

# Satelliten im Dienste der Nachrichtenübertragung

Autor(en): **Brönnimann, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **81 (1990)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903053>

## **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.

# Satelliten im Dienste der Nachrichtenübertragung

Rudolf Brönnimann

*Im internationalen Fernmeldeverkehr hat die Nachrichtenübertragung über Satelliten für die PTT eine wesentliche Bedeutung. Neben der analogen und digitalen Telefonie wird insbesondere die Datenübertragung für die Unternehmenskommunikation immer wichtiger. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die heute verbreiteten Systeme und Übertragungsverfahren.*

*La technique des télécommunications par satellites joue un rôle essentiel pour les PTT dans le trafic interurbain international. A côté de la téléphonie analogue et numérique, la transmission de données pour les services d'affaires prend une part de plus en plus importante. Cette contribution donne une vue d'ensemble sur les systèmes et sur les modes de transmission actuellement les plus répandus.*

## Adresse des Autors

Rudolf Brönnimann, El.-Ing. HTL,  
Generaldirektion PTT, Forschung und  
Entwicklung, 3000 Bern 29.

Über die Satellitenbodenstation der PTT in Leuk im Kanton Wallis sind zur Zeit (Stand Sommer 1989) gegen 2000 Telefoniekanäle geschaltet. Mehr als 100 Datenkanäle mit Bitraten von 64 kBit/s bis 2 MBit/s führen über Leuk und insbesondere auch über die Kleinbodenstationen in Zürich, Genf und Basel. Die Satelliten selbst, das sogenannte Raumsegment, werden von internationalen Organisationen betrieben. Die Schweiz hat über die von *Intelsat* über dem Atlantischen und Indischen Ozean platzierten Satelliten Verbindung mit 57 Ländern. Satelliten von *Eutelsat* verbinden die Schweiz auch mit 9 europäischen Ländern. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Systeme und Verfahren zur Übertragung von Telefongesprächen, Daten und Fernsehprogrammen (Studio zu Studio) beschrieben, wobei der TV-Rundfunk für Direktempfang nicht berücksichtigt wird.

## Die geostationäre Umlaufbahn

Die Keplerschen Gesetze beschreiben die Bahnen von Satelliten um die Erde in gleicher Weise wie die Bahnen der Planeten um die Sonne. Diese Bahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Erde steht, wobei das Quadrat der Umlaufzeit proportional zur dritten Potenz der grossen Halbachse ist. Die geostationäre Umlaufbahn ist ein Spezialfall der allgemeinen Satellitenbahn:

- Die Satellitenbahnebene ist identisch mit der Äquatorebene.
- Die grosse und die kleine Halbachse der Bahn sind gleich gross; die Ellipse wird zum Kreis (Exzentrizität ist gleich Null).
- Die Halbachse wird so gewählt, dass

die Umlaufzeit 23 h, 56 min und 04 s (1 Sterntag) beträgt. Diese Bedingung ist mit einem Bahnradius von 42 164 km oder mit der Höhe von 35 786 km über dem Äquator gegeben, - und schliesslich muss sich natürlich der Satellit (mit der Erde) von West nach Ost bewegen.

Ein Satellit in dieser Umlaufbahn steht für einen Beobachter auf der Erde scheinbar exakt still. Nun gibt es aber verschiedene Kräfte, welche einen störenden Einfluss auf die Satellitenbahn haben. Die wichtigsten sind:

- Gravitationskräfte von Sonne und Mond,
- Inhomogenität der Erde (Ozeane, Kontinente),
- Strahlungsdruck der Sonne.

Diese Störkräfte machen regelmässige Bahnkorrekturmanöver mit den Steurdüsen erforderlich. Um den Satelliten in seiner Position mit der üblichen Genauigkeit von  $\pm 0,1^\circ$  sowohl in Ost-West- als auch in Nord-Süd-Richtung zu halten, werden alle zwei bis drei Wochen solche Korrekturmanöver durchgeführt.

Der für diese Korrekturmanöver notwendige Treibstoff wird sorgfältig budgetiert. Die Startmasse des Satelliten ist beschränkt, und der Treibstoffvorrat ist oft derjenige Faktor, welcher die Lebensdauer (Planungswert 7 bis 13 Jahre) des Satelliten begrenzt. Zudem muss eine bestimmte Menge Treibstoff in Reserve gehalten werden, um den Satelliten am Ende seiner Lebensdauer in eine «Friedhof»-Umlaufbahn, einige zehn Kilometer ausserhalb der geostationären Bahn, zu bringen. Dies verursacht den Ingenieuren einiges Kopfzerbrechen, weil der Treibstoffvorrat im schwerelosen Zustand gar nicht so einfach zu messen ist.

