

Aktuelle Aspekte der Satellitenkommunikation

„... ich kann mir kein besseres Instrument der Gegenrevolution vorstellen“

– mit diesen Worten lehnte Josef Stalin 1953 einen Plan zur Verbesserung des sowjetischen Telefonsystems ab. Die Zeiten haben sich seit dem geändert und auch die ehemals stalinistisch-kommunistischen Länder erkennen heute, dass eine funktionierende Volkswirtschaft effiziente Kommunikation voraussetzt. So hat die Satellitenkommunikation seit Anfang der 90er Jahre grosse Schritte nach vorne machen können. Die Notwendigkeit, im Osten rasch leistungsfähige Datenübertragung für Industrie und Handel, den Dienstsektor und den Staat einzurichten, führte zum Durchbruch.

Das Bild zeigt einen typischen Kommunikationssatelliten mit seinen nach Norden und Süden ausgerichteten Solarpaneelen, die, auf dem Satelliten rotierend, ständig lotrecht auf die Sonne gerichtet sind, während der Satellit mit den Antennen auf die Erde ausgerichtet ist.

Die Satellitenkommunikation hat sich zum wichtigsten Bereich der Raumfahrt entwickelt. Sie stiftet dauerhaft hohen, kommerziellen Nutzen und ermöglicht globale Informationsverbreitung; beides sind wesentliche Elemente marktwirtschaftlich orientierter Demokratien. Anwendungen der Satellitenkommunikation finden sich in den internationalen Fernverbindungen, im nationalen Bereich und nicht zuletzt im Mobilfunk – die Direktkommunikation von Mensch zu Mensch. Mit kleinen Satellitenterminals (*Very Small Aperture Terminals*; VSATs, und *Satellite Interactive Terminals*, SITs) wurden grosse Stückzahlen und damit niedrige Preise erreicht. Lag der Anteil der Satellitenübertragung an der Weltkommunikation ca. 1990 bei 1%, überschritt er schon im Jahr 2000 die 10% Marke. Ein halbes Jahrhundert nach dem Einschuss der ersten Trabanten in die Umlaufbahn wird der Satellit in der modernen Kommunikationsinfrastruktur zur Selbstverständlichkeit.

Der Nutzen der Raumfahrt erstreckt sich über die vielen Detailerfindungen z.B. in die Medizintechnik; die Mikroelektronik, die Mechatronik und die Datenkompression von Sprache und Bild etc.

Die grösste Leistung der Raumfahrt besteht aber darin, dass sie uns mit den Kommunikationssatelliten Instrumente hohen Alltagsnutzens verfügbar macht.

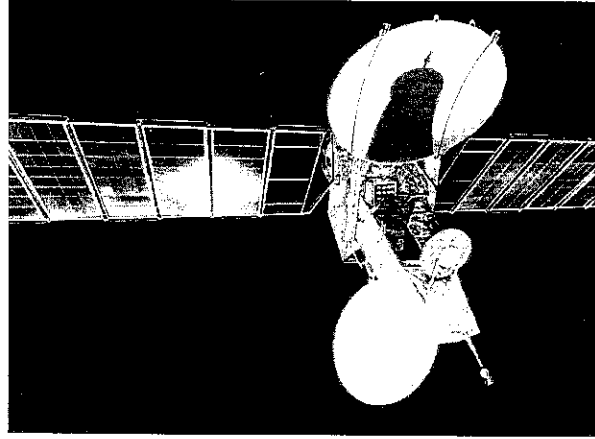


Abb. 1.1 Ein Fernmeldesatellit im geostationären Orbit

Sowohl infrastrukturell als auch wirtschaftlich sind sie heute unverzichtbare Elemente des globalen Fernmeldenetzes, der Versorgung mit Fernsehen und medialen Breitbanddiensten sowie bei Katastrophen- und UNO-Einsätzen. Diese Entwicklung ist gekennzeichnet durch den Übergang von

- Analog- zu Digitaltechnik,
- drahtgebundener zu funkgestützter Übertragung,
- Schmalband- zu Breitbandnutzungen,
- terrestrischer zu Satellitenübermittlung und
- der „dinglichen“ (dem Telefonapparat) zur „persönlichen“ Kommunikation (dem Handy).

Die USA nahmen bei der Entwicklung der Satellitenkommunikation und dem Satellitenmobilfunk (IRIDIUM, GlobalStar, OrbComm) eine Vorreiterstellung ein. Keines dieser tiefliegenden Systeme konnte jedoch betriebswirtschaftlich betrieben werden; alle drei meldeten Bankrott an. An ihre Stelle traten ab dem Jahr 2000 geostationäre Satelliten (Thuraya, Garuda/ACeS etc.).

In der Breitbandkommunikation sind die USA führend, aber ohne hinreichende Standards; die Europäer haben ISDN¹, GSM/UMTS², DAB³, COFDM⁴, DECT⁵,

¹ Integrated Services Digital Networks

² Global System for Mobile Communications; Universal Mobile Telecommunications Services

³ Digital Audio Broadcast

⁴ Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

⁵ Digital Enhanced Cordless Telephone

TETRA⁶, DVD⁷ und DVB⁸ entwickelt und standardisiert und sich eine führende Rolle in der digitalen Telekommunikation gesichert; hier sind wir den USA um Jahre voraus. Diese Systeme demonstrieren, dass sich mit der Digitaltechnik die Übertragungskapazität vervielfachen lässt. Die schmalbandige Kommunikation der Vergangenheit wächst in die Breitband-multimedia-Dienste. Aus dem stationären „Ding“ auf dem Schreibtisch wird das persönliche Handy, das allzeit und weltweit funktioniert.

Tabelle 1.1 zeigt die Entwicklung der Raumfahrt bis zu den ersten Satelliten.

