1. Aufsatzüberschrift: Satellitenmobilfunksysteme bieten weltweites Telefonieren

2. Vorspann:
Im Jahre 1998 sollen verschiedene Satellitenmobilfunksysteme in Betrieb gehen. Diese Systeme werden es ermöglichen, von (fast) jedem beliebigen Punkt auf der Erde mit Teilnehmern an irgendeinem anderen Punkt der Erde zu kommunizieren.
Hierbei wird zunächst die Sprach- und Datenübertragung mit geringen Bitraten im Vordergrund stehen. Langfristig wird aber bereits an integrierter Kommunikation bzw. Navigation und Multimedia über Satelliten gearbeitet.

3. Autoren-Kasten

Horst Salzwedel:
Prof. Dr. Horst Salzwedel (54) promovierte 1977 an der Stanford University auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrtwissenschaften. Nach einer Tätigkeit als Forschungsingenieur bei Systems Control Technology, Inc. und einer Gastprofessor an der Stanford University leitete er seit 1992 bei Cadence Design Systems, Inc. die Entwicklung von Softwaresystemen für mobile Satellitenkommunikationssystemen und ist seit 1994 Leiter des Fachgebiets System- und Steuerungstheorie der TU Ilmenau.

Harald Keller:
Dipl.-Ing. Harald Keller (28) studierte bis 1994 Elektrotechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg. Danach war er am Institut für Nachrichtentechnik der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen tätig. Seit 1995 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet System- und Steuerungstheorie der TU Ilmenau und befaßt sich mit Simulation und Optimierung von Satellitenkommunikationssystemen.

Anschrift der Autoren:
Prof. Dr. Horst Salzwedel,
TU Ilmenau, Fachgebiet System- und Steuerungstheorie, Fakultät Informatik und Automatisierung, PF 0565, 98684 Ilmenau, Tel. 03677/69-1316

Dipl.-Ing. Harald Keller,
TU Ilmenau, Fachgebiet System- und Steuerungstheorie, Fakultät Informatik und Automatisierung, PF 0565, 98684 Ilmenau, Tel. 03677/69-2765

4. Aufsatztext:

Entwicklung der mobilen Kommunikation

Während der letzten Jahrzehnte wurden große Fortschritte erzielt, dem einzelnen tragbare Rechenleistung zur Verfügung zu stellen. Der nächste Schritt ist, jedem einzelnen Zugriff auf das Wissen und die Information der Welt zu geben und es ihm zu ermöglichen, Informationen von jedem beliebigen Ort der Erde zu jeder Zeit mit anderen Personen an jedem anderen Ort der Erde auszutauschen. Dieser zweite Schritt wird unser Leben noch grundlegender verändern als die Einführung von Computern.

In den letzten Jahren wurden weltweit große Anstrengungen unternommen, mobile Kommunikation von jedem beliebigen Punkt auf der Erde aus zu ermöglichen.

In Deutschland verbreiten sich die GSM-Systeme (Global Systems for Mobile Communications) D1-Netz und D2-Netz und das DCS 1800-System (Digital Cellular System 1800) E-Netz schnell in Städten und entlang der wichtigsten Verkehrsadern. Um eine flächendeckende Versorgung mit diesen Systemen zu gewährleisten, ist aber eine aufwendige Infrastruktur mit vielen Basisstationen nötig. Für entlegene und dünnbesiedelte Gebiete der Erde ist ein solcher Aufwand nicht wirtschaftlich. Kostengünstiger ist hier die Versorgung über Satellit.

Das endgültige Ziel ist die Integration von terrestrischer Versorgung und Satellitensystemen zu globalen Systemen der dritten Generation. Das Gesamtsystem wird vom ETSI (Europäisches Standardisierungsinstitut) mit UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und von der ITU (International Telecommunication Union) mit FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) bezeichnet.

Der Benutzer soll dabei mit ein und derselben Rufnummer sowohl über terrestrische Systeme als auch über Satellitensysteme erreichbar sein. Um dies zu gewährleisten, werden momentan neue, sogenannte Dual-Mode-Terminals entwickelt. Diese Terminals besitzen sowohl eine Sende- und Empfangseinrichtung für terrestrische Systeme als auch für Satellitensysteme und werden nicht größer sein als die jetzigen kleinen Handgeräte (Handys), die bereits für die D- und E-Netze in Betrieb sind. Um dies zu ermöglichen, sind neue Konzepte für die Satellitensysteme nötig geworden.