## Aufbau und Funktion von Nachrichtensatelliten

### Struktur, Energieversorgung, Temperaturkontrolle und Lagestabilisierung

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Nachrichtensatelliten: Die *drallstabilisierten* Satelliten haben einen zylinderförmigen Körper mit der Antennenplattform auf der einen Deckfläche (Bild 1). Die Mantelfläche

den Sonnenstrahlung ausgesetzt, und auf der anderen Seite wirkt die Kälte des Weltalls. Mit reflektierender Oberflächenverkleidung, Wärmeleitern, Heizung usw. werden optimale Temperaturen für die Baugruppen aufrechterhalten.

Neben den im ersten Kapitel erwähnten Bahnkorrekturen ist auch eine Lagestabilisierung notwendig, welche die Ausrichtung der Antennen auf die Versorgungsgebiete gewährleistet. Bei den drallstabilisierten Satelliten rotiert der Satellitenkörper, wobei die Rotationsachse parallel zur Erdachse liegt. Die Antennen oder eventuell auch die ganze nachrichtentechnische Nutzlast sind auf einer stillstehenden Plattform untergebracht und bleiben so auf die Erde ausgerichtet. Durch den Kreiseffekt wird die Stabilität massiv verbessert. Trotzdem sind von Zeit zu Zeit Korrekturen notwendig, die mit den Steurdüsen ausgeführt werden.

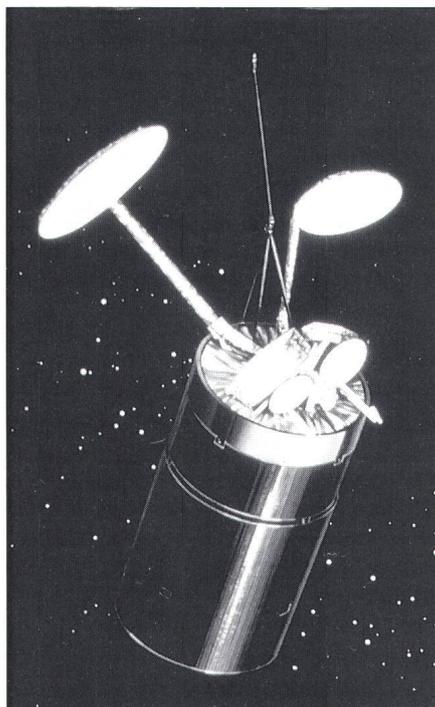
Die dreiachsenstabilisierten Satelliten liegen so im Raum, dass die Sonnenzellenausleger in die Nord- und Südrichtung weisen. Diese Ausleger drehen sich pro Tag einmal, sodass sie mit der aktiven Seite immer auf die Sonne ausgerichtet sind. Für die Lagekorrektur des Satellitenkörpers (und damit der Korrektur der Antennenausrichtung) sind im Satelliten drei kreiselartige Räder mit senkrecht zueinander stehenden Achsen untergebracht. Durch Beschleunigen und Bremsen

dieser Räder kann die räumliche Lage korrigiert werden.

### Die nachrichtentechnische Nutzlast

Die funktionelle Einheit in der nachrichtentechnischen Nutzlast ist der *Transponder*. Dieser empfängt die Signale innerhalb einer bestimmten Bandbreite (Transponderbandbreite), setzt diese in der Frequenz um und sendet sie verstärkt zur Erde zurück. Die Transponderbandbreite beträgt üblicherweise 36 oder 72 MHz. Die wichtigsten den Satellitendiensten zugeordneten Frequenzbänder sind in der Tabelle (Bild 3) zu sehen. Der Transponder ist eine funktionelle, nicht eine bauliche Einheit. Die gemeinsame Benützung von Antennen und rauscharmen Vorverstärkern, raffinierte Redundanzkonzepte und Rekonfigurationsmöglichkeiten machen das Blockschaltbild der nachrichtentechnischen Nutzlast recht kompliziert.

Die *Antennen* werden oft gleichzeitig zum Senden und Empfangen benützt, wobei die beiden Signale mittels Frequenzweichen getrennt werden. Bezüglich der Bedeckungszonen auf der Erde können drei Antennentypen unterschieden werden: Die Global-Beam-Antennen bedecken den ganzen sichtbaren Bereich der Erde gleichmässig. Die Hemi-Beam-Antennen bedecken Kontinente (ein über dem Atlantik stationierter Satellit bedeckt z.B.

