Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 17

Artikel: Satelliten-Telekommunikation

Autor: Thoma, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905003

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: 11.12.2025

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

Satelliten-Telekommunikation

P. Thoma

621.396.934:629.783;

Gegenwärtig befinden sich ungefähr 130 Satelliten in der bevorzugten geosynchronen Umlaufbahn. Sie dienen ganz verschiedenen Verwendungszwecken, z. B. der kommerziellen Nachrichtenübermittlung, der Rundfunk- und Fernsehversorgung, der privaten Datenübermittlung, der Forschung und der Sicherstellung militärischer Verbindungen. Anhand der wichtigsten technischen Daten wird die Entwicklung der Satelliten-Telekommunikation beschrieben, unter besonderer Berücksichtigung der Bodenstation Leuk.

Quelque 130 satellites sont actuellement en orbite géosynchrone préférentielle. Ils servent à des buts très variés, par exemple à la transmission commerciale de nouvelles, à la télédiffusion et télévision, à la transmission de données privée, à la recherche, à assurer des liaisons militaires. L'auteur décrit l'évolution des télécommunications par satellites et leurs principales caractéristiques, en considérant notamment la station terrienne suisse de Loèche VS.

1. Allgemeines

Das Einsatzgebiet der Nachrichtensatelliten kann grob in drei Bereiche unterteilt werden:

- Satelliten für die öffentlichen Dienste, wie Telefonie, Telex und Datenverkehr, sowie für internationale Televisionsstudioverbindungen,
- Satelliten, welche der direkten Rundfunkversorgung dienen (Heimempfang),
- Satelliten, welche teilweise auf privater Basis eingesetzt werden für den Datenverkehr innerhalb oder zwischen Grossfirmen.

Obwohl die Satelliten verschiedenen Verwendungszwekken dienen, weisen sie eine Anzahl gleichartiger Eigenschaften auf. Sie befinden sich beispielsweise auf der geosynchronen Umlaufbahn in einer Entfernung von etwa 36000 km über der Erdoberfläche in der Äquatorebene. Die Umlaufzeit eines Satelliten in dieser Bahn beträgt 24 h. Dadurch scheint der Satellit, bezogen auf einen Punkt auf der Erdoberfläche, stillzustehen (geostationär). Mit drei Satelliten ist es möglich, ein weltumspannendes Netz zu errichten (Fig. 1).

Die Stromversorgung der Satelliten erfolgt fast ausnahmslos durch Sonnenzellen, welche mit Akkumulatoren gepuffert sind. Die Leistung der verwendeten Solargeneratoren liegt im Bereich von 600 W bei den spinstabilisierten Satelliten (Sonnenzellen aussen auf dem Satellitenkörper angebracht) bis zu etwa 1350 W bei den dreiachsenstabilisierten Satelliten mit Sonnenpaddel (Fig. 2). Diese photovoltaische Leistung kann mit etwa 30% Wirkungsgrad in Sendeleistung umgesetzt werden.

Die Übertragungsfrequenzen, welche heute in der Satellitenkommunikation verwendet werden, liegen bei 4/6 GHz, 11/14 GHz und bei 12/18 GHz. Innerhalb eines Satelliten werden die verwendeten Frequenzen auf mehrere Transponder verteilt. Die Bandbreite eines solchen Transponders beträgt beispielsweise 36 MHz. Jeder Transponder verfügt über einen eigenen Sendeverstärker mit einer Sendeleistung zwischen 20 W und etwa 250 W. Da in vielen Fällen mehrere Träger gleichzeitig in einem Transponder verstärkt werden, wird die maximal nutzbare Sendeleistung um 6–10 dB tiefer liegen. Die Dämpfung durch die Freiraumausbreitung erreicht bei 4 GHz den Wert von 196 dB. Vergleichsweise beträgt die Freiraumdämpfung für eine Richtstrahlstrecke von 50 km bei der gleichen Frequenz 139 dB. Damit trotz der begrenzten Sendeleistung auf dem Satelliten der notwendige Träger-/Rauschabstand im Empfänger erreicht werden kann, sind besondere Massnahmen erforderlich: grosse Empfangsantenne, rauscharmer Empfangsverstärker, auf die zu versorgenden Gebiete zugeschnittenes Sendeantennendiagramm des Satelliten oder Verstärkung von nur einem einzelnen Träger pro Transponder. In den meisten Fällen ist zur maximalen Nutzung der Kapazität des Satelliten eine Kombination dieser Massnahmen erforderlich. Auffallend für den Betrachter verschiedener Sende- und Empfangsanlagen für Satellitenkommunikation sind die unterschiedlichen Durchmesser der verwendeten Antennen. Sie betragen 90 cm bis 30 m, was für den Gewinn der Antenne einer Differenz von etwa 30 dB entspricht.