Geostationäre Satelliten

Bisher werden zu Kommunikationszwecken fast ausschließlich Satelliten in geostationären Umlaufbahnen (GEO) verwendet. Als geostationär werden Satelliten bezeichnet, die sich in einer Höhe von 35768 km über dem Äquator mit einer Winkelgeschwindigkeit bewegen, die der Erdrotation entspricht und dadurch stationär gegenüber der Erdoberfläche sind. Diese Satelliten sind aber für eine globale Versorgung über „Handys“ ungeeignet, da sie - bedingt durch die große Entfernung zwischen Empfänger und Satellit und die dadurch auftretenden sehr hohen Freiraumverluste - mit riesigen Antennen ausgerüstet sein müßten, um mit 1-W bis 5-W-Handys auf der Erde kommunizieren zu können. Solche Systeme sind nicht wirtschaftlich und können außerdem wegen der 250 ms Zeitverzögerung durch die Signallaufzeit keine gleichwertige Qualität wie herkömmliche Telefone liefern.

Diese Systeme sind jedoch die primären Kommunikationssysteme für Transportsysteme auf dem Land, dem Wasser und in der Luft, da für ihren Betrieb keine Handys, sondern größere tragbare Geräte mit entsprechend höherer Leistung und größeren Antennen verwendet werden können. Der maritime Satellitenfunk wird seit über 15 Jahren kommerziell über geostationäre Satelliten betrieben. Heute spielt die internationale, maritime Satellitenorganisation Inmarsat, die 1979 gegründet wurde, für den Satellitenmobilfunk auf Seefahrzeugen eine dominierende Rolle. In [1] wird der Satellitenmobilfunk für Seefahrzeuge ausführlich beschrieben. Für den

personengebundenen landmobilen Satellitenmobilfunk wird jedoch ein anderes Konzept verfolgt, Bild 1.

Kommunikation mit niedrig fliegenden Satelliten

Als neues Konzept für landmobile Benutzer wird die Versorgung mit niedrig fliegenden nicht-geostationären Satelliten bevorzugt, wobei hier zwischen LEO-Satelliten (low earth orbit, 500 km bis 1500 km Bahnhöhe) und MEO-Satelliten (medium earth orbit, 10000 km bis 20000 km Bahnhöhe) unterschieden wird. Der Bereich zwischen LEO und MEO (1500 km bis 10000 km) ist nur mit erhöhtem Aufwand für Satelliten nutzbar, da in dieser Region ionisierte Partikel durch das Erdmagnetfeld gehalten werden (sog. Van Allen radiation belt).
Um die globale Abdeckung der Erdoberfläche zu gewährleisten, ist bei Benutzung nicht-geostationärer Satelliten eine größere Anzahl Satelliten nötig. Diese bewegen sich nicht synchron mit der Erdrotation, wie es bei geostationären Satelliten der Fall ist. Umlaufbahn und Umlaufdauer eines Satelliten können mit Hilfe der physikalischen Gesetze der Orbitdynamik bestimmt werden.