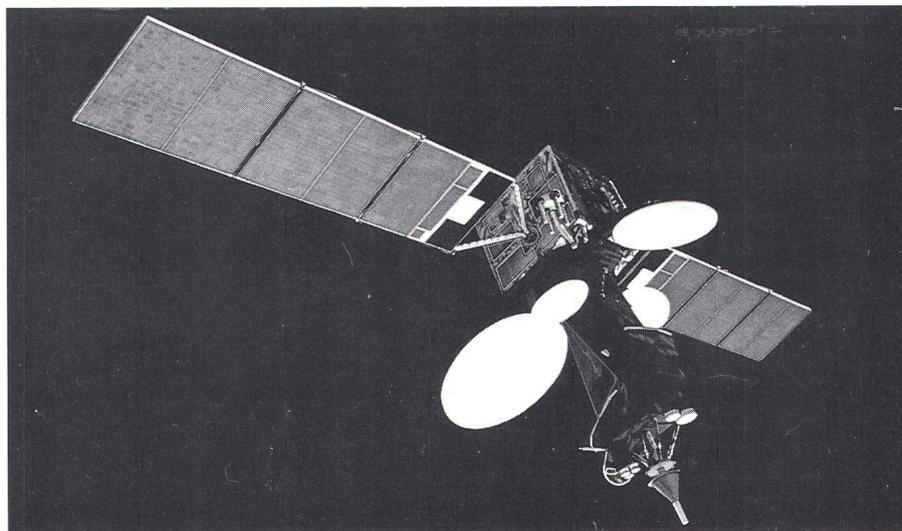


**Bild 1** Satellit vom Typ Intelsat VI (drallstabilisiert)

mit gegen 40 Transpondern und einer totalen Bandbreite von 3300 MHz. Die Übertragungskapazität entspricht 24 000 Telefonkanälen und 3 TV-Programmen. Erster Start 1989.

des Zylinders ist mit Sonnenzellen bestückt. Im Gegensatz dazu haben die *dreiachsenstabilisierten* Satelliten einen quaderförmigen Körper mit den an diesem angebrachten Antennen und den markanten flügelartigen Sonnenzellenauslegern (Bild 2).

Zur Versorgung der Satelliten mit elektrischer Energie dienen die bereits erwähnten Sonnenzellen. Während sich der Satellit - im Frühling und Herbst bis zu 72 Minuten - im Erdschatten befindet, halten Akkumulatoren die Stromversorgung aufrecht. Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist die Temperaturkontrolle. Auf der einen Seite ist der Satellit der gleissen-



**Bild 2** Satellit vom Typ Intelsat V (dreiachsen stabilisiert)

mit rund 22 Transpondern (abhängig von der Konfiguration) und einer totalen Bandbreite von 2144 MHz. Die Übertragungskapazität entspricht 12 000 Telefonkanälen und 2 TV-Programmen. Erster Start 1980

Frequenzband (GHz)			
Bezeichnung	Aufwärtspfad	Abwärtspfad	Typische Verwendungen
6/4 GHz (C-Band)	5,925–6,425	3,7–4,2	Intelsat-System (Telefonie) diverse nationale Systeme
14/11/12 GHz (Ku Band)	14–14,5	10,95–11,2 11,45–11,7 11,7–12,2 12,5–12,75	Intelsat- und Eutelsat-System (Telefonie, Daten) sowie diverse nationale Systeme
30/20 GHz (Ka-Band)	27,5–31	17,7–21,2	Diverse, in Entwicklung stehende Projekte, nationale Systeme

**Bild 3** Übersicht über die wichtigsten, in der Nachrichtenübertragung via Satelliten benutzten Frequenzbänder

mit einer Hemi-Beam-Antenne Nord- und Südamerika und mit der anderen Europa und Afrika). Mit den Spot-Beam-Antennen werden noch kleinere Zonen auf der Erde versorgt. Die Hemi- und Spot-Beam-Antennen haben den Vorteil, dass mit einer vorgegebenen Sendeleistung eine höhere Leistungsdichte im Versorgungsgebiet erreicht werden kann. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist, dass in verschiedenen Hemisphären oder Spots gleiche Frequenzen verwendet werden können. Ein Nachteil ist natürlich, dass die Signale eines Transponders mit Spot Beam nur von den in der Bedeckungszone liegenden Bodenstationen empfangen werden können.