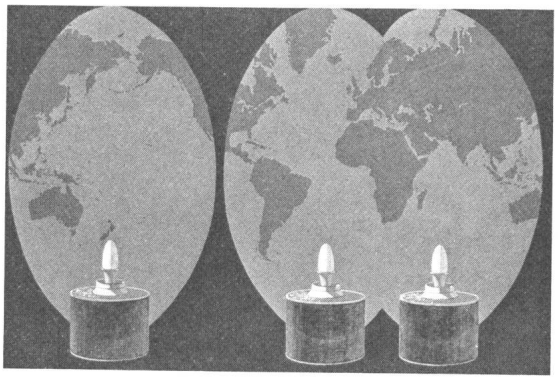

Fig. 1 Weltumspannendes Kommunikationsnetz mittels dreier Satelliten
Mit diesen drei IS III Satelliten wurde 1969 erstmals ein solches Netz realisiert

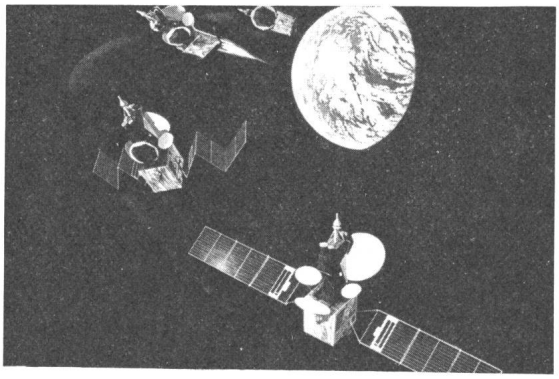

Fig. 2 Ein Satellit mit Sonnenpaddel wird in die Umlaufbahn gebracht
Mit dem Apogäumsmotor werden die Satelliten in die geosynchrone Umlaufbahn geschossen und anschliessend wie bei diesem dreiachsenstabilisierten IS V die Sonnenpaddel entfaltet.

2. Rundfunksatelliten

Die Rundfunksatelliten, welche heute von mehreren europäischen Ländern geplant sind (z. B. Deutschland mit TV-SAT D, Frankreich mit TDF-1), sind so ausgelegt, dass die Empfangsstation einen Antennendurchmesser von mindestens 90 cm aufweisen muss. Es wird dabei ein Qualitätsfaktor, definiert als das logarithmische Verhältnis von Gewinn G zu Systemrauschtemperatur T, von $G/T = 6$ dB notwendig sein. Die äquivalent isotropisch abgestrahlte Leistung (EIRP) des Satelliten liegt in der Grössenordnung von 63 bis 66 dBW. Aus technischen wie auch aus politischen Gründen ist es notwendig, das Antennendiagramm der Satelliten-Sendeantenne so auszulegen, dass möglichst nur das zu versorgende Gebiet ausgeleuchtet wird. Bei den verwendeten Frequenzen im Bereich von 11,7 bis 12,1 GHz bedingt dies beispielsweise eine Satelliten-Sendeantenne mit einem Durchmesser von etwa 3,5 m, um die durch die WARC (World Administrative Radio Conference) 1977 festgelegten Feldstärken innerhalb des schweizerischen Versorgungsgebietes zu erreichen und dabei die Nachbarländer nicht zu stören.