Orbitdynamik

Die Gesetze der Orbitdynamik wurden bereits in den Jahren 1609-1612 von Johannes Keppler nach Beobachtungsdaten von Tycho Brahe aufgestellt. J. Keppler beschrieb die Planetenbahnen in Bezugssystemen der ruhend gedachten Sonne durch drei nach ihm benannte Gesetze. Diese Gesetze bilden auch heute noch die Grundstruktur der Beschreibung von Satellitenbahnen. Die Umlaufbahn der Satelliten (Orbits) sind Kreise oder Ellipsen, in deren (einem) Brennpunkt die Erde steht. Zur Berechnung der Umlaufdauer für verschiedene Bahnhöhen müssen die Gravitationsgesetze nach Newton angewendet werden. Aus dem Kräftegleichgewicht zwischen der Erdanziehungskraft (Gravitationskraft) und der Zentrifugalkraft ergibt sich die Umlaufgeschwindigkeit eines Satelliten. Bei Vorgabe einer Umlaufdauer von 23 h 56 min ergibt sich daraus die Bahnhöhe 35768 km des geostationären Orbits. Die Umlaufdauer wird um so kleiner, je kleiner die Bahnhöhe ist.
Niedrigfliegende Satelliten haben daher kleine Umlaufzeiten mit großen Geschwindigkeiten relativ zur Erdoberfläche. Zwei wesentliche Probleme müssen bei der Verwendung von niedrigfliegenden Satelliten überwunden werden: Ein niedrigfliegender Satellit deckt nur einen kleinen Bereich der Erdoberfläche ab. Um eine globale Kommunikation zu erreichen, wird deshalb eine große Anzahl von LEO-Satelliten benötigt. Weiterhin ist von einem Punkt der Erde ein niedrigfliegender Satellit nur für eine begrenzte Zeit sichtbar, was ein sogenanntes „Handover“ (Weiterreichen der Verbindung) zwischen Satelliten erfordert.
Je niedriger jedoch die Bahnhöhe des Satelliten ist, desto kleiner ist die benötigte Sendeleistung des Satelliten. Dies bedeutet ein niedrigeres Gewicht des Satelliten und geringere Kosten für den Transport ins All. Die optimale Konfiguration ist daher eine Funktion der Orbitkosten und der Kosten am Boden. Dabei spielen die Kosten für den Benutzer als auch der Erhalt von Betriebsgenehmigungen in den verschiedenen Ländern eine wesentliche Rolle.
Eine Zusammenfassung der Orbitparameter für verschiedene Orbit-Typen (LEO, MEO, GEO) ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Signallaufzeit ist die Zeit, die ein Signal von der Erde zum Satelliten und zurück zur Erde benötigt. Die Laufzeit ist um so größer, je größer die Umlaufhöhe ist.

Verbindungsdauer

Bedingt durch die Umlaufzeit der Satelliten ist die Verbindung von einem Satelliten zu einem Benutzer nur von kurzer Dauer. Innerhalb eines Gesprächs kann es deshalb notwendig werden, von einem Satelliten zu einem nachfolgenden umzuschalten, ohne daß die Verbindung abreißt. Aufgrund dieser Tatsache muß gewährleistet werden, daß ein nachfolgender Satellit rechtzeitig in Sicht kommt, um das Gespräch zu übernehmen. Die Anzahl der benötigten Satelliten hängt von der Bahnhöhe der Satelliten ab. Hieraus ist zu ersehen, daß ein solches System hohe Anforderungen an die Verwaltung des Netzes stellt.

Iridium

Das System Iridium, das von der Firma Motorola geplant wurde[2-4], besteht aus 66 Satelliten, die die Erde in einer Höhe von 780 km (LEO) auf sechs polaren Bahnen (hier: 86 Grad Inklination; Inklination = Neigungswinkel der Bahnebene des Satelliten gegenüber der Äquatorebene) umlaufen sollen. Hierzu kommt je Orbitalbahn noch ein Reservesatellit. Bild 2 zeigt die Umlaufbahnen um die Erde. Das System wurde nach dem chemischen Element Iridium benannt, um dessen Atomkern 77 Elektronen kreisen; ursprünglich war dieses System mit 77 Satelliten geplant, es ergab sich aber im Laufe der Planungen, daß auch 66 Satelliten genügen - der Name wurde daraufhin aber nicht mehr geändert. Das System erreicht eine globale Bedeckung bei 8,2 Grad minimaler Elevation (Erhebungswinkel des Satelliten über der Horizontalebene).

Die ersten Planungen reichen bei Motorola bis zum Jahr 1987 zurück; auf der Weltweiten Funkverwaltungskonferenz WARC-92 wurden entsprechende Frequenzen für die Verbindung von Mobiltelefonen und Satelliten eingeplant. Anfang 1995 erhielt Motorola für das Iridium-System von der amerikanischen FCC die Genehmigung zum Aufbau und Betrieb. Die ersten Satelliten sollen bereits 1996 im Orbit positioniert werden. Die Aufnahme des kommerziellen Betriebs ist für 1998 geplant.

Für die Verbindung zwischen den Teilnehmern und den Satelliten („uplink“ und „downlink“) ist der Frequenzbereich von 1616 MHz bis 1626,5 MHz vorgesehen; die Verbindung von den Satelliten zu den Bodenstationen („downlink“) arbeiten zwischen 19,4 GHz und 19,6 GHz bzw. zwischen 29,1 GHz und 29,3 GHz für die Verbindung von den Bodenstationen zu den Satelliten („uplink“). Verbindungen zwischen den einzelnen Satelliten sollen den Frequenzbereich von 23,18 GHz bis 23,38 GHz nutzen.