Als weitere Möglichkeit zur Wiederverwendung von Frequenzen wird die Polarisationsentkopplung genutzt. Im C-Band (6/4 GHz) wird entweder links- oder rechtsdrehend zirkular und im Ku-Band (14/11/12 GHz) entweder vertikal oder horizontal polarisiert.

### Die Bodenstation

Das Blockschaltbild einer Satellitenbodenstation ist aus Bild 4 ersichtlich. Nicht dargestellt sind in dieser Figur die redundanten Systeme. Obwohl die Anwendungen recht verschieden sind (Telefonie, Datenübertragung oder TV-Übertragung), ist der Aufbau der Stationen sehr ähnlich.

### Antenne

Das Auffallendste jeder Bodenstation sind sicher die Antennen. Die drei grossen, auf je einen Intelsat-Satelliten

gerichteten Antennen in der Satellitenbodenstation Leuk haben einen Durchmesser von rund 30 m und arbeiten im 6/4-GHz-Band. Die vierte Antenne hat 18 m Durchmesser und arbeitet über einen Eutelsat-Satelliten im 14/11-GHz-Band. Die Kleinbodenstationen für Datenübertragung in Zürich, Basel und Genf haben Antennendurchmesser von rund 7 bis 9 m und arbeiten im 14/11/12-GHz-Band. Diese Antennen haben relativ zum isotropen Strahler einen Gewinn von 56 bis 66 dB. Der 3-dB-Öffnungswinkel

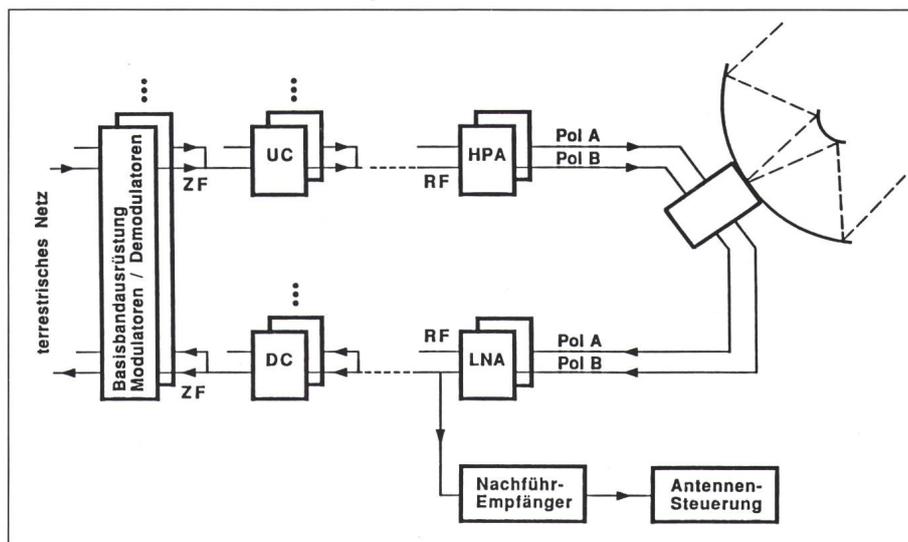
liegt damit im Bereich von  $\pm 0,05^\circ$  bis  $\pm 0,13^\circ$ . Für die ausserhalb der Hauptstrahlrichtung abgestrahlte spektrale Leistungsdichte bestehen strenge Spezifikationen, damit benachbarte Satelliten, welche die gleichen Frequenzen verwenden, nicht gestört werden.

Wenn man die Positionsgenauigkeit der Satelliten mit dem Öffnungswinkel der Antennen vergleicht, so wird klar, dass die Antenne der Bodenstation den Satellitenbewegungen nachgeführt werden muss. Ein spezieller Nachführepfänger empfängt ein Backsignal des Satelliten und bildet zusammen mit der Antennensteuereinrichtung einen Regelkreis. Im Winter müssen die Antennen bei Bedarf beheizt werden, um sie von Schnee und Eis freizuhalten. Bei den grossen Antennen in Leuk ist eine Heizleistung von 750 kW installiert.

Die Signale werden über ein in Hohlleitertechnologie ausgeführtes Feed ein- und ausgekoppelt. Normalerweise hat dieses vier Anschlüsse, nämlich je einen für die beiden Polarisierungen im Sendefrequenzband und für die beiden Polarisierungen im Empfangsfrequenzband.