Diese Angaben sind selbstverständlich unvollständig und sollen lediglich dazu dienen, einige Merkmale eines Rundfunksatellitensystems zu beleuchten.

3. Entwicklungsgeschichte der Kommunikationssatelliten für öffentliche Dienste

Im Jahr 1958, also vor knapp einem Vierteljahrhundert, wurde in den USA der erste Nachrichtensatellit (SCORE) abgeschossen. Er lebte 12 Tage, bevor die Batterien an Bord erschöpft waren. Im Jahr 1960 folgten der Riesenballon ECHO und der Satellit COURIER sowie später TELSTAR (1962) und RELAY (1962). Sie hatten alle den gleichen Nachteil, bedingt durch ihre niedrige Umlaufbahn von 600 bis 7000 km und die damit verbundenen kurzen Erdumlaufzeiten: Man konnte nur während kurzer Zeit (etwa 20 min) Fernsehbilder oder Telefongespräche übertragen, bevor der Satellit jeweils wieder hinter dem Horizont verschwand. Mit SYNCOM (1963) wurde erstmals ein Satellit in einer geosynchronen Umlaufbahn betrieben. In den USA wurde die Gesellschaft COMSAT gegründet und die Idee eines weltweiten kommerziellen Satelliten-Telekommunikationsnetzes geboren.

Am 20. August 1964 kam nach zweijährigen Verhandlungen die von 11 Nationen getragene internationale Organisation für Fernmeldesatelliten INTELSAT zustande. Am 6. April 1965 begann mit dem Abschuss des geosynchronen Satelliten Early Bird (bzw. INTELSAT I, wie er später benannt wurde) das Zeitalter der permanenten interkontinentalen Breitband-Satellitenverbindungen. INTELSAT I (IS I) war in der Lage, 240 Telefoniekanäle oder ein Fernsehsignal von den USA nach Europa oder umgekehrt zu übertragen (Point to Point). Stabilisiert wurde IS I wie seine Nachfolger durch die Rotation des Satellitenkörpers (Spinstabilisierung). Als Antenne wurde ein fest montierter Rundstrahler verwendet. Mit 72 cm Durchmesser, einer Höhe von 59 cm und einer Masse von 38,6 kg in der Umlaufbahn ist IS I der kleinste und leichteste der IS-Satelliten. Im Vergleich dazu ist IS V 19,5 m breit, 6,4 m hoch und hat eine Masse von 1950 kg.

IS I war für eine Lebensdauer von 18 Monaten ausgelegt, erreichte aber das Alter von 3 Jahren.

Der im Oktober 1966 in die Umlaufbahn geschossene IS II verfügte über dieselbe Kapazität wie sein Vorgänger, besass aber neu eine Richtantenne, welche die Energie nur noch in Richtung Erdoberfläche abstrahlte. Dadurch und durch die Anwendung besserer Verstärker waren innerhalb des Überdeckungsbereichs erstmals Mehrträgerverstärkung und somit Mehrfachverbindungen möglich (Multipoint). IS II besass bei etwa doppeltem Durchmesser und gleicher Höhe ungefähr das doppelte Gewicht von IS I. Er war für eine Lebensdauer von 3 Jahren ausgelegt.

IS III war als wesentliche Neuerung mit einer rotierenden Hornantenne bestückt, welche mit entgegengesetzter Drehrichtung gegenüber dem Satellitenkörper rotierte (despun) und dadurch immer auf die Erdoberfläche ausgerichtet war. Seine Kapazität betrug 1500 Telefonkanäle sowie gleichzeitig 4 Fernsehkanäle. Es wurde je ein Satellit über dem Atlantik, dem Pazifik und dem Indischen Ozean stationiert und auf diese Weise im Jahr 1969 erstmals ein weltumspannendes Telekommunikationsnetz aufgebaut. Im gleichen Jahr fand auch die erste bemannte Mondlandung statt (Apollo 11).