Tabelle 1.1 Die Geschichte der Raumfahrt bis zu den ersten Satelliten

1865	Jules Verne, <i>Die Reise von der Erde zum Mond</i> ; Utopischer Roman, 1872
1895	Konstantin Eduardowich Ziolkowski, <i>Die geostationäre Umlaufbahn</i> ; wissenschaftliche Arbeit; Russland
1903	Konstantin Eduardowich Ziolkowski, <i>Die Erforschung des Weltraumes mittels Reaktionsapparaten</i> ; Russland
1923	Hermann Oberth, <i>Die Rakete zu den Planeten</i> ; Klausenburg, Verlag R. Oldenburg, München und Berlin
1929	Hermann Potochnik (ein Slowene, alias Noordung), <i>Das Problem der Befahrung des Weltraums</i> ; Richard C. Schmidt & Co., Berlin
1934	Wernher von Braun (1912–1977), <i>Konstruktive, theoretische und experimentelle Beiträge zum Problem der Flüssigkeitsrakete</i> , Berlin
03.10.1942	Erster Start einer Rakete in den Weltraum (Wernher von Braun), von Peenemünde, Usedom; Typ A4 (V2), Teststand 4/Aggregat 4; 11,2 t Masse; 1,1 t Nutzlast; 25 t Schub; Geschwindigkeit 1320 m/s, Weite 190 km; Höhe 83 km
15.05.1945	Arthur C. Clarke, <i>The Space Station; Its Radio Applications</i> ; Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, London
24.07.1950	Start einer V2 mit WAC-Corporal-Oberstufe von Cape Canaveral auf 400 km Höhe; Einstieg der USA in die Raumfahrt (mit dt. Rakete und dt. Personal)
04.10.1957	Start des ersten SPUTNIK (<i>Gefährte</i>) durch die Sowjetunion (Koroljow; 1906–1966); 83,6 kg Masse; 52 cm Durchmesser; 250/950 km-Bahn; 96 min Umlauf; Abstrahlung der „Kommunistischen Internationalen“ im Eintönverfahen mit je 1 W bei 20 & 40 MHz, bis die Batterien nach 24 d leer waren
03.11.1957	Start des zweiten SPUTNIK mit der Polarhündin LAIKA (lebte noch 5 Tage); 800 kg; 240/1 670 km Orbit; Batterien für 6 Tage; Messung von Höhen- und Sonnenstrahlung
31.01.1958	Start des EXPLORER-1 (Wernher von Braun); 368/2 540 km Orbit; 107 min Umlauf; 32° inkliniert; entdeckte den inneren Van Allen Strahlungsgürtel
17.03.1958	Start des VANGUARD (<i>Vorhut</i>); 134 min Periode; 652/3 965 km Orbit; 1,6 kg Masse(); 34° inkliniert; erster Satellit mit Solarzellen; entdeckte die „Birnenform“ der Erde

⁶ Trans European Trunked Radio (nichtöffentlicher terrestrischer Mobilfunk in EU)

⁷ Digital Versatile Disk

⁸ Digital Video Broadcast, einschl. DVB-S (via Satellite) und DVD-RCS (satellite Return Channel System)

Tabelle 1.1 Fortsetzung

15.05.1958	Start des 3. SPUTNIK; 1 327 kg; 1. sowjetischer Satellit mit Solarzellen; 220/1 880 km Orbit; Lebensdauer 380 Tage; Mikrometeoriten-, Strahlungss- und Ionenforschung
18.12.1958	Start des SCORE („Spielstand 1:0“), erster Kommunikationssatellit, USA, 68 kg Masse, 101,5 min-Umlauf, 185/1 470 km Bahn, 32,3° incliniert
09.11.1967	100 t Nutzlast in den Erdumlauf befördert (Saturn-V, USA); die bemannte Mondlandung (Apollo, USA); Grundlage der <i>International Space Station</i> und der bemannten Exploration des Sonnensystems.

1.1 Die Rolle des Satelliten in der Kommunikation

Der Satellit ist physikalisch konkurrenzlos im Mobilfunk und betriebswirtschaftlich auch mittelfristig fast konkurrenzlos in kurzfristigen Einsätzen, in Anwendungen mit sporadischem Verkehr und im *Multicast* („Einer an viele“); für „Einer an n“ reicht ein Satellitensignal, wohingegen terrestrisch n Kabel gelegt werden müssten; ASTRA bedient heute rund 100 Millionen Haushalte. Damit ergeben sich die Satellitenanwendungen:

- (1) *Corporate* und *Internet broadband interactive multimedia communications*
- (2) *Multicast* Fernsehen und Hörfunk
- (3) Mobilfunk und PCS bis hin zu *broadband interactive UMTS*
- (4) Kommunikation bei Katastrophen (*Disaster-proof Availability*)
- (5) *Satellite News Gathering* (der Rückkanal zum Studio)
- (6) Flexible Geschäftskommunikation mit VSATs und STTs
- (7) Nationaler, Regionaler und Internationaler *Thin Route Traffic*
- (8) NATO- und UNO-Missionen in Regionen mangelnder Infrastruktur
- (9) Zeitbegrenzte Anwendungen
- (10) Aufbau unterentwickelter Infrastrukturen.

Was verbirgt sich hinter diesen Dienstkategorien, Fachausdrücken und Abkürzungen?

1.1.1 Fernsehen und Hörfunk

Fernsehen gewinnt weiterhin an Bedeutung. Immer mehr Programme werden angeboten. Sie werden über Satellit *Direct to Home* (DTH), über Satellit und Kabelkopfstation oder terrestrisch verteilt. Die terrestrische Verteilung von Fernsehen und Hörfunk über Kabel und Funk ist vergleichsweise kostenintensiv und über Funk deutlich abnehmend.