Als Kanalzugriffsverfahren werden FDM/TDMA (frequency division multiplex/time division multiple access) verwendet. Jeder Satellit wird 3840 Kanäle mit einer Bandbreite von 41,67 kHz zur Verfügung stellen. Als Dienste werden Telefon, Fax, Datenübertragung, Positionsmeldung und Paging (Funkrufdienst) angeboten werden. Zur Benutzung des Systems werden Gebühren von 3 US$ pro Minute und eine Grundgebühr von 50 US$ pro Monat anfallen. Motorola hat eine Teilnehmerzahl von 1,6 Mio. Benutzern im Jahr 2002 und von 3,2 Mio. Benutzern im Jahr 2007 vorauskalkuliert. Die Systemkosten des gesamten Systems werden sich auf etwa 3,7 Mrd. US$ belaufen.

Eine Besonderheit des Systems besteht in der Benutzung von ISL (Intersatellite links: Direkte Funkverbindung zwischen benachbarten Satelliten). Ein Telefongespräch gelangt vom Benutzer zum nächsten sichtbaren Satelliten. Von dort wird es per ISL über einen oder mehrere Satelliten weitergeleitet, bis es einen Satelliten erreicht, der der Gegenstation am nächsten steht. Die Satelliten dienen hier also als selbständige Vermittlungsstellen, was den Datentransfer beschleunigt. Bild 3 zeigt die Bedeckung der Erde durch die Ausleuchtzonen („footprints“) der 66 Satelliten bei einer minimalen Elevation von 8,2 Grad im rechtwinkligen Koordinatensystem von Längen- und Breitengraden. Anhand des Bildes erkennt man die vollständige Ausleuchtung der gesamten Erdoberfläche durch mindestens einen Satelliten.

Globalstar

Ebenso wie Iridium ist auch Globalstar [2,5] ein sogenanntes LEO-System. Globalstar begnügt sich jedoch mit 48 Satelliten (zuzüglich acht Reservesatelliten im Orbit), die in einer Höhe von 1389 km die Erde umlaufen. Bild 4 zeigt die Umlaufbahnen über der Erde. Der minimale Elevationswinkel hat einen Wert von 19,4 Grad im Bereich der Industrienationen (30-50 Grad nördlicher Breite) bzw. eine Wert von 11,6 Grad über dem Äquator.

Globalstar verwendet als Kanalzugriffsverfahren CDMA (Code Division Multiple Access). Jeder Satellit wird 2500 Kanäle zur Verfügung stellen. Als Dienste wird Globalstar Telefon, Fax, Datenübertragung und Positionsbestimmung anbieten.

Die ersten Satelliten sollen in der zweiten Hälfte 1997 gestartet werden, und 1998 soll der kommerzielle Dienst mit zunächst 24 Satelliten aufgenommen werden. Ein Jahr später soll dann die vollständige Abdeckung mit 48 Satelliten erreicht werden. Auch die Globalstar-Mobilgeräte arbeiten, ebenso wie Iridium, im Frequenzbereich von 1610 MHz bis 1626,5 MHz für die Verbindung zwischen den Teilnehmer und den Satelliten („uplink“). Für die Verbindung zwischen den Satelliten und den Teilnehmern („downlink“) ist der Frequenzbereich von 2483,5 MHz bis 2500 MHz vorgesehen. Die Verbindung von der Bodenstation zum Satelliten („uplink“) wird den Frequenzbereich zwischen 5,09 GHz und 5,25 GHz bzw. zwischen 6,875 GHz und 7,055 GHz für die Verbindung zwischen den Satelliten und der Bodenstation („downlink“) nutzen. Bei Benutzung des Systems wird voraussichtlich eine Gebühr zwischen 0,35 US$/min und 0,55 US$/min fällig; zusätzlich wird eine Grundgebühr von 20 US$ pro Monat erhoben. Loral und Qualcomm kalkulieren mit einer Teilnehmerzahl von 2,7 Mio. Benutzern im Jahr 2002 und mit rd. 16 Mio. Benutzern im Jahr 2012.