Im Januar 1971 folgte die nächste Generation der INTELSAT-Satelliten mit dem IS IV. Bei einem Durchmesser von 2,38 m, einer Höhe von 2,8 m und einer Masse von 731 kg verfügte dieser Satellit erstmals über 12 Transponder mit einer Gesamtkapazität von durchschnittlich 3750 Telefonie- und 2 Fernsehkanälen. Die enorme Kapazitätssteigerung wurde einerseits durch die Verwendung von zwölf Transpondern und andererseits durch den Einsatz von parabolischen «Spot beam»-Antennen erreicht. Mit diesen Antennen lässt sich die Energie auf ein begrenztes Gebiet auf der Erdoberfläche konzentrieren. Im September 1975 folgte die weiterentwickelte Version des IS IV, der IS IVA. Verbesserte Antennensysteme, welche eine sehr gute Entkopplung der beiden Hemisphären West und Ost aufweisen, gestatten die zweifache Wiederverwendung der gleichen Frequenzen. Der Satellit weist mit 20 Transpondern eine Kapazität von 6000 Telefonie- und 2 Fernsehkanälen auf. Wie sein Vorgänger ist er auf eine Lebensdauer von 7 Jahren dimensioniert.

Heute befindet sich bereits die nächste Generation, IS V, über dem Atlantik in Betrieb. Diese Satelliten sind in den Dimensionen, im Gewicht und natürlich auch in der Übertragungskapazität wesentlich grösser als ihre Vorgänger. So vermag ein IS V-Satellit im Durchschnitt 12 000 Telefonieverbindungen und zwei Fernsehkanäle gleichzeitig zu betreiben. Die bis anhin verwendeten Frequenzbänder im 4/6-GHz-Bereich wurden durch Frequenzen im 11/14-GHz-Band erweitert. Weiterentwickelte Antennen gestatten eine Ausleuchtung nicht nur einer Hemisphäre (z. B. Nordamerika/Südamerika oder Europa/Afrika), sondern einer Zone (z. B. Europa) oder sogar eines «Spot» (z. B. Westeuropa). Diese «Zonal beams» sind kreuzpolarisiert. Dadurch lassen sich die gleichen Frequenzen auf dem Satelliten bis zu viermal verwenden. Im Unterschied zu den bisherigen Intelsat-Satelliten ist der IS V dreiachsenstabilisiert, d. h. er verfügt an Bord über ein Kreiselsystem, welches als Lagereferenz verwendet wird.

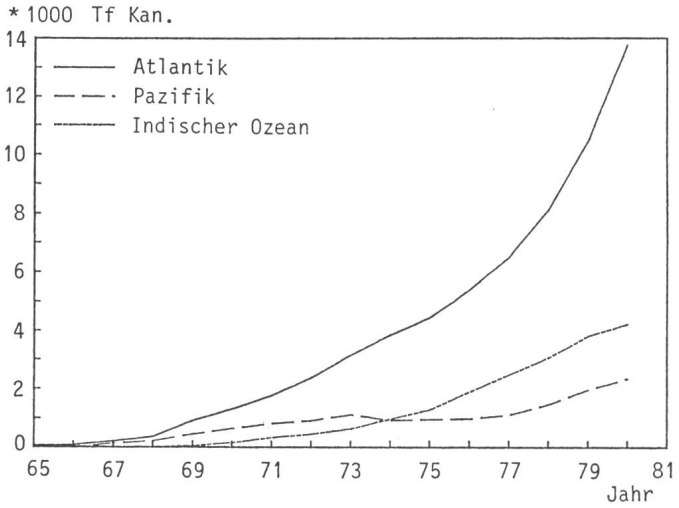

Fig. 3 Entwicklung der Telefoniekanalzahlen bei Intelsat

Bereits 1980, noch bevor der erste IS V abgeschossen wurde, begann die Weiterentwicklung zum IS VA. Dieser wird bei ähnlichen Dimensionen eine Kapazität von 15 000 Telefonie- und 2 Fernsehkanälen aufweisen. Derartige Satelliten werden ab etwa 1984 den Betrieb aufnehmen. Heute befindet sich IS VI, der Nachfolger von IS VA, bereits in Entwicklung. Er wird, wie das seit IS III immer wieder der Fall war, etwa die doppelte Kapazität seines Vorgängers aufweisen. Er soll ab 1986 in Betrieb genommen werden. Es wird sich hier wieder um einen spinstabilisierten Satelliten handeln.