Die Fa. SES (Luxemburg) hat das Satellitensystem ASTRA erfolgreich aufgebaut. Auf der Position 19,2°O werden ca. 10 Satelliten mit über 100 Transpondern kolonisiert, die – digital betrieben – im Mittel 10 TV-Programme pro Transponder abstrahlen.

Von der Position 29,2°O strahlt ASTRA digitale Programme (viele in Englisch) ab. Konkurrenz bietet die EUTELSAT; ihr HotBird+ auf 13°O ist ebenfalls auf mehr als 100 Transponder ausgelegt.

WorldSpace (Washington) betreibt globale GEO-Satelliten zur Verteilung von Hörfunk mit Programmen von BBC, CNN, Deutsche Welle etc. Dies ist wirtschaftlicher als terrestrische Sender in allen fünf Kontinenten. Die Satelliten haben eine signalverarbeitende Nutzlast; Die geographisch diversifizierten FDMA-*Uplinks* werden umformatiert und mit TDM/Einzelträgern (mit 300 W Sendeleistung) im L-Band abgestrahlt. In den USA bieten die geostationären XM Satelliten und die umlaufenden HEO-Satelliten (*Highly inclined Elliptical Orbits*; s. Kap. 3) SIRIUS diese Rundfunkdienste an.

1.1.2 Corporate Multicast

Für den Verkehr *one-to-many* kann der Satellit kostengünstiger als die Glasfaser oder der terrestrische Richtfunk sein. *Corporate TV*, *Intra company software updates* und *corporate inventory* werden heute selbst in Mitteleuropa mit seiner exzellenten Infrastruktur vielfach via Satellit gemacht.

1.1.3 Satellite News Gathering

Satellite News Gathering (SNG) ist das Sammeln (*Gathering*) und Übermitteln von *News* vom Ort des Geschehens, über Satellit zu den Fernsehanstalten. Die Berichterstattung kann geplant (Fußballspiele etc.) oder ad hoc sein (Katastrophen, Kriege etc.). In beiden Fällen bekommt der Fernsehzuschauer das aktuelle Geschehen live zu sehen – wenn die Fernsehanstalt vorsorglich Satellitenkapazität gebucht hat oder Arrangements mit einem Betreiber hat, sie kurzfristig zu bekommen.

1.1.4 Katastropheneinsätze

Bei natur- oder menschenverursachten Katastrophen ist Kommunikation bei der Durchführung von Hilfsmaßnahmen wichtig. Staaten wie Japan und die Bundesstaaten New Jersey und Kalifornien haben ihre Katastrophenkommunikation per Gesetz auf den Satelliten gelegt. Die Zahl der schadensintensiven Naturkatastrophen (Stürme, Erdbeben, Überschwemmungen) eskaliert um einen Faktor 4 alle zehn Jahre. Das Ausmaß der Terroranschläge wächst von Jahrzehnt zu Jahrzehnt (siehe 11.09.01 und der Ausfall des terrestrischen Netzes in New York für 24 Std.). Hier kann die Nützlichkeit der Satellitenkommunikation nicht hoch genug eingeschätzt werden.

1.1.5 Flexible Geschäftskommunikation mit VSATs

Die Geschäftskommunikation mit Kleinst-Terminals (VSATs, < 2 m) bieten Datenraten bei 64 kbit/s, allergeringste Terminals (μSATs; < 1 m) bis 1 kbit/s und

Terminals mittlerer Grösse (> 2 m) höhere Datenraten einschl. Videokonferenzen für Besprechungen, Kongresse und Tagungen. Der 1.7.1989 brachte Deutschland die Liberalisierung der Telekommunikation: Über Nacht stieg der Kommunikationsbedarf; es entstanden Dutzende von privatwirtschaftlichen Betreibern von Individual- und Geschäftskommunikation. Man bekommt heute mehrere Mbit/s ins Haus zu dem Preis wie vor 10 Jahren 64 kbit.

Die Kosten der Satellitennutzung in Europa sind dabei, sich dem Weltstandard anzupassen. Mit dem weiteren Vordringen privater Betreiber (SES Luxemburg/GE-Americom, auch in den Kommunikationsbereich, und ORION, INTELSAT/PANAMSAT) und den Satellitenkapazitäten von z.B. INTER-SPUTNIK nähern sich die Transpondergebühren dem internationalen Niveau an.

Satellitenkommunikation ist auch in der Geschäftskommunikation wirtschaftlicher als terrestrische Lösungen. Der US-Marktführer installierte ab 1990 ca. 1000 VSATs pro Monat. Es waren im Jahr 2000 weltweit ca. 500 000 VSATs in Betrieb:

68% in den USA	14% in Europa	10% in Asien/Pazifika
2% in Lateinamerika	5% im Nahen Osten	1% in Afrika.

Die Satelliten-Geschäftskommunikation (*Business-to-Business*; „b2b“) trägt wesentlich zu den westlichen Volkswirtschaften bei.

1.1.6 Nationaler, Regionaler und Internationaler Thin Route Traffic

Internationale ortsfeste Kleinbündelverkehrsdienste (*Thin Route Traffic*), z.B. zwischen Washington und Lagos, werden noch in vielen Jahren über Satellit abgewickelt, wo sich eine Kabelverbindung nicht lohnen würde. Glasfaserkabel mit höchsten Übertragungsraten amortisieren sich dort, wo die hohe Übertragungskapazität auch genutzt wird. Das *Fiber Link Around the Globe* (FLAG), weltlängstes Unterseekabel (25 000 km) mit 5 Gbit/s Übertragungsrate hat die Fa. NYNEX 1997 ca. 1 Mrd. US\$ gekostet und macht sich erst dann bezahlt, wenn die 13 Landepunkte⁹ es mit ca. 200 Mio US\$ Verkehr pro Jahr füllen.