Die Systemkosten von Globalstar werden auf 2,0 Mrd. US$ geschätzt. Im Gegensatz zu Iridium sind die Satelliten von Globalstar keine selbständigen Vermittlungsstellen. Die Satelliten von Globalstar setzen das Signal eines mobilen Benutzers nur in ein anderes Frequenzband um und übertragen das Signal anschließend nur bis zur nächsten Bodenstation, wo es ins vorhandene terrestrische Telefonnetz eingespeist wird und so zur Gegenstation gelangt. In Bild 5 sind die Ausleuchtzonen des Systems für eine minimale Elevation von 11,6 Grad dargestellt. Anhand des Bildes erkennt man, daß Globalstar nur eine Bedeckung zwischen 70 Grad Nord und 70 Grad Süd erreicht, was aber von Loral Qualcomm beabsichtigt wurde, da in dem nicht abgedeckten Teil (Polargebiete usw.) fast keine Menschen leben.

Odyssey

Im Gegensatz zu Iridium und Globalstar wird das System Odyssey [2,6,7] der Firma TRW auf MEO-Bahnen die Erde umkreisen. Das System besteht aus zwölf Satelliten (plus drei Reservesatelliten), die in einer Höhe von 10354 km die Erde umkreisen. Bild 6 zeigt die Umlaufbahnen von Odyssey um die Erdkugel. Wegen der größeren Bahnhöhe hat das System auch eine größere Umlaufzeit von 6 h. Odyssey erreicht seine größte Bedeckung für eine minimale Elevation von 18,0 Grad. Es verwendet - ebenso wie Globalstar - als Kanalzugriffsverfahren CDMA bei einer Kanalzahl von 2800 Kanälen pro Satellit. Als Dienste wird Odyssey Telefon, Fax, Datenübertragung, Paging und „Radio Determination“ (Positionsbestimmung) anbieten. Die Mobilgeräte für Odyssey verwenden ebenso wie Globalstar die Frequenzbereiche von 1610 MHz bis 1625 MHz für die Verbindung zwischen den Teilnehmern und den Satelliten („uplink“) bzw. von 2484,5 MHz bis 2500 MHz zwischen den Satelliten und den Teilnehmern („downlink“). Für die Verbindung zwischen den Bodenstationen und den Satelliten sit der Frequenzbereich von 29,5 GHz bis 30,0 GHz für den uplink bzw. von 19,7 GHz bis 20,2 GHz für den downlink vorgesehen.

Zur Benutzung von Odyssey werden Gebühren von 0,65 US$/min und eine monatliche Grundgebühr von 30 US$/Monat anfallen. TRW schätzt eine Teilnehmerzahl von 1,5 Millionen Benutzern im Jahr 2001 und 2,3 Millionen Benutzer im Jahr 2007. Die Systemkosten werden mit 1,8 Mrd. US$ veranschlagt. Odyssey erreicht ebenso wie Globalstar keine globale Bedeckung. In Bild 7 sind die Ausleuchtzonen für eine Elevation von 18,0 Grad dargestellt. Odyssey hat nur eine multiregionale Bedeckung der bevölkerungsreichsten Gebiete, da hier die Mehrzahl der Kunden erwartet wird.

ICO (früher: Inmarsat-P)

Ebenso wie Odyssey wird auch das System ICO [2] von Inmarsat MEO-Orbits verwenden. Das System wird aus 10 Satelliten (und zwei Reservesatelliten) bestehen, die die Erde ebenso wie Odyssey in einer Höhe von 10354 km umrunden. Der erste Satellite soll im April 1999 gestartet, der kommerzielle Betrieb im Dezember 1999 aufgenommen werden. Im September 2000 soll der Ausbau abgeschlossen sein.