### Sendekette

Die Basisbandausrüstung beinhaltet die terrestrische Schnittstelle, die Signalaufbereitung und die Modula-



**Bild 4** Blockschaltbild einer Satellitenbodenstation

Die übliche 1+1- oder n+1-Redundanz der Funktionsblöcke ist nicht dargestellt.

- UC Sendenumsetzer (Up-Converter)
- DC Empfangsumsetzer (Down-Converter)
- HPA Hochleistungsverstärker (High Power Amplifier)
- LNA Rauscharmer Vorverstärker (Low Noise Amplifier)
- Pol A/B Signale, die mit der einen oder anderen Polarisation gesendet resp. empfangen werden
- ZF Zwischenfrequenz 70 oder 140 MHz
- RF Sende- und Empfangsfrequenz 6/4 oder 14/11 GHz

tionseinrichtung. Das ZF-Signal liegt im Frequenzbereich von  $70 \pm 18$  MHz oder im Bereich  $140 \pm 36$  MHz. Dieser Frequenzbereich entspricht damit normalerweise der Transponderbandbreite.

Das Signal eines Modulators wird als Träger bezeichnet. Der *Sendeumsetzer* (UC) setzt einen oder mehrere Träger in das Sendefrequenzband um. Normalerweise ist für jeden Transponder, auf den die Bodenstation zugreifen will, mindestens ein *Sendeumsetzer* nötig.

Vom *Sendeumsetzer* wird das Signal zum *Hochleistungsverstärker* geführt. Diese Verbindung aus Hohlleitern kann mehrere hundert Meter lang sein. In der Bodenstation Leuk befinden sich die Basisbandausrüstung und der Umsetzer im Betriebsgebäude und die Hochleistungsverstärker unmittelbar bei der Antenne.

Die Hochleistungsverstärker (High Power Amplifier, HPA) haben als Endstufe meistens eine Wanderfeldröhre und verstärken die Signale von einem oder mehreren *Sendeumsetzern*. Für jede der beiden Polarisierungen ist in der Bodenstation mindestens ein Verstärker nötig. Die Hochleistungsverstärker haben eine Sättigungsleistung von einigen hundert Watt (Kleinbodenstationen) bis 3,5 kW (in den Intelsat-Stationen in Leuk).

Das Leistungsmerkmal der Sendekette ist die Sättigungs-EIRP (EIRP = Equivalent Isotropic Radiated Power). Diese setzt sich zusammen aus der HPA-Leistung und dem Antennengewinn abzüglich der Verluste in der Antennenzuführung. Im Mehrträgerbetrieb wird allerdings wesentlich unterhalb der Sättigungsleistung gearbeitet, um die Intermodulationsprodukte dritter Ordnung in den erlaubten Grenzen zu halten.

**Empfangskette**

Die Signale von mehreren Transpondern werden von der Antenne empfangen und in einem rauscharmen Vorverstärker (Low Noise Amplifier, LNA) verstärkt. Wichtig ist, dass zwischen Antenne und LNA die Dämpfung möglichst klein ist, weil jede Dämpfung das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (S/N) verschlechtert. Wurden in den Anfängen der Satellitenkommunikation noch heliumgekühlte parametrische Verstärker eingesetzt, werden heute (zumindest in den Kleinbodenstationen) meistens FET-Verstärker verwendet. Diese werden mittels

eines Peltierelements gekühlt oder arbeiten bei Raumtemperatur.

Vom Vorverstärker wird das Signal in den Betriebsraum zu den Empfangsumsetzern geführt. Der Empfangsumsetzer setzt das Signal eines Transponders in die ZF um, und in der Basisbandausrüstung werden die einzelnen Träger demoduliert, aufbereitet und in das terrestrische Netz weitergeleitet.

Als Qualitätsfaktor der Empfangskette wird das Verhältnis  $G/T$  bei klarem Himmel verwendet.  $G$  ist der Gewinn der Antenne im Empfangsfrequenzband, und  $T$  ist die Systemrauschtemperatur. Diese kann wie folgt definiert werden:  $T$  ist die physikalische Temperatur (in Kelvin) eines ohmschen Abschlusses (Rauschquelle), welcher am Eingang des Systems wirkt und beim rauschfrei angenommenen System am Ausgang die gleiche Rauschleistung erzeugt wie das reale System.

