenstationen.

Die Satellitenbetreiber garantieren Lagestabilitäten der Satelliten im Orbit. Aus Angaben von Intelsat [3] kann man folgern, dass sie ihre Satelliten innerhalb von ungefähr ± 100 km

Richtung garantiert. Andere Satellitenbetreiber, beispielsweise die Deutsche Telekom, garantieren für ihre Satelliten eine Lagestabilität von ± 16 km und $\pm 0,05^\circ$.

Laufzeiten

In einer Satellitenverbindung durchläuft ein Signal einen Aufwärtspfad (von der sendenden Bodenstation zum Satelliten) und einen Abwärtspfad (vom Satelliten zur empfangenden Bodenstation). Da diese Pfade verschiedene Längen haben (36 000 bis etwa 42 000 km), je nach Bodenstationsstandorten und der Orbitposition des Satelliten, liegen die Laufzeiten zwischen 240 und etwa 280 ms.

Verglichen mit vielen terrestrischen Verbindungen weisen Satellitenverbindungen lange Laufzeiten auf. Werden in einer Übertragung via Satelliten ARQ-Protokolle eingesetzt, dann müssen sie den langen Laufzeiten

BER	Prozentuale Zeit eines durchschnittlichen Jahres	Dauer in einem mittleren Jahr, in dem die BER nicht erreicht wird (Minuten)	Dauer in einem mittleren Jahr, in dem die BER nicht erreicht wird (Tage)
$\leq 10^{-10}$	95,90 %	21 564	15,0
$\leq 10^{-9}$	99,36 %	3366	2,3
$\leq 10^{-6}$	99,96 %	210	0,14
$\leq 10^{-3}$	99,98 %	105	0,07

Tabelle 2. Typische Häufigkeitswerte für verschiedene Bitfehlerquotienten (BER) und die Dauer, in der der Bitfehlerquotient nicht erfüllt wird, eines mittleren Jahres in einer IDR-Verbindung.

stabilisieren, das heisst, die Distanz zur Erdenmitte ändert während einer Erdumlaufbahn um weniger als 200 km. Zusätzlich wird eine Genauigkeit der Orbitposition von $\pm 0,1^\circ$ sowohl in der West-Ost- als auch in der Nord-Süd-

Rechnung tragen. Die für terrestrische Verbindungen optimierten Protokolle reduzieren in der Regel den Datendurchsatz in einer Satellitenverbindung erheblich. In [4] und [5] sind satellitentaugliche Protokolle für Bitraten bis zu 2 Mbit/s beschrieben.

Die Verbindung ist	Dauer in einem mittleren Jahr	
	mit Viterbi-Code (Minuten)	mit Stufencode (Minuten)
nicht verfügbar	216	241
gestört	5472	120
quasi fehlerfrei	519 912	525 238

Tabelle 3. Vergleich einer IDR-Übertragung, einmal mit Stufencode und einmal mit Viterbi-Code.

Periodische Laufzeitschwankungen

Die elliptische Umlaufbahn bewirkt, dass die Längen eines Aufwärts- und Abwärtspfades variieren und somit die Laufzeit periodischen Schwankungen unterworfen wird. Es sind Laufzeitschwankungen in der Grössenordnung von Millisekunden.

BITFEHLERWAHRSCHEINLICHKEIT

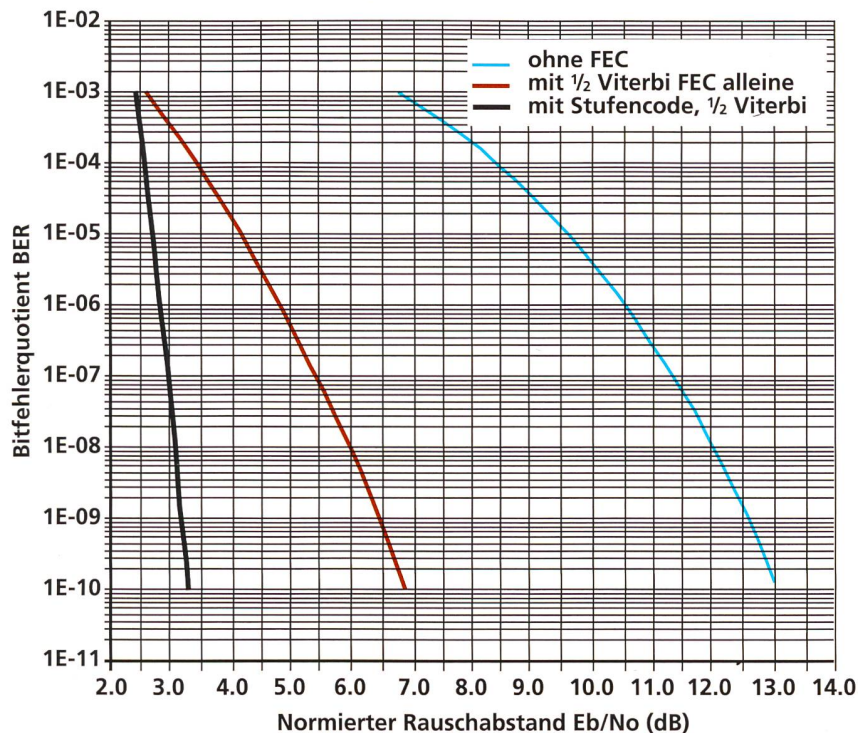


Bild 3. Bitfehlerwahrscheinlichkeit BER in Funktion des normierten Rauschabstands E_b/N_0 für drei Fälle: Übertragung ohne Fehlerkorrektur, Übertragung geschützt durch einen $1/2$ -Viterbi-Code und eine Übertragung geschützt durch einen Stufencode (R-S-Code als äusserer und $1/2$ -Viterbi-Code als innerer Code). Die Kurven gelten für ideale 4-PSK-Demodulatoren, dabei bezieht sich das E_b (Energie pro Bit) auf die sogenannte Composite-Datenrate, bestehend aus der Informationsrate und einem satellitenspezifischen Overhead. Bei den realen Demodulatoren sind die Verläufe $1/2$ bis etwa $2 1/2$ dB schlechter, das heisst rechts von den abgebildeten Kurven, entsprechend der Qualität des Demodulators.

Die Bewegungen des Satelliten bezüglich der Bodenstationen haben periodische Frequenzverschiebungen in einem übertragenen Signal zur Folge (Dopplereffekt). Der Dopplereffekt hat einen Einfluss auf ein digitales Signal. Einer stabilen Taktfrequenz, beispielsweise abgeleitet von einem Frequenznormal, wird eine Frequenzgenauigkeit bis ungefähr 10^{-8} aufgeprägt.

Gegenmassnahmen

Die langen Laufzeiten müssen bei geostationären Satelliten hingenommen werden, dagegen ist «kein Kraut» gewachsen.