1.1.7 Mobilfunk, PCS, S-UMTS, G4

Der Mobilfunk ist ein Satellitenstammgeschäft. Das an die Person gebundene Handy wurde zunehmend populär. Die *Personal Communication Services* (PCS) wachsen auf der ganzen Welt. Das zukünftige *Satellite-Universal Mobile Telecommunications* (S-UMTS) wird die ortsfeste Telefonie verdrängen. UMTS/G4¹⁰ wird GSM und *Satellite PCS* (S-PCS) einschliessen. Die Fläche der Bundesrepublik zu 80% mit Zellularfunk auszurüsten kostete jeden der beiden D-Netz-Betreiber vor 20 Jahren € 2 Mrd. Die restlichen 20% kosteten weitere € 2 Mrd. Die gesamte Bundesrepublik kurzfristiger und 100% flächendeckend satellitengestützt zu bedienen, hätte ca. € 500 Mio gekostet.

⁹ England, Portugal, Italien, Ägypten, Saudi Arabien, Indien, Indonesien, Singapur, Hongkong, Malaysia, Japan, Korea

¹⁰ G4 = 4. Generation Mobilfunk

1.1.8 Zeitbegrenzte Anwendungen

Für temporäre Anwendungen (Veranstaltungen, Grossbaustellen etc.) ist der Satellit kostengünstiger als der Aufbau terrestrischer Netze, insbesondere auch da, wo die exakte Dimensionierung des zukünftigen Netzes aufgrund mangelhafter bekannten Bedarfs nicht möglich ist. Zum Beispiel setzt die Telecom France zurzeit Satellitenkommunikation ein, um DSL flächendeckend anbieten zu können.

Die Satellitenlösung bietet die grössere Flexibilität: Zusätzliche Kapazität kann einer Verbindung mühelos zugeschaltet werden, aber auch wieder abgebaut werden, während einmal in der Erde eingegrabene Kabelkapazitäten weder erweitert noch einfach wieder ausgegraben werden können, wenn sich das Fernmeldeverkehrsaufkommen ändert.

1.1.9 NATO und UNO-Missionen

Die NATO und die UNO betreiben ständig Dutzende von friedensschaffenden und -erhaltenden Missionen, meist in unterentwickelten Infrastrukturen, für die die Fernmeldetechnik zur Koordination der Hilfsmassnahmen und Kommunikation mit den Zentralen der in der Mission beteiligten Truppenteile aufgeschaltet werden muss. Dieser weltweite Einsatz lässt sich wirtschaftlich und schnell nur mit Satellitenkommunikation realisieren.

Im Golfkrieg 1992 wurde zur Unterstützung der UNO-Mission Satellitenkommunikation in grossem Umfang eingesetzt. Ausser den militärischen Satelliten der USA, NATO und Englands wurden auch die Systeme INTELSAT, INMARSAT, ARABSAT u.a. benutzt. Die Bundeswehr hat in UNOSOM 1993/94 in Somalia INTELSAT (C-Band), INMARSAT (L-Band) und NATO (X-Band) für die Verbindung nach Belet Huen verwendet. Bei UNO-Missionen ist der „Soziale Verkehr“ von ähnlicher Bedeutung wie Dienstgespräche. Telefonate der Soldaten mit ihren Familien sind unverzichtbar zur Truppenbetreuung, um die Negativfolgen einer längeren Trennung von der Familie gering zu halten.

1.1.10 Aufbau unterentwickelter Infrastrukturen

Der rasche Aufbau leistungsfähiger Telefonnetze in Ländern mit mangelnder Kommunikationsinfrastruktur (z.B. manche Staaten Ost-Europas, weite Teile Südostasiens, Afrikas und Südamerikas) ist nur mit Hilfe von Fernmeldesatelliten und Kleinst-Erdfunkstellen (VSATs) wirtschaftlich realisierbar und zügig durchführbar.

Nur Satellitenkommunikation kann diesen Regionen zum Anschluss an die „1. Welt“ verhelfen. Aber auch in der „1. Welt“ mangelt es zuweilen beim Einstieg in die *Broadband-Interactive*-Dienste an 155 Mb/s Links zum privaten Teilnehmer, selbst in Deutschland.

1.2 Attribute der Telekommunikation

Die wesentlichen Qualitätsattribute in der Kommunikation sind

- Kundendienst des Diensteanbieters (customer service)
- Kosten pro Monat (Grundgebühren plus Gesprächseinheiten)
- Palette der angebotenen Dienste: Sprache – Daten – Breitband
- Flächendeckung der angebotenen Dienste (carrier reach)
- Flexibilität des Diensteanbieters, Innovation des Diensteanbieters
- Qualität der Dienste: Signalqualität, Bitfehlerrate, Unterbrechungsfreiheit, technologische Reife der angebotenen Dienste.

Danach entscheidet sich mittelfristig der Erfolg des Betreibers.