Den wesentlichsten Beitrag zur Systemrauschtemperatur erbringt der Vorverstärker. Typische Rauschtemperaturen für heutige 4-GHz-FET-LNA liegen bei 50 bis 75 K und für 11-GHz-FET-LNA bei 120 bis 250 K. Weitere Rauschbeiträge liefern: die Hintergrundstrahlung des Weltalls (4 K), die Einstrahlung der «warmen» Erde (ausserhalb der Hauptstrahlrichtung) in die Antenne und die Verluste in der Antennenseiteeinheit (zusammen einige 10 K).

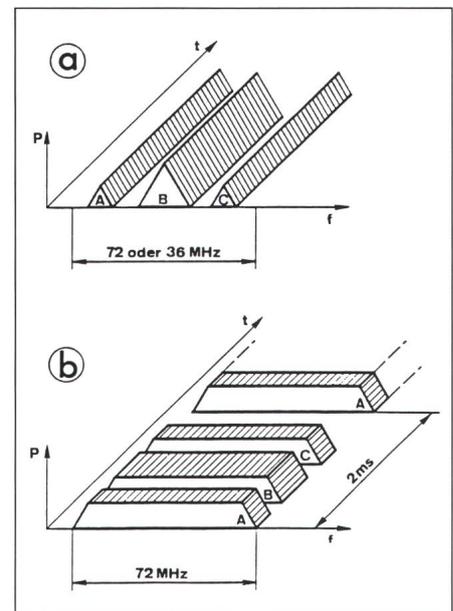
**Einfluss der Atmosphäre**

Im 6/4-GHz-Band beträgt die Zusatzdämpfung in der Atmosphäre auch bei schlechtem Wetter nur einige Zehntel Dezibel. Bei 14/11/12 GHz dagegen verursacht ein heftiges Gewitter schon mehrere Dezibel Zusatzdämpfung. Diese Dämpfung schwächt nicht nur die Signalleistung ab, sondern vergrössert auch die Systemrauschtemperatur des Empfangssystems. Auf der Basis von Niederschlagsstatistiken wird diesem Phänomen bei der Dimensionierung der Bodenstation Rechnung getragen.

**Zugriffsverfahren und Modulationsarten**

Der Satellitentransponder ist in funktioneller Hinsicht «transparent». Er setzt die Signale von der Empfangsantenne in der Frequenz um und sendet sie über die Sendeantenne zur Erde zurück. Das macht er unabhängig da-

von, ob in der Transponderbandbreite mehrere kleine Träger oder ein grosser Träger liegt, ob die Träger analog oder digital moduliert sind, ob die Träger dauernd vorhanden sind oder ein- und ausgeschaltet werden und ob diese von einer oder von mehreren Bodenstationen im Versorgungsgebiet der Antenne stammen. Diese Transparenz erlaubt es, einen Satelliten im Verlaufe seiner Lebensdauer für ganz verschiedene Anwendungen einzusetzen. Bei praktisch allen Anwendungen (mit Ausnahme der TV-Übertragung) arbeiten mehrere Bodenstationen über einen Transponder, man hat also eine Multipoint-to-Multipoint-Konfiguration.



**Bild 5 Zugriffsverfahren**

- a Frequency Division Multiple Access, FDMA
- b Time Division Multiple Access, TDMA
- A Signal von Station A nach Stationen B und C
- B Signal von Station B nach Stationen A und C
- C Signal von Station C nach Stationen A und B

**Frequency Division Multiple Access**

Nach wie vor sehr verbreitet ist der *Mehrfachzugriff durch Frequenzunterteilung (FDMA)*. Bei diesem Zugriffsverfahren belegt jede sendende Bodenstation einen Teil der Transponderbandbreite (Bild 5a). Damit die Anzahl der Modulatoren in der Bodenstation und auch die Anzahl der Träger im Transponder möglichst klein bleiben, werden die Telefoniekanäle für mehrere Destinationen auf denselben Träger aufmoduliert. Dieser Träger wird bei allen Destinationen empfangen und demoduliert, wobei dann na-

türlich von der Basisbandausrüstung nur die für die eigene Destination bestimmten Kanäle ins terrestrische Netz weitergeleitet werden.

Um die Intermodulationsprodukte in Grenzen zu halten, kann die Senderröhre des Transponders nicht mit der vollen Sättigungsleistung betrieben werden. Ein weiterer Nachteil ist der relativ grosse Aufwand in der Bodenstation für die Anpassung an neue Verkehrsbedürfnisse (Änderung von Destinationen und/oder der Anzahl Telefoniekanäle).