Gegen die Laufzeitänderungen und die Auswirkungen des Dopplereffekts sind jedoch wirkungsvolle Massnahmen möglich. In den Empfängern einer Bodenstation können diese Schwankungen durch sogenannte

Doppler oder Elastic Buffer eliminiert werden. Die ITU-T-G.811-Empfehlungen [6] für die Taktstabilität und die zulässige Auftretenshäufigkeit von Schlupfs für Schnittstellen (z. B. für SDH-Netze) werden damit eingehalten.

Wettereinflüsse

Die Atmosphäre hat einen Einfluss auf die Dämpfung der Aufwärts- und

Abwärtspfade. Für die Satellitenübertragung bestimmen hauptsächlich die Resonanzen des Wasserdampfes ($\sim 22,5$ GHz) und des Sauerstoffs (~ 60 GHz) die nutzbaren Frequenzbänder. Es werden heute vorwiegend Bänder unterhalb der Wasserdampfresonanz genutzt (1 bei 18 GHz).

Das wechselnde Wetter (Änderung des Wasserdampfgehalts, Regen usw.) ändert die atmosphärische Dämpfung und beeinflusst somit die Übertra-

BER	Prozentuale Zeit eines beliebigen Monats
$\leq 10^{-6}$, Mittelwert über 10 Minuten	80,00 %
$\leq 10^{-4}$, Mittelwert über 1 Minute	99,70 %
$\leq 10^{-3}$, Mittelwert über 1 Sekunde	99,95 %

Tabelle 4. Garantierte Bitfehlerquotienten während einer bestimmten Zeit in einem beliebigen Monat in einer TDMA-Verbindung für Telefonie, gemäss Rec. ITU-R S. 522.

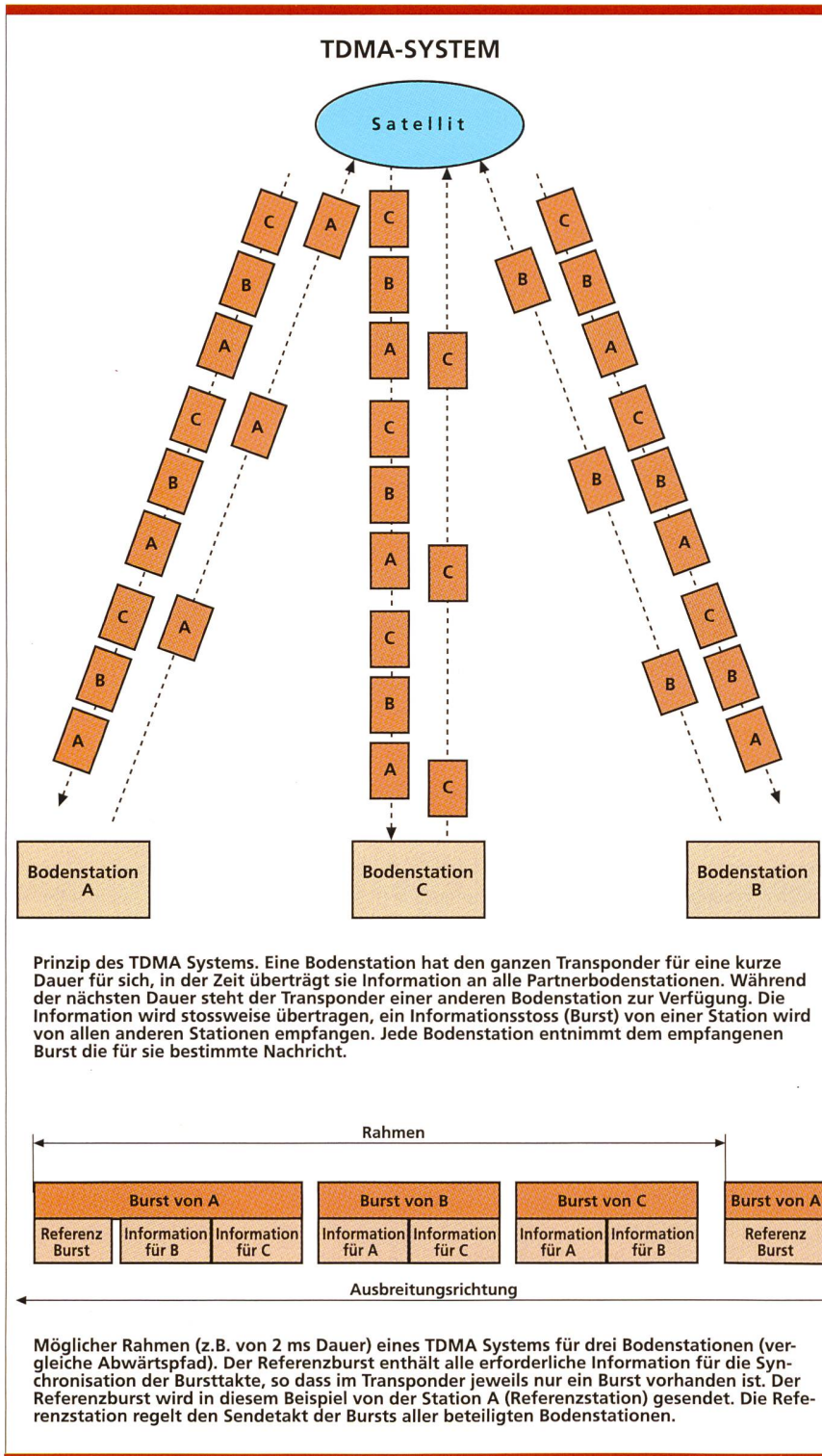


Bild 4. Beispiel eines TDMA-Systems mit drei Bodenstationen.

gungsqualität ebenfalls. Die atmosphärischen Dämpfungen sind bei klarem, wolkenlosem Himmel am geringsten, bei Landregen wachsen sie an. Starke Gewitter können die atmosphärischen Dämpfungen kurzzeitig so weit erhöhen, dass die Verbindungen unterbrochen werden.

Soweit sind die atmosphärischen Einflüsse vergleichbar mit denjenigen im terrestrischen Richtfunk. Der Richtfunk wird aber noch durch den sogenannten Mehrwegschwund beeinträchtigt, der in breitbandigen Übertragungen die Ursache des Selektivschwunds ist. Diese Phänomene sind

im Satellitenfunk vernachlässigbar. Der Planer einer Satellitenverbindung berücksichtigt die Wittereinflüsse in einem wirtschaftlich vertretbaren Mass. Ein Satellitenbetreiber garantiert in der Regel eine Verfügbarkeit von 99,8 % der Zeit eines mittleren Jahres für eine Verbindung, insofern die Bodenstationen bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen. Aus dem Gesagten geht hervor, dass einige dieser Forderungen durch das Klima des Bodenstationsstandorts bestimmt werden. Die Erfahrungen zeigen, dass die Verfügbarkeiten grösser ausfallen, sie liegen bei 99,98 %.

Heutige Satellitensysteme für Breitbandsignale

Für die Übertragung von Breitbandsignalen sind in den Satellitenverbindungen Mehrfachzugriffe im Frequenzmultiplex (FDMA) oder Mehrfachzugriffe im Zeitmultiplex (TDMA) üblich. Die Träger in beiden Zugriffsverfahren sind normalerweise 4PSK-moduliert.