Figur 3 zeigt die Entwicklung der Telefoniekanalzahlen bei INTELSAT seit 1965. Aus Figur 4 ist die Entwicklung von Gewicht und Kanalzahl der Satelliten seit IS I ersichtlich. Es fällt auf, dass bei stetiger Gewichtszunahme die Kanalzahlen ab 1975 (IS IVA) deutlich stärker zugenommen haben als bei den vorangehenden Generationen. In der Zeit zwischen 1965 und heute wurden auch immer wieder Experimentiersatelliten in Umlaufbahn gebracht, um neue Übertragungsmethoden zu erproben, dies vor allem mit dem Ziel, die Kapazität bei gegebener Bandbreite weiter zu steigern. Bereits heute werden zwei Drittel der internationalen

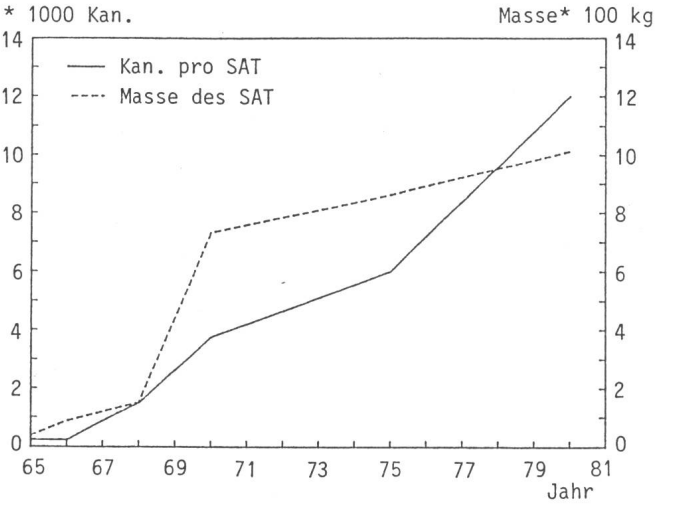

Fig. 4 Kanalzahlen und Masse von Intelsat-Satelliten

Verbindungen über die Ozeane via Satelliten abgewickelt. In den USA, in Kanada und in Indonesien sind Satelliten auch für den landesinternen Telefonie- und Datenverkehr im Einsatz.

4. Bodenstation Leuk

Seit 1974 beteiligt sich die Schweiz mit einer eigenen Satelliten-Bodenstation am Verkehr im INTELSAT-Netz. Im Januar 1974 wurde die erste Antenne in Betrieb genommen. Die zweite Antenne folgte ziemlich genau 6 Jahre später. Gegenwärtig werden im Bereich des Atlantischen Ozeans mit 22 verschiedenen Ländern insgesamt 593 Telefoniestromkreise über die zwei Antennen in Leuk betrieben. Ab Ende 1983 wird mit einer weiteren Antenne der Verkehr über den Indischen Ozean aufgenommen werden. Tabelle I zeigt, in welche Länder Anfang Mai 1982 wie viele Kanäle über die beiden Antennen in Leuk geführt wurden.

Die beiden sog. Standard-A-Antennen in Leuk stehen mit zwei verschiedenen Satelliten über dem Atlantik in Verbindung. Tabelle II gibt Auskunft über einige technische Daten der beiden Antennen. Da sie nicht identisch sind, handelt es sich nur um ungefähre Werte.