### Time Division Multiple Access

Für die Übertragung von digitalen Signalen (Telefonie oder Daten) wird im Intelsat- und Eutelsat-Netz seit mehreren Jahren auch der *Vielfachzugriff durch Zeitunterteilung (TDMA)* angewendet (Bild 5b). Jeder Bodenstation wird innerhalb eines Zyklus von 2 Millisekunden ein Zeitschlitz von einer bestimmten Länge zugeordnet. Während dieser Zeit sendet diese Bodenstation die Information für mehrere Destinationen als Burst mit der sehr hohen Bitrate von 120 MBit/s. Dieser Burst belegt die Transponderbandbreite von 72 MHz vollständig.

Die wesentlichsten Vorteile des TDMA-Verfahrens sind:

- Der Transponder wird in Sättigung betrieben, d.h. die Sendeleistung des Satelliten ist grösser als bei FDMA.
- Die Anpassung an neue Verkehrsbedürfnisse bedeutet meistens nur eine softwaremässige Anpassung der Konfiguration.
- Die Bursts werden sequentiell gesendet und empfangen. Pro Station ist damit nur ein Modulator und ein Demodulator notwendig.
- Wird das System mit einem Transponder-Hopping-Switch (zwischen Modulator und Sendeumsetzer sowie zwischen Empfangsumsetzer und Demodulator) ergänzt, kann über mehrere Transponder gearbeitet werden.

Auf der anderen Seite gibt es aber auch einige Aspekte, die einen mehr oder weniger grossen Aufwand bedingen:

- Als zeitliche Referenzmarken und zur Übertragung von Housekeeping-Information wird von zwei Referenzstationen je ein Referenzburst gesendet.
- Damit sich trotz Satellitenbewegung die Bursts im Transponder zeitlich nicht überlappen, muss das Timing

von jedem Burst dauernd überwacht und geregelt werden.

- Der Demodulator braucht eine gewisse Zeit, bis er auf die Träger- und Taktfrequenz eingerastet ist. Deshalb wird am Anfang jeden Bursts eine Synchronisier-Bitfolge (Präambel) gesendet.

Weitere Details findet man im Artikel von *M. Freudiger*<sup>1</sup>.

### Modulation von analogen Basisbandsignalen

Aus der Sicht der Satellitenübertragung wird ein Frequenzmultiplexsignal (FDM) mit mehreren, im 4-kHz-Abstand<sup>2</sup> liegenden analogen Sprachkanälen als Basisband bezeichnet, z.B. 24 Telefoniekanäle als Einseitenband-AM-Signale mit unterdrücktem Träger im Frequenzbereich von 12 bis 108 kHz.

Für die TV-Übertragung wird das Videosignal (0 bis 6 MHz) mit Hilfstonträger oder mit «Sound in Sync» als Basisband bezeichnet.

Für die Übertragung über Satellit werden diese analogen Basisbandsignale frequenzmoduliert (FM). Der Hauptgrund für diese Modulationsart ist die Rausch- und Störabstandverbesserung. Mit diesem FDM-FM-FDMA-Verfahren können mehrere Bodenstationen über einen 36-MHz-Transponder zusammen rund 500 Telefoniekanäle aufschalten. TV-Signale können eines oder zwei pro Transponder übertragen werden.

### Modulation von Bitströmen

Für die Modulation von Bitströmen wird meistens die QPSK-Modulation angewendet (Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK). Während zwei Bitzeiten wird der Träger je nach Wert der zwei Bit in der Phasenlage 0, 90, 180 oder 270° gesendet. Durch die Verwendung von geeigneten Filtern im Modulator wird die Bandbreite des Trägers auf das absolut Notwendige begrenzt.

Beinhaltet der Bitstrom kurzperiodische Sequenzen oder gar über längere Zeit nur Nullen oder Einsen, entstehen im Träger diskrete Spektrallinien mit hoher Leistung, welche andere Systeme stören können. Aus diesem Grund wird mit einem rückgekoppelten

Schieberegister der Bitstrom vor der Modulation verwürfelt und nach der Demodulation entwürfelt (Scrambling - Descrambling). Damit wird der übertragene Bitstrom unabhängig vom Inhalt zu einer Quasi-Zufallsfolge, und das Spektrum des modulierten Signals erhält rauschähnlichen Charakter.