Attribute der Satellitenkommunikation

Den genannten einzigartigen Einsatzmöglichkeiten der satellitengestützten Kommunikation können charakteristische Attribute zugeordnet werden:

- Flexibilität, mit der unterschiedliche Informationsvolumina geschaltet werden können,
 - wie schnell nach Auftragsvergabe der Dienst aufgenommen wird,
 - wie einfach und flexibel das Netz neue Verbindungen ermöglicht bzw. alte abbaut;
- Zuverlässigkeit der Übertragung und Verfügbarkeit bei gegebener Qualität,
 - Unterdrückung von Übertragungsfehlern,
 - durchgängige Verfügbarkeit (keine Ausfälle),
 - Sicherheit gegen Abhören;
- Wirtschaftlichkeit
 - die Beschaffungskosten für die notwendigen Geräte,
 - die monatlichen Kosten für die Übertragung,
 - kurzfristige Inbetriebnahme: die Verkabelung eines Gebietes dauert i.Allg. Jahre; ein Satellitenkommunikationsnetz kann in wenigen Monaten betriebsbereit sein – keine Einnahmeverluste als Folge nichtverfügbarer Kommunikationskapazität;
 - gerade für verkehrsschwache Verbindungen (Thin Route Traffic) ist ein Satellitennetz mit seiner flexiblen Übertragungskapazität wirtschaftlicher als die Verkabelung;
 - schliesslich ist der Satellit im Mobilfunk, zu Lande in grossen Staaten (z.B. USA, Kanada, Australien), zur See und in der Luft, konkurrenzlos;
- Flächendeckung
 - ein einziger geostationärer Satellit überdeckt fast 50% der Erdoberfläche und deckt 100% der Nutzer ab; auch der entlegenste Bergbauer mit ver-schwindendem Verkehrsaufkommen wird gleichermassen bedient; die Verkabelung eines Gebietes dieser Grösse ist betriebswirtschaftlich nicht vergleichbar; der Satellit überbrückt auch unwegsames Gelände (z.B. in Chile, Russland, Indonesien etc.);

- über Satellit kann die einseitig gerichtete Ausstrahlung (Broadcast) von Daten, Hörfunk und Fernsehen kostengünstiger durchgeführt werden.
- Flexibilität und Zuverlässigkeit
 - ein Satellitensystem kann flexibler betrieben werden als ein eingegrabenes Kabelnetz (bedarfsangepasste Kapazitätsverlagerung);
 - der Satellit hat sich in den 40 Jahren kommerzieller Nutzung als zuverlässiger im Vergleich zu Kabel erwiesen (s. Cable Restoration via Satellite, Katastropheneinsatz etc.);
 - insbesondere kann ein Satellit müheloser abgelöst werden, wenn er, von der Technologie überholt oder vom wachsenden Bedarf überfordert, erneuert werden muss.

Diesen positiven Attributen steht entgegen: Je nach gewähltem Orbit hat der Satellit Signallaufzeiten von 240 ms (geostationäre Bahn), was früher, als noch Echo auf den analogen Leitungen war, als lästig empfunden wurde, heute aber meist nicht wahrgenommen wird.

Wie kann man diese Negativa abwenden? Welche Codier-, Modulations- und Zugriffsverfahren für die Satellitenübertragung gibt es – was macht die atmosphärische Ausbreitung? Hierzu werden die wesentlichen operationellen Satellitensysteme vorgestellt und die relevanten Systemparameter und Technologien erklärt, die dort angewandt werden.

1.3 Die OSCAR-Serie von Fernmeldesatelliten

Die Amateurfunker waren nicht nur die ersten Techniker in den Satellitenerdfunkstellen, als es zu Beginn dieser neuen Ära zunächst noch keine gelernten oder entsprechend ausgebildeten Satellitenfunker gab, sondern sie bauten auch gleich im Advent der Satellitenkommunikation ihre eigenen Satelliten und betrieben sie mit viel Erfolg, mit erstaunlich mässigen Finanzmitteln und mit bewundernswerter Technologie, die der der kommerziellen Betreiber um Jahrzehnte voraus eilte (bordseitige Signalspeicherung, Verarbeitung und Vermittlung statt passiver Spiegel an Bord der INTELSAT Satelliten bis heute).

Der erste Amateurfunksatellit *Orbital Satellite Carrying Amateur Radio* (OSCAR) wurde von den HAMs in den USA, meist im Raum Washington, am 12.12.1961 gestartet, drei Jahre nach dem Sputnik-Flug und vier Jahre vor dem ersten kommerziellen INTELSAT Satellit „*Early Bird*“.

OSCAR-I, -II und -III funktionen – so wie Sputnik – ca. zwanzig Tage lang; OSCAR-IV schliesslich 85 Tage. Die australischen HAMs starteten OSCAR-V 1970 (85 Tage) und die deutsche AMSAT (www.amsat-dl.org) den OSCAR-VI 1972, der als erster 4,5 Jahre lang arbeitete.

Danach folgten vier weitere deutsche AMSAT OSCARs, und insgesamt wurden bis heute 51 OSACARS erfolgreich geflogen.

Nach inzwischen drei erfolgreichen Missionen der deutschen AMSAT hat der letzte, im Jahr 2000 gestartete Satellit P3D gezeigt, dass mit der vorhandenen Struktur und Antriebsleistung ein Flug zum Mars möglich ist. Gesagt getan, eine AMSAT

Raumsonde soll (9,5 Monate lang) zum Mars fliegen und sowohl Daten von Experimenten an Bord als auch, in einer Relaisfunktion, Daten von Systemen auf der Marsoberfläche oder in der Atmosphäre des Planeten übermitteln. P5A soll auch Platz für Nutzlasten bieten, die in Marsnähe auf die Oberfläche abgesetzt werden können und Signale (aus 600 Mio km Entfernung) zu Erde senden. Geeignete Startfenster für P5A sind die Jahre 2007 und 2009.

Der AMSAT wurde auch die Nutzung der DLR 20/30 GHz Antenne überlassen, die vom GSOC (*German Space Operations Center*) derzeit nicht benötigt wird. Diese Parabol-Antenne mit 30 m Durchmesser und ausgerüstet bis 30 GHz wurde von der DFVLR (heute DLR) Anfang der 70er Jahre zwischen Weilheim (Bayern) und Raisting (Bayern) für allgemeine Forschungszwecke und insbesondere für die Betreuung der HELIOS Satelliten errichtet.