Mehrfachzugriff im Frequenzmultiplex (FDMA)

Die Intelsat bietet ein FDMA-System, das sogenannte Intermediate Data Rate Digital Carriers (kurz IDR genannt), an [8]. Ein praktisch identisches System wird von Eutelsat unter der Bezeichnung Intermediate Rate Digital Carrier (IDC) propagiert [9]. Sie unterscheiden sich lediglich im Angebot der zu übertragenden Bitraten. Intelsat spezifiziert für jede Bitrate der plesiochronen digitalen Hierarchie (PDH) einen IDR-Träger (Ausnahmen 98 und 140 Mbit/s). Die Eutelsat dagegen beschränkt sich auf 2 und 8 Mbit/s. Intelsat und Eutelsat betreiben mehrere Träger pro Transponder.

Die sendende Bodenstation fügt den PDH-Signalen, die sie aus dem terrestrischen Netz empfängt, einen Satelliten-Overhead bei. Der Overhead erlaubt eine Signalisierung für die Satellitenverbindung und eine Überwachung der Übertragungsqualität. So können beispielsweise Rückwärtsalarmlinien an maximal vier verschiedene Destinationen und zwei Dienstkanäle übertragen werden. Informationsstrom und Overhead bilden den sogenannten zusammengesetzten Bit-

strom (composite rate). Er wird verwürfelt (scrambled) und mit einem vorwärts korrigierenden Kanalcode (FEC) versehen. Der fehlerkorrigierende Code schützt den zusammengesetzten Bitstrom, fügt ihm aber zusätzliche Bits zu. Die Summe der Bitströme, Übertragungsstrom (transmission rate) genannt, wird einem 4-PS-K Modulator zugeleitet. Der modulierte Träger, in die Hochfrequenzebene umgesetzt, wird verstärkt und mit einer Parabolantenne zum Satelliten gesendet.

Maschennetz

Dank der Möglichkeit, bis zu vier Rückwärtsalarne im Overhead übertragen zu können, kann ein IDR-Träger Informationen für bis zu vier verschiedene

SSTM	Bitrate für den SSTM (kbit/s)
SSTM – 11	2 432
SSTM – 12	4 736
SSTM – 21	7 040
SSTM – 22	13 952
SSTM – 23	20 864
SSTM – 24	27 776
SSTM – 25	34 6882
SSTM – 26	41 600

Tabelle 6. Mögliche satellitensynchrone Transportmodule (SSTM) für Teile vom STM-1 gemäss der UIT-R Study Group 4; Working Party 4. Draft Rec. ITU-RXX/4 und ITU-R S.XY/4.

Destinationen enthalten. Es können durch einen IDR-Träger demzufolge bis zu fünf Bodenstationen involviert sein: eine Sendestation und vier empfangende Stationen. Ein vollständiges Maschennetz für fünf Bodenstationen ist realisierbar. Die Zeichnung in Bild 2 soll dies veranschaulichen.

In einem vollständigen Maschennetz sendet jede Bodenstation einen Träger und empfängt von jeder Partnerstation einen Träger. Sind in einem solchen Netz fünf Bodenstationen beteiligt, dann braucht jede Station vier Demodulatoren. Aus den demodulierten Signalen nimmt sich jeder Empfänger

BER	Prozentuale Zeit eines beliebigen Monats
$\leq 10^{-7}$	90,00 %
$\leq 10^{-6}$	98,00 %
$\leq 10^{-3}$	99,97 %
$\leq 10^{-6}$, Mittelwert über 1 Minute	98,00 %
$\leq 10^{-4}$, Mittelwert über 1 Minute	99,70 %
$\leq 10^{-3}$, Mittelwert über 1 Sekunde	99,95 %

Tabelle 5. Bitfehlerquotienten während einer bestimmten Zeit in einem beliebigen Monat in einer TDMA-Verbindung für ISDN gemäss Rec. ITU-R S 614. Die unteren drei Kriterien basieren auf Anforderungen an eine Satellitenverbindung, welche den ITU-T-Empfehlungen in G.821 genügen.

diejenige Information heraus, die für seine Destination bestimmt ist, und leitet diese weiter an das terrestrische Netz.

Qualität einer IDR-Verbindung

Massgebende Störquelle in einem Satellitenkanal ist das thermische Rauschen der atmosphärischen Dämpfungen. Die Fehlerstruktur eines durch thermisches Rauschen gestörten Datenstroms kann durch einen mittleren Abstand zwischen zwei Einzelfehlern charakterisiert werden, das heisst, Doppelfehler oder mehrere Fehler, sogenannte Fehlerbündel, treten sehr selten auf. Für solche Fehlerstrukturen existieren heute fehlerkorrigierende Codes (Forward Error Correction, FEC) mit grossen Fehlerkorrektoreffizienzen. Häufig eingesetzte FEC-Codes mit den erwähnten Eigenschaften sind die Viterbi-Codes, die von ihrem Erfinder, Viterbi, als Convolutional Codes bezeichnet werden [7]. Die Fehlerkorrektur kriegt man nicht gratis, man bezahlt sie durch eine grössere Bandbreite. Eine durch einen Code geschützte Übertragung benötigt mehr Bandbreite als eine ungeschützte. Im IDR-Netz sind zwei Viterbi-Codes normiert. Der $1/2$ -Viterbi-Code hat die bessere Korrektoreffizienz, er verdoppelt aber die Übertragungsbitrate, der $3/4$ -Viterbi-Code hat eine kleinere Effizienz, er vergrössert die Bitrate jedoch nur um einen Drittel.

Dreifehlerereignisse oder Fehlerbündel mit mehr als drei falschen Bits können von den Viterbi-Decodieralgorithmen nicht korrigiert werden. In solchen seltenen Fällen produziert ein

Viterbi-Decoder zusätzliche Fehler. In [10] sind Messungen von Fehlerbündeln an zwei Demodulatoren, ausgerüstet mit Viterbi-Decoder, beschrieben. Ein Demodulator war für eine 8-Mbit/s-Übertragung und der andere für 34 Mbit/s ausgerüstet. Die wichtigsten Resultate sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Aus den jeweils etwa 400 gemessenen Fehlerbündeln pro Demodulator resultieren durchschnittlich 12 bis 13 Fehler pro Fehlerbündel, mit einer durchschnittlichen Bündellänge von 30 bit (8 Mbit/s) bzw. 52 bit (34 Mbit/s). Die Extremwerte sind wesentlich grösser. Sie liegen bei 80 Bitfehler pro Bündel mit einer Länge bis zu 220 bit.

Für ein mittleres Jahr gibt Intelsat typische Häufigkeitswerte für verschiedene Bitfehlerquotienten (BER) an, sie sind in der Tabelle 2 wiedergegeben. Zudem wird auch die Dauer eines mittleren Jahres angegeben, in der die Bitfehlerquotienten nicht erreicht werden.