Während Odyssey drei Orbits benutzen wird, kommt ICO mit zwei Orbits aus. Bild 8 zeigt die Umlaufbahnen von ICO um die Erde. Das System wird eine globale Bedeckung für einen minimalen Elevationswinkel von 15,8 Grad bei einer Inklination von 47 Grad erreichen. Mit einer Optimierung der Inklination auf 51 Grad ergibt sich im Bereich der Industrienationen ein minimaler Elevationswinkel von 30,0 Grad. Die Optimierungsmethode ist in [8] ausführlich beschrieben. Als Kanalzugriffsverfahren verwendet ICO ebenso wie Iridium FDM/TDMA. Jeder Satellit wird 5300 Kanäle haben. Als Dienste werden Telefon, Fax, Datenübertragung, Paging und Radio Determination angeboten. Als Frequenz für die Verbindung zwischen den Benutzern und den Satelliten ist der Bereich von 2170 MHz bis 2200 MHz für den uplink bzw. von 1980 MHz bis 2010 MHz für den downlink vorgesehen. Die Frequenzen für die Verbindung zwischen den Bodenstationen und den Satelliten werden im Bereich von 5 GHz für den uplink bzw. im Bereich von 7 GHz für den downlink liegen. Die Benutzung des Systems wird 2 US$/min kosten, eine Grundgebühr wird nicht erhoben. Inmarsat erwartet eine Teilnehmerzahl von 1 Million Benutzern im Jahr 2000 und 2,5 Millionen Benutzer im Jahr 2002. Die Systemkosten für ICO werden sich auf 2,6 Mrd. US$ belaufen. Ebenso wie Iridium gewährleistet ICO eine globale Bedeckung der gesamten Erde. In Bild 9 sind die Ausleuchtzonen für eine Elevation von 15,8 Grad dargestellt, die globale Bedeckung ist sichtbar.

Ausblick

Tabelle 2 zeigt noch einmal eine zusammenfassende Übersicht aller momentan geplanten Systeme.

Die mobile Satellitenkommunikation ist eine zukunftsträchtige Kommunikationsform, die als Ergänzung der terrestrischen Netze anzusehen ist. Die geplante Einführung der aufgezeigten Systeme in den Jahren 1997 bis 2000 wird sich sicherlich noch verzögern, da die Berechnung der Interferenz zwischen den verschiedenen Systemen und die Frequenzkoordinierung mit erheblichem Aufwand verbunden sind. Weiterhin gibt es momentan immer wieder Schwierigkeiten bei der Beförderung von Satelliten ins All. Es ist auch sicherlich nicht vorauszusagen, ob die kalkulierten Teilnehmerzahlen erreicht werden. Aber schon steht der nächste Satellitenmobilfunkbetreiber in den Startlöchern: Das Konsortium Teledesic Corporation, gegründet von dem Softwareunternehmen Microsoft und der Mobil-Telekommunikationsfirma McCaw plant ein LEO-System mit 840 Satelliten in 700 km Höhe, das eine schnelle Datenübertragung mit 2 Mbit/s für Multimedia-Anwendungen zur Verfügung stellen soll. Ob und welche Systeme sich in Zukunft durchsetzen werden, ist daher momentan nicht absehbar.

5. Literatur:

[1] Kedaj, J.; Joussen, F.: Mobilfunk Handbuch. Neu Mediengesellschaft, Ulm 1993, Kapitel 9.1

[2] ETSI Technical Report: Possible European Standardisation of Certain Aspects of Satellite Personal Communications Networks (S-PCN). ETSI PT37V. Version 3.1. 30 April 1993

[3] Hatlelid, J.E.; Casey L.: The Iridium System Personal Communications Anytime, Anyplace. In Proc. 3rd Int. Mobile Sat. Conf., IMSC 1993. Pasadena. Juni 1993, S.285-290

[4] Leopold, R.J.: The Iridium Communications System. Communication for Competitive Advantage Conference and Trade Exhibition. Tuanz 1992, 10-12 August

[5] Wiedeman, R.A.; Viterbi, A.J.: The Globalstar Mobile Satellite System for Worldwide Personal Communication. In Proc. 3rd Int. Mobile Sat. Conf., IMSC 1993. Pasadena. Juni 1993, S.291-296

[6] Rusch, R.J.: Odyssey, an optimized personal communications satellite system. IOS Press Space communications. Vol. 11(1993), S. 275-286

[7] Spitzer, C.J.: Odyssey Personal Communications Satellite System. In Proc. 3rd Int. Mobile Sat. Conf., IMSC 1993. Pasadena. Juni 1993, S.297-302

[8] Salzwedel, H.: Optimization of Satellite Systems for Mobile/Personal Communications. 39th International Scientific Colloquium. Ilmenau. September 27-30, 1994

[9] Alta Group, Cadence Design Systems: SatLab-Satellite Laboratory User´s Guide (for Use with BONeS DESIGNER). SAT8000-S4. Dezember 1994