Die 360 t Antenne kann auf 0,001° genau ausgerichtet um mit bis zu 1,5°/sec geschwenkt werden. Die AMSAT nutzt das Spektrum bis 10 GHz, mit ihrem rauscharmen Vorverstärker mit 58°K. Die Vermessung der AMSAT MARS Sonde erfolgt (über einen kohärenten Transponder) auf 10 m genau.

1.4 Aktuelle Fragen in der Satellitenkommunikation

Die wesentlichen Themen in der Satellitenkommunikation im Hinblick auf Verfügbarkeit von Frequenzen und Orbits, auf neue Dienste und Technologien sind:

- Frequenzen
 - die bestmögliche Nutzung des endlichen Spektrums, die World Radiocommunication Conferences (WRC) alle drei Jahre zum Reframing des Spektrums → sind Spektrumsauktionen eine Lösung?
- Dienste
 - Universal Personal Telecommunications und die Fusion der Dienste – von ortsfestem und Mobilfunk, von Rundfunk und Datenübertragung,
 - der optimale Verbund mit terrestrischen Netzen;
- Technologie
 - die bordseitige Verarbeitung und Vermittlung erweitert die Kapazität;
 - Auftank-, Servicing- und Reparaturmöglichkeiten für Satelliten!
- Bahnen
 - die endliche Anzahl von Orbitalpositionen und deren bestmögliche Nutzung,
 - die Rückbringung (Entsorgung) der Satelliten, nachdem sie ausgedient haben,
 - der GEO für Telefonie bis zum Handy, TV, Hörfunk, IP und Daten! LEO für Telefonie?
 - ICO (Intermediate Circular Orbit) für Ortung und Navigation,
 - der Nichtstart von Teledesic und der Bankrott von Iridium, Globalstar und ORBCOMM zeitgleich mit dem erfolgreichen Start von ACeS, Thuraya und MDC zeigen die wirtschaftliche Überlegenheit des geostationären Satelliten

gegenüber den Tieffliegern. Tabelle 1.2 stellt die verschiedenen Typen von Satelliten gegenüber.

Tabelle 1.2 Die verschiedenen Typen von Satelliten

Dienste	Tiefflieger	Geostationäre Satelliten
Little Services (data only)	Orbcomm; 48 Satelliten	Inmarsat, 3 Satelliten MDC, 3 Satelliten Eutelsat, 3 Satelliten
Big Services (voice only)	Iridium; 66 Satelliten GlobalStar; 48 Satelliten	ACeS; 3 Satelliten (LMTelecomms) Thuraya; 3 Satelliten (Boeing/Hughes)
Mega Services (Internetting)	Skybridge; 100 Satelliten Teledesic (288)	Astra Return (SES), 3 Sat.; Eutelsat W3B; Starband (Gilat, Echostar, B.Gates); 3 Sat.; Spaceway (Boeing); WildBlue, 3 Satelliten

In jeder Dienstekategorie ist der geostationäre Satellit mit seinen drei bis max. vier Flugeinheiten für die globale Bedeckung den Tieffliegern überlegen (s. Kap. 10).

1.5 Bordseitige Signalverarbeitung und Vermittlung

Die Satellitennutzlast kann aus unterschiedlichen Architekturen aufgebaut werden, um prinzipielle Funktionen zu erfüllen:

Tabelle 1.3 Typen und Funktionen von Satellitennutzlasten

Frequenzumsetzung, Signal Verstärkung	De- und Re-modulation, Fehlerkorrektur	Festprogrammierte Vermittlung	Lastabhängige Vermittlung vom Boden	Lastabhängige Vermittlung im Satelliten (im Basisband)
1 x				
2 x		x		
3 x			x	
4 x				x
5 x				x
6 x		x		x

- (1) der transparente Transponder, der die Signale frequenzversetzt und verstärkt zurückspielt (der *Bent Pipe Transponder*),
- (2) die bordseitige fest-programmierte Vermittlung (das Koppelfeld im All, ohne Trägerdemodulation, ohne Signalverarbeitung, in der Hochfrequenz geschaltet),
- (3) die bordseitige Signalverarbeitung zur Fehlerkorrektur mit Trägerdemodulation und -remodulation,
- (4) die bordseitige, dynamisch lastabhängige Vermittlung, vom Boden aus gesteuert, ohne Signalverarbeitung,
- (5) die bordseitige, dynamisch lastabhängige Vermittlung, im Satelliten gesteuert, ohne Signalverarbeitung,
- (6) die bordseitige dynamisch lastabhängige Vermittlung einschliesslich Signalverarbeitung (also Träger- und -remodulation).

Die Realisierung der Übertragung mit bordseitig transparenten Transpondern ist kosteneffektiv. Es gibt aber zunehmend Anwendungen, die betriebswirtschaftlich bordseitig verarbeiten oder vermitteln, oder beides.

Bei der bordseitigen Signalverarbeitung müssen die Hochfrequenzträger demoduliert und nach der Fehlerkorrektur im Basisband wieder moduliert werden. Wie vorteilhaft ist dabei die Fehlerkorrektur im Satelliten?

Wenn die Aufwärtsstrecke gestört und die Abwärtsstrecke vergleichsweise gut ist, können die Fehler der Aufwärtsstrecke auch nach Empfang am Boden korrigiert werden. Vom Handy zur Basisstation (in die grosse Erdfunkstellenantenne hoher Qualität) ist die Abwärtsstrecke fast fehlerfrei. Es ist nicht nötig, die Fehler der Aufwärtsstrecke im Satelliten zu korrigieren. Sie können genauso effektiv nach Empfang in der Basisstation korrigiert werden.