Wie bereits erwähnt, beeinflusst das wechselnde Wetter die Übertragungsqualität einer Satellitenverbindung. Die klimatischen Verhältnisse an den Bodenstationsstandorten bestimmen also die Qualitäten einer Verbindung. Die Angaben in der Tabelle 2 sind als typische Werte im weltweiten Intelsat-Netz aufzufassen.

Intelsat bietet seit 1995 die Möglichkeit an, die Fehlerbündel mittels eines Reed-Solomon-Codes (R-S-Codes) weitgehend zu eliminieren. Die von Intelsat standardisierten R-S-Codes haben Längen von 126 bis 225 Codesymbolen (1 Symbol = 8 bit) und sind in der Lage, zwischen sieben und zehn fehlerhaften Symbolen zu korrigieren.

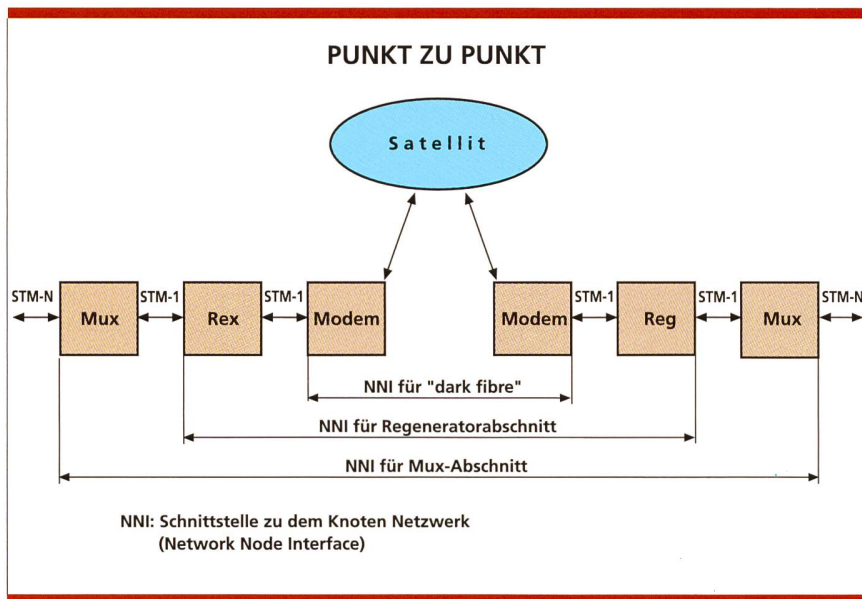


Bild 5. Punkt-zu-Punkt-Szenarien mit STM-1.

Der Code bedingt eine Bandbreitenzunahme von nur 8 bis 10 %, das Decodieren ist dafür sehr rechenintensiv. Für die Korrektur eines Codewortes sind bis zu 7 ms für einen 2-Mbit/s-Strom erforderlich. Die Verzögerungszeiten bei höheren Bitraten sind entsprechend kleiner; bei einem 34-Mbit/s-Strom beträgt sie noch < 2 ms. Ein Viterbi- und ein R-S-Code bilden zusammen einen sogenannten Stufencode (concatenation code); beide Codes werden in Kaskade angewandt. Auf der Sendeseite durchläuft das Signal zuerst den R-S-Codierer und anschliessend den nachgeschalteten Viterbi-Codierer. Im Empfänger sind die Decodierer in umgekehrter Reihenfolge angeordnet, das Signal wird zuerst vom Viterbi- und danach vom R-S-Decoder decodiert. Intelsat bezeichnet den Viterbi-Code auch als den inneren und den R-S-Code als den äusseren Code.

Die Stufencodes erreichen die höchsten Korrektoreffizienzen; die häufigsten Fehlerereignisse können korrigiert werden. Treten in einem empfangenen Bitstrom nichtkorrigierbare Fehlerkonfigurationen auf, dann kann der Decodieralgorithmus die Fehlerzahl vergrössern. Der decodierte Informationsstrom kann in diesem Fall mehr Fehler enthalten als der empfangene Übertragungsstrom. In der Praxis bedeutet das: Man hat entweder eine fehlerfreie Übertragung, oder die Verbindung ist unterbrochen. Für die Beurteilung einer digitalen Verbindung wird vielfach die Bitfeh-

lerwahrscheinlichkeit BER in Funktion des normierten Rauschabstands E_b/N_0 benutzt. In Bild 3 sind drei dieser Funktionen für den idealen Demodulator dargestellt. Der Einfluss der Korrektoreffizienz ist darin gut ersichtlich. Je höher die Korrektoreffizienz eines Codes ist, desto steiler verläuft ihre Kurve. Die Spanne zwischen dem normierten Rauschabstand E_b/N_0 für eine quasi fehlerfreie Übertragung ($BER < 10^{-10}$) und dem E_b/N_0 für eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $BER > 10^{-3}$ (Unterbruch) wird kleiner. Diese Spanne schrumpft von ungefähr 6,5 dB, bei einer ungeschützten Übertragung, auf etwa 1 dB zusammen bei der Nutzung eines Stufencodes.

Eine theoretische Untersuchung [11] vergleicht eine IDR-Verbindung, geschützt durch einen Stufencode, mit einer IDR-Verbindung, geschützt mit einem Viterbi-Code. Es werden drei Qualitäten unterschieden: die quasi fehlerfreie Übertragung ($BER \leq 10^{-10}$), eine gestörte Übertragung ($10^{-3} \geq BER > 10^{-10}$) und die Nichtverfügbarkeit der Verbindung ($BER > 10^{-3}$). Die Untersuchung berücksichtigt Satellitenverbindungen im Ku-Band (Aufwärtsfrequenz im 14-GHz-, Abwärtsfrequenz im 11-GHz-Band). Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Bodenstation ihre Signale mit einem Elevationswinkel von 36° zum Satelliten sendet und dass sie in der Schweiz steht (Klimazone K, gemäss ITU-R-Ausbreitungsmodell). Die wichtigsten Resultate für ein durchschnittliches Jahr sind in der Tabelle 3 wiedergegeben. Der Vergleich

zeigt, dass die Nichtverfügbarkeit praktisch unabhängig vom gewählten Code ist. Die Zeit der gestörten Übertragung dagegen schon. Die mit nur einem Viterbi-Code geschützte Verbindung wird etwa 64mal länger gestört als diejenige mit einem Stufencode.

IDR-Verbindungen geschützt durch Viterbi-Codes sind bereits seit längerer Zeit im Einsatz. Die Standardisierung des Stufencodes ist relativ jung, sie werden deshalb noch nicht häufig angewandt. Auf dem Markt werden zurzeit von nur wenigen Herstellern Modulatoren und Demulatoren mit Stufencodes angeboten. Die Vorteile des Stufencodes liegen jedoch auf der Hand. Es ist daher zu erwarten, dass sie sich für digitale Breitbandkommunikation durchsetzen werden.