Sendeseitig werden die Telefoniekanäle zum Teil für verschiedene Destinationen innerhalb einer Ausleuchtungszone des Satelliten im Frequenzmultiplex zusammengefasst und als frequenzmodulierter Träger ausgestrahlt. Empfangsseitig werden diejenigen Träger empfangen und demoduliert, welche Verkehr für die Schweiz enthalten. Dieser wird von den anderen Telefoniekanälen (z. B. mit Destina-

Anzahl Telefoniekanäle über die Bodenstation Leuk Tabelle I

Land	Leuk 1 Major	Leuk 2 Prim	Spade SCPC	Total
Angola	---	-X-	Ja	[1])
Argentinien	---	11	Ja	> 11
Brasilien	11	---	Nein	11
Canada	18	12	Nein	30
Chile	---	[2]) 2	Ja	> 2
Ecuador	---	[2]) 2	Ja	> 2
Elfenbeinküste	4	---	Ja	> 4
Gabon	[2]) 2	---	Ja	> 2
Irak	---	7	Ja	> 7
Iran	---	---	---	---
Israel	---	-11-	Nein	11
Jordanien	---	-X-	---	[1])
Kuwait	---	9	Ja	> 9
Libyen	[2]) 2	---	Ja	2
Mexiko	---	17	Ja	> 17
Nicaragua	[2]) 2	---	Ja	> 2
Nigeria	---	12	Ja	> 12
Panama	---	12	Nein	12
Paraguay	---	-X-	Ja	[1])
Peru	---	-X-	Ja	[1])
Saudi-Arabien	---	45	Ja	> 45
Sudan	---	[2]) 2	Ja	2
Südafrika	---	17	Ja	> 17
Uganda	---	[2]) 2	Ja	> 2
Uruguay	---	[2]) 2	Ja	> 2
USA	228	168	Nein	396
Venezuela	---	5	Ja	> 5
Zimbabwe	---	2	Nein	2

[1]) = SPADE: Single Channel Per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignement Equipment, Pool mit 18 Kanälen
[2]) = SCPC (Single Channel Per Carrier)

Daten der Standard-A-Antennen in Leuk Tabelle II

Antennendurchmesser	30 m
Antennengewinn sendeseitig	64 dB
Sendefrequenzband	6 GHz
Sendersättigungsleistung	3 kW/Sender
Empfangsfrequenzband	4 GHz
Antennengewinn empfangsseitig	60 dB
Empfängerrauschtemperatur	40 K
Qualitätsfaktor *G/T*	42 dB/K

Daten der geplanten Antenne in Leuk Tabelle III

Antennendurchmesser	18 m
Antennengewinn sendeseitig	66 dB
Sendefrequenzband	14 GHz
Sendesättigungsleistung	1-2 kW/Sender
Empfangsfrequenzband	11 GHz
Antennengewinn empfangsseitig	64 dB
Empfängerrauschtemperatur	150 K
Qualitätsfaktor *G/T*	41 dB/K

tion Deutschland) getrennt und in neu zusammengestelltem Multiplex im terrestrischen Netz weitergeleitet. Dieses Übertragungsverfahren ist als FM-FDMA (Frequency Modulation - Frequency Division Multiple Access) bekannt. Dadurch, dass auf jeder Sendeseite der Verkehr zusammengefasst wird, werden in der Bodenstation mehr Träger empfangen als ausgesendet.

Es ist vorgesehen, ab 1985 über Leuk auch Telefonie und Datenverkehr im europäischen Raum über den Satelliten ECS (European Communication Satellite) aufzunehmen. Dazu wird eine weitere Antenne mit ungefähr den Eigenschaften nach Tabelle III gebaut werden.

Als Übertragungsverfahren wird erstmals PSK-TDMA (Phase Shift Keying - Time Division Multiple Access) verwendet werden. Telefonie und Datenkanäle werden in digitaler Form übertragen, und der Satellit wird im Zeitmehrfachzugriff betrieben, d.h. die Kapazität eines Transponders steht alle 2 ms für eine kurze Zeit (Burst) einer einzigen Bodenstation zur Verfügung. Die Zuordnung eines Sprachkanals über den Satelliten erfolgt nur, wenn der entsprechende Teilnehmer spricht. Da dies in der Regel nur etwa während 40% der Zeit der Fall ist, können auf diese Weise etwa doppelt so viele Gespräche über den Satelliten geführt werden, wie Kanäle vorhanden sind. Diese Verfahren werden ab 1985 auch im INTELSAT-Netz angewendet werden.