### Vorwärtsfehlerkorrektur

Um die Ressourcen (Sendeleistungen) optimal auszunutzen, werden die *Link Budgets* und damit der Signal-zu-Rausch-Abstand sehr knapp geplant. Bei digital modulierten Signalen entstehen deshalb im Demodulator einzelne Bitfehler. Aus diesem Grund wird bei der Übertragung von digitalen Signalen über Satelliten oft ein

Vorwärtsfehlerkorrektur-Verfahren (Forward Error Correction, FEC) angewendet. Dabei wird dem Bitstrom auf der Sendeseite Redundanz zugefügt (Encoding). Auf der Empfangsseite können dann mit Hilfe dieser Redundanz einzelne oder sogar mehrere Bitfehler erkannt und korrigiert werden (Decoding). Der Viterbi-Algorithmus ist ein häufig verwendetes FEC-Verfahren. Der Codierungsfaktor (Anzahl Informationsbit zur Anzahl übertragener Bit) beträgt 1/2 oder 3/4.

### Entwicklungstendenzen

Im Rahmen der allgemeinen Digitalisierung der Telefonnetze und mit der Einführung von ISDN werden die digitalen Verfahren die analoge Übertragung langsam ablösen. Neben dem Ausbau der bestehenden TDMA-Systeme werden digitalisierte Telefoniekanäle auch in Bitströme von 2 oder 8 MBit/s multiplexiert und übertragen (Intermediate Data Rate, IDR).

Auch in Europa wird mit der vermehrten Einführung von VSAT-Systemen (Very Small Aperture Terminal, VSAT) gerechnet. Diese kleinen Bodenstationen (Antennendurchmesser 1 bis 3 m) werden direkt beim Endbenutzer installiert und dienen zur Datenübertragung von und zu einer zentralen, sogenannten Hub-Station.

Mittelfristig könnten Satellitensysteme im Mobilfunkbereich eine grosse Bedeutung erhalten. Systeme zur Telegrammübertragung von und zu Fahrzeugen sind bereits fertig entwickelt, und an Systemen zur Sprachübertragung wird gearbeitet.

Auf den Satelliten werden bereits heute vermehrt Spot-Beam-Antennen und Shaped-Beam-Antennen einge-

<sup>1</sup> *Martin Freudiger*: 120-MBit/s-TDMA/DSI-Ausrüstungen für Satellitenverbindungen, Technische Mitteilungen PTT, 1987, Nr. 2, S. 90-101

<sup>2</sup> In einem Telefoniekanal werden die Frequenzen von 0,3-3,4 kHz übertragen).

setzt. Mit Shaped-Beam-Antennen können Versorgungsgebiete mit komplizierten geometrischen Formen (einzelne Länder oder Kontinente) versorgt werden. Solche Antennen können sogar rekonfigurierbar sein, damit ein Satellit im Verlaufe seiner Lebensdauer an anderen Positionen für neue Versorgungsgebiete eingesetzt werden kann.

Mit Satellite-Switched-TDMA-(SS-TDMA-)Systemen werden in einem Satelliten mit mehreren Spot-Beam-Antennen die Bursts eines Spots mittels einer Schaltmatrix umgeschaltet und in einem beliebigen anderen Spot auf die Erde zurückgesendet. SS-TDMA

wird mit den Intelsat-VI-Satelliten (erster Start 1989) eingeführt.

Durch den Einsatz von Signalverarbeitung im Satelliten (On Board Processing, OBP) wird man flexiblere Systeme mit einfacheren Bodenstationen verwirklichen können. OBP kann die einfache Regeneration von digitalen Übertragungssignalen bis zu aufwendigen Vermittlungsfunktionen (Switching in the Sky) beinhalten.

Um bei bereits in Betrieb stehenden Satelliten Treibstoff zu sparen und damit die Lebensdauer zu verlängern, verzichtet man teilweise auf die Bahnkorrekturen in Nord-Süd-Richtung (Inclined Orbit). Für Bodenstationen,

die mit einer Nachführeinrichtung ausgerüstet sind, gibt das kaum Probleme. Auf die Bahnkorrekturen in Ost-West-Richtung kann man wegen der Beeinflussung von Nachbarsatelliten nicht verzichten.

Mit dem 1989 gestarteten Olympus-Satelliten hat man nun auch in Europa die Möglichkeit, im 30/20-GHz-Frequenzband Versuche durchzuführen. In diesem Frequenzband ist die Beeinflussung durch schlechtes Wetter stark. Heftige Gewitter verursachen Zusatzdämpfungen von mehr als 10 dB. Man entwickelt gegenwärtig adaptive Systeme, um diesem Problem zumindest teilweise begegnen zu können.