Mehrfachzugriff im Zeitmultiplex (TDMA)

In einem TDMA-Multiplexsystem werden Zeitschlitzes eines Rahmens den beteiligten Bodenstationen zugewiesen. Eine Bodenstation sendet ihre Information nur während der Dauer des ihr zugewiesenen Zeitschlitzes zum Satelliten. Während des nächsten Zeitschlitzes sendet eine andere Station usw. Innerhalb eines Rahmens sendet also jede Bodenstation während einer kurzen Dauer, wobei die Reihenfolge der sendenden Stationen bei jedem Rahmen dieselbe ist. Die Information

wird sozusagen stossweise übertragen. Als Bezeichnung für einen solchen Informationsstoss hat sich das englische Wort Burst eingebürgert. In Bild 4 wird versucht, die Funktion eines TDMA-Systems für drei Bodenstationen darzustellen.

Die Übertragungsbitrate und die Informationsbitraten der Bodenstationen bestimmen im wesentlichen die grösstmögliche Anzahl Bodenstationen, die sich in einem Netz beteiligen können. Die heutigen kommerziell eingesetzten TDMA-Systeme haben für die Bursts eine Übertragungsbitrate von 120 Mbit/s. Sie werden mit einem 4-PSK-modulierten Träger mit einer Bandbreite von 72 MHz übermittelt. Die Transponderbandbreite (ebenfalls 72 MHz) wird von den Bursts voll genutzt. Ein Mehrträgerbetrieb in einem Transponder ist aus diesem Grund nicht möglich.

Die Informationsrate kann den Bedürfnissen der Bodenstationsbetreiber angepasst werden, indem die Zeitschlitzte kürzer oder länger gewählt

werden. Eine dynamische Anpassung ist bei den heutigen Systemen nicht möglich. Ein vom Satellitenbetreiber zusammengestellter Burst-Zeitplan (Burst time Plan), der weitgehend die Wünsche der Bodenstationsbetreiber berücksichtigt, bestimmt den Funkverkehr. Einen neuen Burst-Zeitplan zu implementieren benötigt heute noch einen Arbeitsaufwand von einigen Stunden in jeder Bodenstation. Mit einem Satelliten können mehrere TDMA-Systeme parallel über mehrere Transponder betrieben werden.

Wie schon eingangs erwähnt, sind die Aufwärts- und Abwärtspfade unterschiedlich lang, es treten periodische Laufzeitänderungen auf, die für jeden Pfad einen anderen Verlauf haben. Der Sendetakt der Bursts muss deshalb in den Bodenstationen dauernd nachsynchronisiert werden. Der Synchronisationsmechanismus muss gewährleisten, dass jede Bodenstation ihren Sendezeitpunkt so wählt, dass der Burst im richtigen Zeitschlitz den Satelliten erreicht. Der Transponder darf

jeweils nur einen Burst empfangen, das heisst, es dürfen sich keine Bursts überlappen. Für diese Synchronisationsregelung ist in einem TDMA-Netz eine Bodenstation, die sogenannte Referenzstation, verantwortlich. Sie misst jeden Burst aus, das heisst, bei jedem empfangenen Burst werden der Zeitpunkt des Beginns und die Burstlänge gemessen und mit den Soll-Werten im Burst-Zeitplan verglichen. Eine allenfalls notwendige Korrektur wird in einem sogenannten Referenz-Burst der nicht ganz synchron sendenden Bodenstation mitgeteilt. Diese wird, gemäss der empfangenen Korrekturmeldung, ihre Informations- oder Daten-Bursts etwas früher oder später senden. Die Referenzstation sendet jeweils einen Referenz-Burst bei jedem Rahmenbeginn.

Die von Intelsat und Eutelsat betriebenen TDMA-Systeme sind identisch aufgebaut und arbeiten mit einer Rahmenlänge von 2 ms.

Die Informationssignale der einzelnen Bodenstationen bestehen ebenfalls,

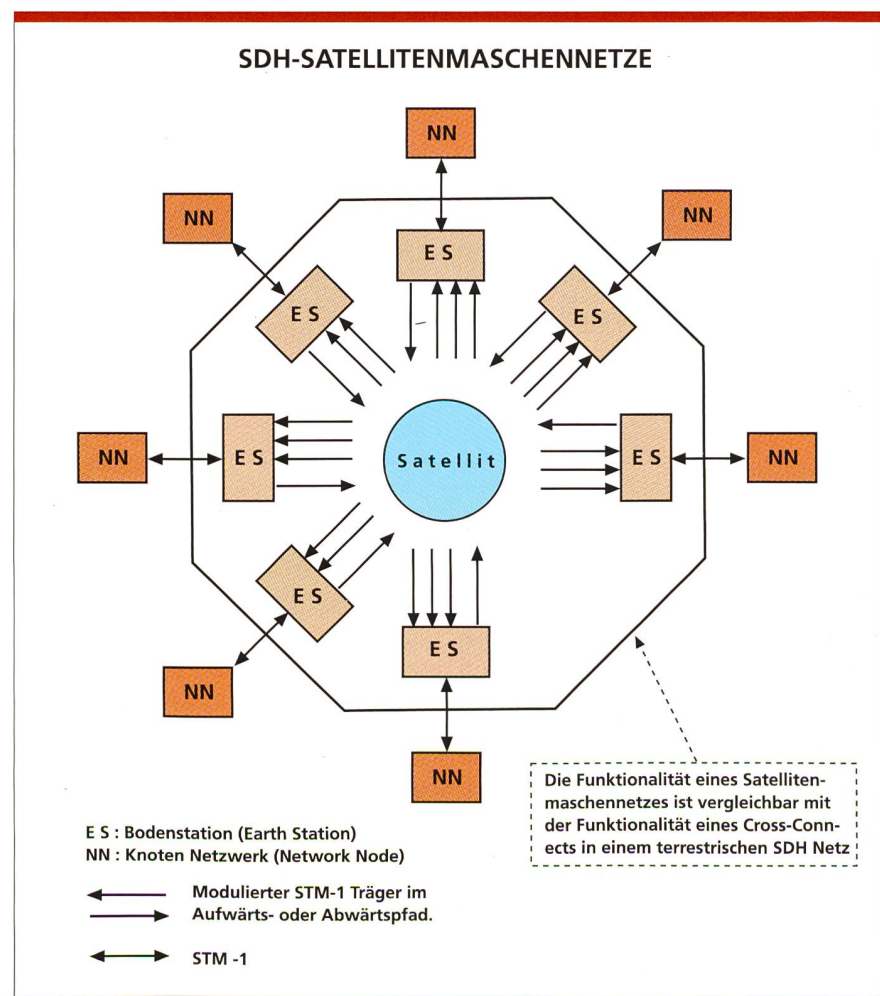


Bild 6. Beispiel eines SDH-Satellitenmaschennetzes mit sieben Bodenstationen.