5. Halbprivate und private Satelliten-Telekommunikation

Ein weiterer wichtiger Zweig in der Satelliten-Telekommunikation sind die in den USA unter dem Namen «Satellite Business System» bekannten, halbprivaten oder privaten Telekommunikationsnetze, über welche Firmen ihren geschäftsinternen Daten- und Telefonieverkehr abwickeln. In Europa sind ähnliche Dienste ab Ende 1983 über TELECOM I oder den Satelliten ECS unter der Bezeichnung SMS (Satellite Multiservice System) verfügbar.

Der Grundgedanke dieser Systeme liegt darin, dass die Bodenstation in unmittelbarer Nähe des Kunden steht. Dadurch lassen sich lange und kostspielige Zubringerleitungen vermeiden. Mit einer relativ kleinen Bodenstation mit einem Antennen-Durchmesser von etwa 5 m (bei TELECOM 1 in Mitteleuropa mit 3,5 m) lassen sich Verbindungen von Grossfirmen zu den Zweigniederlassungen im In- und Ausland mit Kapazitäten von 2,4 kbit/s bis zu 2,048 Mbit/s kostengünstig realisieren. Es sind sowohl Punkt-zu-Punkt-Verbindungen als auch stern- oder ringförmige Netze möglich. Für Kunden mit sehr grossem Datenverkehr oder in abgelegenen Gebieten ist es sinnvoll, die Bodenstationsausrüstungen direkt am Firmenstandort zu betreiben. In den meisten übrigen Fällen wird es wirtschaftlicher sein, sich einer regionalen Antenne anzuschliessen. Für Ausstellungen, Konferenzen usw. können auch mobile Anlagen in Betrieb genommen werden. Ebenso kann sich die Anschaffung einer mobilen Station für ein Unternehmen mit vielen grösseren Auslandaufträgen lohnen, da ein Teil der Infrastruktur des Unternehmens, wie z.B. Computer, via Satellit von der Arbeitsstelle im Ausland mitbenutzt werden kann. «Videoconference», «Teleconference», Telefonie, «Telecopy» und zentrale Datenverarbeitung gehören zu den Hauptanwendungen dieser Kommunikationsnetze.

Mit Hilfe einer Vermittlungsstelle lassen sich die beschriebenen Netze untereinander verbinden. Diese Möglichkeiten dürften vor allem für Unternehmen der Touristik und Reisebranche von grossem Interesse sein. So könnte z.B. ein Reisebüro jederzeit mit direktem Zugriff zu den zentralen Datenspeichern der entsprechenden Unternehmen Buchungen bei Hotels, Fluggesellschaften und anderen Transportunternehmungen vornehmen.

Der Einsatz mobiler Ausrüstungen für Satellitenkommunikation wird ganz besonders für Hilfsorganisationen in Katastrophengebieten interessant. Mit bescheidenem Aufwand lassen sich einige Telefoniekanäle via Satellit in sehr kurzer Zeit realisieren. Sie werden die bis anhin oft verwendeten Kurzwellenverbindungen ablösen und bei wesentlich besserer Qualität auch eine grössere Zuverlässigkeit aufweisen. Als temporärer Ersatz der landesinternen Telekommunikationsnetze eignen sich Satellitenverbindungen nicht sehr gut, da durch den langen Übertragungsweg die Laufzeit zwischen Sender und Empfänger etwa 250 ms beträgt. Diese Verzögerungszeit ist nicht nur unangenehm, sondern kann, insbesondere bei Datenübertragungen, welche keine speziellen Protokolle für diese Laufzeiten besitzen, zu Fehlern führen.

Adresse des Autors
Dipl. Ing. *Peter Thoma*, GD PTT, Abt. Forschung & Entwicklung, Sektion Richtfunktechnik, Ostermundingerstrasse 91, 3006 Bern.