Wenn die Aufwärtsstrecke gut und die Abwärtsstrecke schlecht ist, bedarf es keiner Fehlerkorrektur im Satelliten, die Fehler der Abwärtsstrecke können nach Empfang am Boden korrigiert werden.

Wenn die Fehler auf Auf- und Abwärtsstrecke gleich verteilt sind, können maximal 3 dB Verbesserung durch die Korrektur der Aufwärtsstreckenfehler im Satelliten erreicht werden.

► Die Fehlerkorrektur im Satelliten ist von begrenztem Wert.

Was bringt die Demodulation? Die Demodulation des *Uplinks* im Satelliten erlaubt, das *Downlink* mit einem anderen, hier besser geeigneten Verfahren zu re-modulieren. Auch kann das Zugriffsverfahren für die Abwärtsstrecke unabhängig von der Aufwärtsstrecke gewählt werden. Bei UMTS und auch bei Rundfunk wird typischerweise das TDMA-*Uplink* in TDM für das *Downlink* umgesetzt (der *Skypelex*).

Schliesslich erlaubt der *On Board Processor* (OBP) den Signalpegel der Ausbreitung der Abwärtsstrecke anzupassen und so die Qualität aufrecht zu erhalten und die Intermodulation im Satelliten zu reduzieren.

► Die Modulations- oder Zugriffsumsetzung im Satelliten kann von grossem Wert sein.

Eine immer häufiger vorkommende Anwendung ist die Wandlung der Trägersignale z.B. von vielen Einzelträgern im *Uplink* auf einen gemeinsamen Summenträger im *Downlink*, der wiederum Intermodulation im Satelliten vermeidet.

Ist die Ausleuchtung des Satelliten in mehrere Zellen strukturiert, die unter sich verbunden sein sollen, ist die bordseitige Vermittlung unumgänglich. Um z.B. sechs Zellen am Boden zu verbinden, würden $n(n-1) = 30$ Transponder benötigt bzw. n^2 Transponder, wenn auch Intrazellverkehr verlangt ist. Die Vermittlung im Satelliten kann eine grosse Zahl von Transpondern ersetzen. Eine Bordvermittlung – im einfachsten Falle vorprogrammiert und in der Hochfrequenz durchgeführt – ist hier effektiver. Programmierte Vermittlungen sind seit INTELSAT-VI (ca. 1980) Stand der Technik.

Die „Königin“ des OBP ist die in Echtzeit lastabhängig arbeitende Vermittlung. Stand der Technik OBPs benötigen heute noch Verarbeitungszeiten von bis

zu 100 ms. Tiefliegende Satelliten, die vermitteln und damit werben, dass sie keine Laufzeit hätten, haben oft in Wahrheit Verarbeitungszeiten ähnlich der Gesamtlaufzeit des GEO. Die Technik wird zukünftig OBP auch im GEO erlauben, ohne die Laufzeit merklich zu vergrössern. Zeitgemässe OBPs vermitteln heute 10 Gb/s, morgen 100 Gb/s *Satellite Throughput*.

Es gibt also die folgenden Anwendungen für die bordseitige Verarbeitung:

- die Signalregenerierung (die Korrektur der *Uplink*-Fehler),
- die Wandlung des *Uplink*-Modulationsverfahrens in ein anderes, für das *Downlink* geeignetes Verfahren,
- die Anpassung des *Uplink*-Pegels an die aktuellen *Downlink*-Bedingungen,
- die Zusammenfassung mehrerer *Uplink*-Träger in einen Summenträger für das *Downlink*,
- die Vermittlung mehrerer terrestrischer Zellen an Bord des Satelliten.

1.6 Satellitennavigation

Die Ortung des mobilen Telefonierers ist ein wichtiger Aspekt für die Netzkontrolle, für ortsabhängige Dienste (*location based services*) und auch für die Kriminalitäts- und Terrorbekämpfung.

Die einfachste und kostengünstigste Grobortung ist die Bestimmung der terrestrischen Zelle, aus der der Teilnehmer telefoniert.

Innerhalb der Zelle kann das Handy mit einer Quasi-Laufzeitmessung geortet werden: wenn drei Stationen das Signal empfangen und die relativen Empfangszeiten festgehalten werden (*times of arrival*), dann kann mit diesen das Handy geortet („trianguliert“) werden.

Flächendeckende weiträumige Ortung ist betriebswirtschaftlich nur mit Hilfe von Satelliten durchführbar. Diese Satellitenortung kann auf Triangulierung mit Einwegentfernungsmessung fassen: Man empfängt Signale von drei Satelliten, deren Koordinaten und die Uhrzeit zum Zeitpunkt des Absendens aufnotuliert sind. In Kenntnis der Uhrzeit beim Empfang bestimmt man die Laufzeiten der Signale Δt , multipliziert sie mit der Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/s und erhält so die Entfernungen d zu den Satelliten. Der eigene Standort ist der Schnittpunkt der drei Kugeln, deren Mittelpunkte die Satelliten und deren Radien die Entfernungen d sind.

Die Genauigkeit ist umso besser, je orthogonalere die Kugelschnitte sind, und umso schlechter, je schlechter sie sind. Zwei Kugeln in z.B. 20 000 km Flughöhe schneiden sich auf der Erdoberfläche mit 90° wenn sie 90 Längengrade separiert sind.

Die Genauigkeit ist proportional zum Volumen der von den Satelliten umspannten (umgekehrten) Pyramide, mit dem Nutzer in der Spitze.