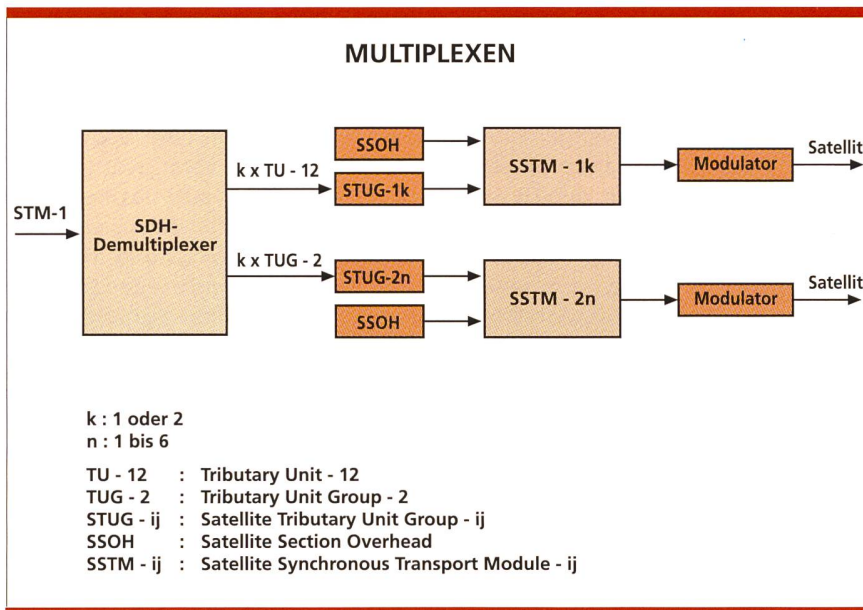


Bild 7. Demultiplexieren von STM-1 in Untereinheiten und Remultiplexieren zu synchronen Transportmoduls für Satelliten.

wie bei IDR, aus einem Zeitmultiplexsignal, das Informationen für mehrere Destinationen enthalten kann. Eine Bodenstation empfängt und demoduliert jeden Burst, sie verarbeitet aber nur die an sie adressierte Information. Maschennetze können aus diesen Gründen auch mit TDMA-Systemen realisiert werden.

Qualität einer TDMA-Verbindung

Da der Transponder nur ein Signal auf einmal verstärkt, erzeugt sein Leistungsverstärker keine störenden Intermodulationsprodukte. Er kann daher in der Nähe der Sättigung betrieben werden (nichtlinearer Betrieb des Satelliten), das heisst, die maximal mögliche Transponderleistung wird annähernd genutzt. Der normierte Rauschabstand E_b/N_0 des in der Bodenstation empfangenen TDMA-Signals erhält dadurch den beinahe grösstmöglichen Wert, der in der betreffenden Satellitenstrecke überhaupt erreichbar ist.

Ein TDMA-Empfänger kann einen Burst erst decodieren, wenn sich der Empfänger sowohl auf den Träger als auch auf den Bitstrom des ankommenden Bursts synchronisiert hat.

Misslingt dieser Synchronisationsvorgang, der in kürzester Zeit bewältigt werden muss (z. B. $< 3 \mu s$ bei dem Eutelsat- und dem Intelsat-TDMA), dann gehen ganze Bursts oder gar Rahmen verloren.

Die TDMA-Verbindungen weisen aber trotz dieser systembedingten Schwäche hohe Verfügbarkeit auf, so garantiert beispielsweise Eutelsat die international empfohlenen Übertragungsqualitäten der UIT-R [12 und 13] einzuhalten (Tabellen 4 und 5).

SDH über Satellit

Die plesiochrone digitale Hierarchie (PDH) wird heute durch die synchrone digitale Hierarchie (SDH) ergänzt. Längerfristig werden voraussichtlich die SDH-Verbindungen die PDH-Netze ersetzen. Die Normierung der SDH ist zurzeit so weit fortgeschritten, dass weltweit SDH-Verbindungen bereits im Einsatz sind oder geplant werden. Die synchronen Transportmodule (STM) sind Übertragungsströme der SDH. Ihre Breitbandigkeit ist der Glasfasertechnik angepasst, das heisst, die

Datenraten sind entsprechend hoch. Ein STM-1 (155,52 Mbit/s) kann mit einem 70 MHz breiten Transponder via Satelliten übertragen werden. Es wird dazu aber bereits eine Modulation mit acht Phasenlagen (8-PSK) benötigt. Entsprechende Modulatoren und Demodulatoren sind schon auf dem Markt. Die STM-4 (622,08 Mbit/s) oder gar STM-16 (2488,32 Mbit/s) sind für die heutigen Satellitenkapazitäten zu gross. In vielen Satellitenverbindungen ist aber der Bedarf an Kapazität wesentlich kleiner, als sie ein STM-1 anbietet. Eine UIT-R-Studiengruppe plant deshalb sogenannte synchrone Transportmodule für Satelliten (SSTM). Es sind neun verschiedene Transportmodule mit Bitraten im Bereich von etwa 2 bis 52 Mbit/s vorgesehen; als Grundlage für die Festlegung der Bitraten dienen die Kapazitäten der virtuellen Container [14]. Satellitenverbindungen für STM-1 sind heute im Gespräch. Der Satellit soll vorwiegend als Redundanz für Glasfaserleitungen dienen, dafür genügen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Maschennetze sind mit STM-1 jedoch auch möglich, es braucht dazu aber mehrere 70-MHz-Transponder.

Weder ein internationaler noch ein Satellitenbetreiber-Standard existiert zurzeit für STM-1-Übertragungen via Satelliten; Versuchsverbindungen sind aber von Intelsat bereits erfolgreich hergestellt worden.

Verbindungen für STM-1 via Satelliten

Modulationen mit mehreren Phasenlagen sind empfindlicher auf Störeinflüsse als Modulationen mit wenigen Phasenlagen. Ein 8-PSK-modulierter Träger benötigt deshalb für eine bestimmte BER einen grösseren Rauschabstand als ein 4-PSK-modulierter Träger. Eine quasi fehlerfreie Übertragung ($BER > 10^{-10}$) eines STM-1 erfordert einen normierten Rauschabstand von $E_b/N_0 = 10$ bis 11 dB, obwohl die Information mit einem Stufencode geschützt wird. Der hier eingesetzte Stufencode (innerer Code: $7/8$ -Treillis-Code, äusserer Code: R-S-Code) hat allerdings eine kleinere Korrektoreffizienz als der in Bild 3 aufgeführte. Die erwähnten Rauschabstände sind empirische und nicht theoretische Grössen, ein Vergleich mit den Kurven in Bild 3 ist nur bedingt möglich. Die Tatsache, dass der Transponder nur einen STM-

1-Träger zu übertragen hat, erlaubt einen nichtlinearen Betrieb des Sendeverstärkers im Satelliten. Die Rauschabstände der Träger in den Empfangsbodenstationen werden also gross ausfallen, es sind Übertragungsqualitäten zu erwarten, die denjenigen in IDR-Verbindungen, geschützt durch Stufencodes, entsprechen.

Punkt-zu-Punkt-Verbindung

In [1] werden drei verschiedene Szenarien einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung für STM-1 gezeigt und diskutiert. Zwei sind durch den Aufbau des SDH-Grundrahmens gegeben. Eine dritte entspricht dem Übertragungsprinzip, das auch bei IDR angewandt wird, dem terrestrischen Bitstrom wird ein Overhead übergestülpt. Die drei Szenarien sind in Bild 5 dargestellt.

Der Grundrahmen des STM-1 hat einen sogenannten Section Overhead (SOH), der sich in zwei Teile gliedert: den Regenerator Section Overhead (RSOH) und den Multiplex Section Overhead (MSOH). Der RSOH ermöglicht einen Informationsaustausch zwischen zwei benachbarten Regeneratoren, ein Regeneratorabschnitt wird mit Hilfe des RSOH überwacht. Der MSOH ermöglicht eine Überwachung in einem Multiplexerabschnitt. In einem Regenerator wird jeweils nur der RSOH ausgewickelt und verarbeitet. Ein Multiplexer dagegen wickelt den ganzen SOH aus, das heisst, der RSOH und der MSOH werden bearbeitet. Wie Bild 5 zeigt, könnte eine Bodenstation auch die Funktion eines Multiplexers (Mux), eines Regenerators (Reg) oder die heute übliche Funktion (Modem) haben.

Die Modems sind eigentlich ein Teil der Bodenstation und bewerkstelligen für die Übertragung die Kanalcodierung. Die Demodulatorausgangskreise der Modems enthalten die oben erwähnten Doppler- oder Elastic-Buffer. Der vom Satelliten empfangene Datenstrom kann dadurch synchron mit dem terrestrischen SDH-Takt in das terrestrische Netz gelesen werden.

Die in Bild 5 als «dark fibre» bezeichnete Satellitenverbindung hat die Schnittstelle zwischen dem Satellitennetz und dem terrestrischen SDH-Netz (NNI) direkt an den Modems. Bei diesem Szenarium ist die Satellitenverbindung voll transparent. Ein SDH-Betreiber bemerkt gar nicht, ob eine Satellitenstrecke in seiner Verbindung

enthalten ist oder nicht, daher der Name «dark fibre». Die Transparenz erhöht die Flexibilität der Bodenstation. Mit relativ bescheidenem Aufwand kann die Schnittstelle für einen anderen Dienst gebraucht werden, beispielsweise für den sogenannten pure ATM. Ein weiterer Vorteil ist, dass die gleichen Ausrüstungen sowohl für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung als auch für eine Verteilung Punkt zu mehreren Punkten gebraucht werden können. Für die Bedürfnisse der Bodenstationsbetreiber ist jedoch ein Overhead erforderlich: dieser könnte ähnlich demjenigen für IDR (zusätzliche 94 kbit/s) gestaltet werden, er wird im Modulator der Sendestation generiert und in der Partnerbodenstation im Demodulator ausgewertet und eliminiert.

Im nächsten Szenarium sind Regeneratoren Bestandteile der Satellitenverbindung, die Satellitenstrecke ist also im SDH-Netz ein Regeneratorabschnitt. Der Bodenstationsbetreiber hat Zugriff zum RSOH und kann die standardisierten Funktionen des Overheads nutzen, beispielsweise den Datenkanal für den Regeneratorabschnitt. Etwa die Hälfte der Overhead-Kapazität ist nicht definiert, das heisst, die betreffenden Bits sind als «reserviert für internationalen Gebrauch» oder als «reserviert für nationalen Gebrauch» deklariert. Ein grosser Teil des 1,278 Mbit/s starken RSOH-Overhead-Stroms steht für die Bedürfnisse der Bodenstationsbetreiber zur Verfügung.

Ein weiterer Schritt ist, die Multiplexer den Satellitenverbindungen zuzuordnen. Sie werden dadurch zu Multiplexerabschnitten. In diesem Szenarium hat der Bodenstationsbetreiber Zugriff zum ganzen SOH. Es stehen der Datenkanal für den Regeneratorabschnitt, der Datenkanal im MSOH-Multiplexerabschnitt und die reservierten Bits für nationalen und/oder internationalen Gebrauch beider Overhead-Teile für den Datenaustausch mit der Partnerbodenstation zur Verfügung. Etwa die Hälfte von 4,6 Mbit/s stellt sich dafür zur Auswahl.

Die Lösungen der Satellitenstrecke als Regeneratorabschnitt oder als Multiplexerabschnitt haben den Vorteil, dass keine zusätzlichen Satelliten-Overheads benötigt werden.

Das Dark-fibre-Szenarium braucht zwar einen speziellen Overhead, es hat aber den grossen Vorteil einer volltransparenten Leitung. In [1] wird deshalb die Dark-fibre-Lösung empfohlen.

Ein Maschennetz

Ein anschauliches Beispiel eines möglichen SDH-Maschennetzes, das durch ein Satellitennetz realisiert werden könnte, ist in Bild 6 abgebildet. Ein Maschennetz für bis zu sieben Bodenstationen liesse sich beispielsweise mit einem Eutelsat-II-Satelliten realisieren, denn diese Satelliten haben sieben 72-MHz-Transponder und zudem neun 36-MHz-Transponder an Bord.

Die Funktionalität eines Satellitenmaschensystems kann verglichen werden mit einem geographisch verteilten STM-1-Cross-Connect. Beide, das Satellitensystem und der STM-1-Cross-Connect, schalten Teile von STM-1 (Transporteinheiten oder virtuelle Container) zwischen mehreren Stellen. Im Satellitenfall sind es STM-1-Schnittstellen, die geographisch einige 1000 km weit auseinanderliegen können. Beim Cross Connect dagegen handelt es sich um Leitungsanschlüsse an einem Schalter. Die erwähnte Studie [1] zeigt, dass es nicht möglich sein wird, die heutigen SDH-Ausrüstungen ohne zusätzliche Erweiterungen in einem Satellitenmaschennetz einzusetzen. Die asymmetrischen Strukturen bedingen ein komplexes Konzept der sogenannten «fault condition and consequent actions». Erste Lösungsansätze sind in der Studie beschrieben, es sind jedoch noch weitere Untersuchungen dazu erforderlich.

Untereinheiten von STM-1

In den provisorischen UIT-R-Empfehlungen XX/4 und S.XY/4 [14] werden einige Lösungen von Netzwerkarchitekturen und Funktionen von Ausrüstungen für die synchrone Übertragung von STM-1-Untereinheiten (Sub-STM-1) in Satellitensystemen vorgeschlagen. Teile von STM-1 werden dabei mit speziellen Multiplexverfahren zu sogenannten satellitensynchronen Transportmodulen (Satellite Synchronous Transport Module, SSTM) verschachtelt. Im folgenden wird von den erwähnten Vorschlägen eine Lösung kurz beschrieben, sie ist ebenfalls in [1] behandelt.