Ohne Kenntnis der Uhrzeit arbeitet man mit vier Satelliten. Algebraisch handelt es sich um die Lösung von vier Gleichungen nach vier Unbekannten. Es sind x, y, z, t die Koordinaten und die Zeit beim Nutzer, x_i, y_i, z_i, t_i die Koordinaten und Zeiten der Satelliten i ; dann gilt für die Entfernungen d_i zu den vier Satelliten:

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = c(t_1 - t) \tag{1.1a}$$

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} = c(t_2 - t) \tag{1.1b}$$

$$d_3 = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} = c(t_3 - t) \tag{1.1c}$$

$$d_4 = \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} = c(t_4 - t) \tag{1.1d}$$

Das *Global Positioning System* GPS der US-Streitkräfte, das GLONASS der russischen Militärs und das europäische Galileo arbeiten nach diesem Prinzip. Die Nutzung dieser Systeme auch im zivilen Bereich ist technisch möglich, auch wenn die Signale verschlüsselt werden. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, den Teilnehmer im Mobilfunk zu orten. Es kann der gesetzlichen Überwachung gedient werden, die Netzsteuerung kann optimiert werden, also kann somit die Netzkapazität gesteigert werden. Wenn die Netzkontrolle weiss, dass sich ein Teilnehmer aus der Zelle entfernt, kann sie, im Falle der Überlastung dieser Zelle diesen Teilnehmer frühzeitig an die Zelle übergeben, auf die er sich zu bewegt – das *Hand-Over* kann netzlastungsabhängig geplant werden.

Auch in der Verkehrstelematik wird die Satellitenortung benötigt. Der Grossversuch zur Mauterhebung auf der A555 zwischen Bonn und Köln brachte zwei wesentliche Ergebnisse:

- die einzige Lösung, die den Vorstellungen der Verkehrspolitik entsprach, war die satellitengestützte Mauterhebung,
- wenn das Pentagon die zivil nutzbaren GPS Signale künstlich auf 100 m Genauigkeit verschlechtert (*Selective Availability*), kommen GPS-Empfänger als Messwertgeber nicht in Frage.

Dieses Problem wird mit GALILEO (ab 2012) überwunden, und es wird ab 2008 auch das russische Satellitennavigationssystem GONASS verfügbar sein.

Ausbau und Weiterentwicklung der Funknavigationssysteme spielen auch für die nötige Leistungssteigerung unserer Verkehrssysteme eine wichtige Rolle: Es gehört zu den zentralen Aufgaben, bei der Weiterentwicklung der Komponenten der Verkehrstelematik, die Durchsatzkapazität unserer Schienenwege und Luftstrassen zu erhöhen. Dabei gilt es zu beachten, dass die auf Messwerten von Funknavigationsdiensten beruhende Berechnung der Strassenmaut justitiabel (gerichtsfest) sein muss und Mautsysteme betrugsresistent ausgelegt sind.

Kommunikation, Ortung und Navigation spielen eine wesentliche Rolle in der Verkehrstelematik

1.7 Zusammenfassung

Man kann die Entwicklung der Satellitenkommunikation von Sputnik bis heute in die folgenden Generationen gliedern:

Tabelle 1.4 Die wesentlichen Generationen der Entwicklung der Fernmeldesatelliten

I	1957	Sputnik	LEO	Anstoss der Satellitentechnik; <i>Proof of Concept</i>
II	1965	Early Bird	GEO	Transatlantik-Telefonie und TV, grösste Erdfunkantennen
III	1985	DOMSATS	GEO	Kleinsterdfunkstellen; VSATs; TV-Direktempfang
IV	2000	Supersats	GEO	PCS; multimediale Dienste; Satellitenpositionsbestimmung
V	2005	BBI-Sats	GEO	<i>BroadBand Interactive Business-2-Business Communications</i>

Die Satellitenkommunikation und -navigation hat die Lebensqualität in den entwickelten Ländern verbessert und ist für die sich entwickelnden Länder eine wirtschaftliche Lösung ihrer Kommunikationsinfrastruktur- und Logistikprobleme.

Das Wachstum von Satellitentelefonie und *Internetting* reicht von 2 628 Transpondern 1995 bis 5 500 Transponder im Jahr 2000, mit dem grössten Wachstumsanteil in Lateinamerika und Russland. Die drei wesentlichen Entwicklungen in der Kommunikation sind:

1. die Mobilität des Nutzers,
2. die Breitbandübertragung für multimediale Dienste,
3. die Verteilung einer sehr grossen Zahl von Fernsehprogrammen.

Die Entwicklung der Satellitennavigation durchlief drei wesentliche Generationen und Technologien (s. Tabelle 1.3). In der satellitengestützten Ortung sind heute die Systeme GPS (USA) und GLONASS (Russland) im Betrieb. Ihre Nutzung ist (noch) kostenlos.

Tabelle 1.5 Die wesentlichen Generationen der Entwicklung der Ortungssatelliten

Ia	1960	Transit	Doppler-Messung im UHF Bereich; Anstoss der Satellitentechnik; Betrieb durch US-Marine
Ib	1962	Tsykada	Kopie von Transit; Betrieb durch Marine der UdSSR
Ic	1988	Cospos/Sarsat	Verbund amerikanischer und sowjetischer Raumsegmente; Entfernungsmessung mit Doppler-Effekt
Ila	1996	GPS	Weiterentwicklung der Einwegentfernungsmessung auf Laufzeitbasis im L-Band; Betrieb durch US-Luftwaffe
Ilb	1996	GLONASS	Einwegentfernungsmessung auf Laufzeitbasis im L-Band; Betrieb durch die russische Luftwaffe
Ilc	1997	GNSS	Der Verbund von GPS, GLONASS (später auch Galileo) und regionalen Nachbesserungen via INMARSAT, Loran-C und anderen Systemen
IId	2012	Galileo	Das europäische satellitengestützte Ortungssystem im L-Band