Das Multiplexverfahren für die SSTM berücksichtigt die folgenden SDH-Prinzipien:

- Der Multiplexer verschachtelt oktettweise, es werden jeweils ein Oktett von einem ersten SDH-Teil (Vir-

tual Combiner, VC; Tributary Unit, TU usw.), gefolgt von einem Oktett eines zweiten SDH-Teils usw. aneinandergereiht.

- Die Satellitenstrecke muss für die SDH-Teile voll transparent sein.
- Es soll gewährleistet werden, dass die Funktionen in den SOH zu einem geeigneten Grad via Satelliten übertragen werden.

Um die SOH-Funktionen übertragen zu können, muss zu der multiplexierten Untereinheit ein spezieller Overhead (Satellite Section Overhead, SSOH) mitgegeben werden. Ein Blockschaltbild in Bild 7 präsentiert das Multiplexieren und das Remultiplexieren. Das ankommende STM-1-Signal wird bis zu dem TUG-2 (Tributary Unit Group-2) bzw. dem TU-12 (Tributary Unit-12) demultiplexiert. Ein oder zwei TU-12 bzw. ein bis sechs TUG-2 werden remultiplexiert, es entsteht das STUG (Satellite Tributary Unit Group). Der SSOH und ein STUG multiplexiert ergeben zusammen ein synchrones Transportmodul für Satelliten (SSTM). Die Tabelle 6 zeigt einige SSTM-Möglichkeiten mit den dazugehörigen Bitraten. Der Satelliten-Overhead (SSOH) ist in der Bitrate enthalten. Die STUGs repräsentieren eine neue Multiplexfolge, vergleichbar mit den terrestrischen TUGs, zwischen den TUG-12 und dem TUG-3/VC-3. Die synchronen Transportmodule für Satelliten können verglichen werden mit den STM-N, basierend auf einer neuen Multiplexhierarchie. 8.3, 9.3



Viktor Denzler, Ausbildung: dipl. Ing. HTL. Seit 1970 in der Direktion Forschung und Entwicklung tätig, Entwicklung von Fernsehsystemen (die ersten drei Jahre), nachher als Systemingenieur Mithilfe in der Entwicklung von Satellitenfunk, Koordination für Richt- und Satellitenfunk, Interferenzprobleme und neue Satellitensysteme.

Literatur

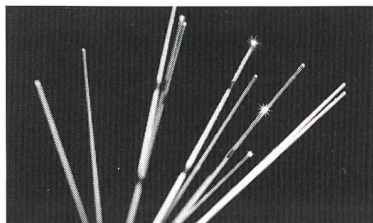
- [1] R. Brönnimann, P. Meuret, B. Perrin, V. Denzler. Studie für die European Space Agency (ESA), Teil: Broadband Communications by Satellite.
- [2] H. Dodel, M. Baumgart. Satellitensysteme für Kommunikation, Fernsehen und Rundfunk. Verlag Hüthig.
- [3] Intelsat earth station standards (IESS). Dokument IESS-308.
- [4] H. Gold, M. Kahnt; S. Ramseier. Performance of network protocols over Satellite. Doc. of COST226.
- [5] H. Gold, S. Remesch, M. Kahnt. Handbook for the parametrization of network Protocols over Satellite. Doc. of COST226.
- [6] ITU-T G.811.
- [7] Andrew J. Viterbi. Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm. IEEE Transactions on information theory, april 1967.
- [8] Intelsat earth station standards (IESS). Document IESS-308 (Rev. 8) Performance characteristics for intermediate data rate (IDR) digital carriers.
- [9] Eutelsat. Intermediate rate digital carrier (IDC) earth station standard I, EESS 203, issue 2 – Rev. 0.
- [10] R. Brönnimann. ATM over satellite – analysis and experimental results. Vortrag, gehalten am «Technology Summit» an der Telecom 1995 in Genf.
- [11] R. Zbinden, R. Brönnimann, P. Meuret. Exceeding duration of specific BER on digital satellite links with convolutional FEC and with concatenated FEC., Vortrag, gehalten von P. Meuret am «Fial Symposium» der COST226 in Budapest im Mai 1995.
- [12] Rec. ITU-R S. 522. Allowable bit-error ratios at the output of the hypothetical reference digital path for systems in the fixed-satellite service using pulse code modulation for telephony.
- [13] Rec. ITU-R S. 114. Allowable bit-error performance for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service operating below 15 GHz when forming part of an international connection in an integrated services digital network.
- [14] UIT-R Study Group 4, Working Party 4. Draft recommendation ITU-R XX/4. Network architecture and equipment functional aspects of digital satellite systems in the FSS forming part of SDH transport networks and Draft recommendation ITU-R S.XY/4 Transmission performance and OA&M aspects of digital satellite systems in the FSS forming part of SDH transport networks.

SUMMARY

Broadband communication via satellite

In the age of multimedia services, broadband communication is becoming an increasingly important tool. Today's satellite systems offer services for broadband signal transmission. Broadband signals of the synchronous digital hierarchy require new solutions. This report discusses the problems related to this application. First a few details of the satellite technology that can influence the digital data transmission streams are reviewed.

Wer uns jetzt für **Telekommunikation** kontaktiert, sichert sich den Technologievorsprung von morgen.



Unsere spezialisierten Ingenieure planen und realisieren für anspruchsvolle Kunden hochstehende Software und Hardware für Telekommunikation, Datenübertragung und -verwaltung. Gerne zeigen wir Ihnen, wie wir schon heute die Applikationen von morgen entwickeln.



SOHARD AG

Software/Hardware Engineering
Galgenfeldweg 18, CH-3000 Bern 32
Tel. 031 33 99 888, Fax 031 33 99 800

ISO 9001/EN 29001
SQS-zertifiziert



ete-hager

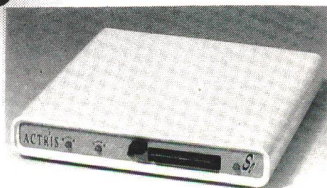
Ihr Spezialist für

ISDN TESTGERÄTE



TREND
aurora-Serie

Die **aurora** Geräteserie dient zur problemlosen Inbetriebnahme und raschen Fehlerlokalisierung der üblichen ISDN Schnittstellen. Die Signalisierung auf dem D-Kanal kann in verschiedenen Protokollen (ETSI, 1TR6, QSIG, u.a.) erfolgen und auf den B-Kanälen können simultan Daten und Gespräche verschiedener Dienste geschaltet werden. **aurora** Testgeräte erlauben die Emulation der ISDN-Komponenten TE und NT.



SERPE
Actris-Serie

Mit den **Actris** können auf einfache Weise Langzeitanalysen des ISDN D-Kanal-Protokolls realisiert werden. Die erfassten Daten können unter Verwendung verschiedener Filter von einem lokal angeschlossenen PC oder durch Fernabfrage via analoge resp. ISDN-Leitung analysiert werden.

Alle **aurora** wie auch **Actris** Geräte sind mit BRI S/T- und U- sowie PRI Schnittstellen erhältlich.

Ihr Telematik-Team



ete-hager