6. Tabellen

Orbit-Typ	Inklination (Grad)	Umlaufhöhe (km)	Umlaufzeit (Stunden)	Anzahl der Satelliten	Bedeckung	Signal-Laufzeit(ms)
LEO (polar)	85-95	500-1500	1.4-2.5	24-66	global	4-12 + 10-20 je ISL
LEO	45-60	500-1500	1.4-2.5	24-48	global	4-12 + 10-20 je ISL
MEO	45-60	10000-20000	6-12	8-16	global	70-140
GEO	0	35768	23.9347	4	bis ca. 50. Breitengrad	240

Tabelle 1: Orbitparameter bestimmter Orbittypen

System	Iridium	Globalstar	Odyssey	ICO
Betreiber	Motorola Inc.	Loral/Qualcomm	TRW	Inmarsat
Orbit-Typ	LEO	LEO	MEO	MEO
Bahnhöhe in km	780	1389	10354	10354
Umlaufzeit in min.	101	114	360	360
Anzahl Satelliten	66	48	12	10
Anzahl Orbits	6	8	3	2
Satelliten pro Orbit	11	6	4	5
Inklination in Grad	86	52	55	45
Minimale Elevation	8,2	11,6	18	15,8
Betriebsbeginn	1998	1998	1997	2000

Tabelle 2: Übersicht geplanter Satellitenkommunikationssysteme

7. Bilder

Bild 1: Niedrig fliegende Satelliten ermöglichen eine weltweite Kommunikation

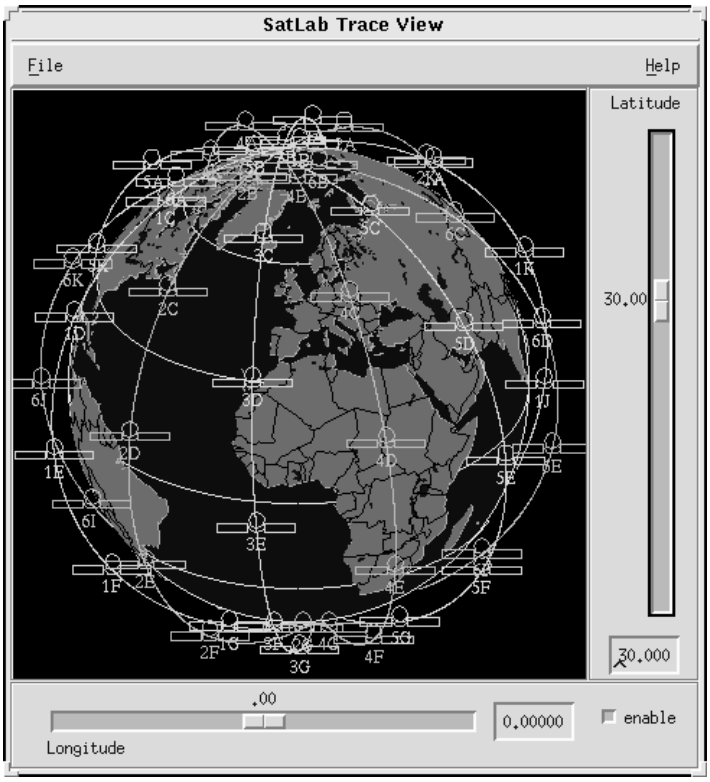

Bild 2: Umlaufbahnen des Systems Iridium

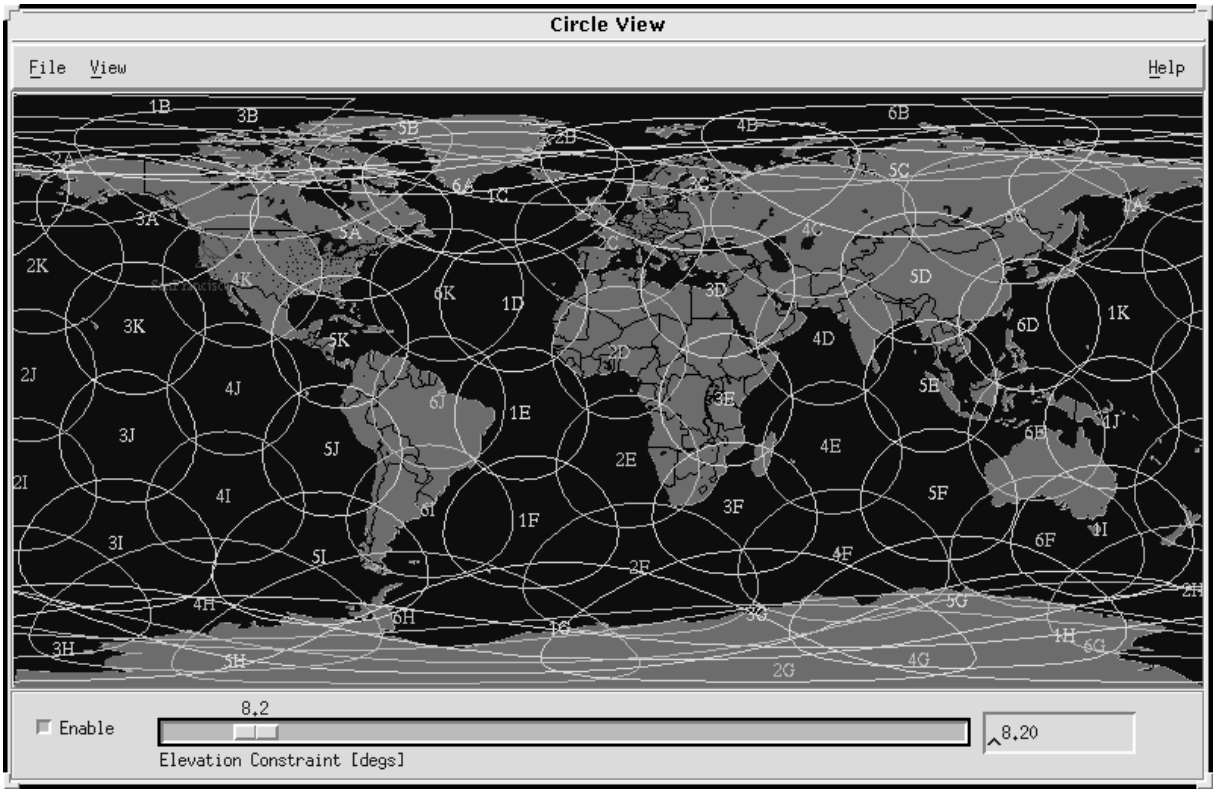

Bild 3: Ausleuchtzonen des Systems Iridium für eine minimale Elevation von 8,2 Grad

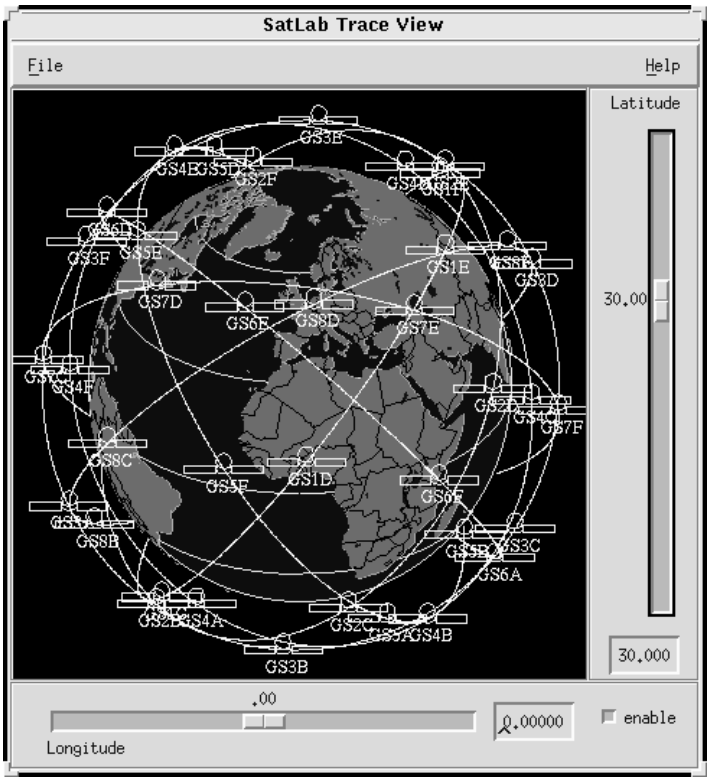

Bild 4: Umlaufbahnen des Systems Globalstar

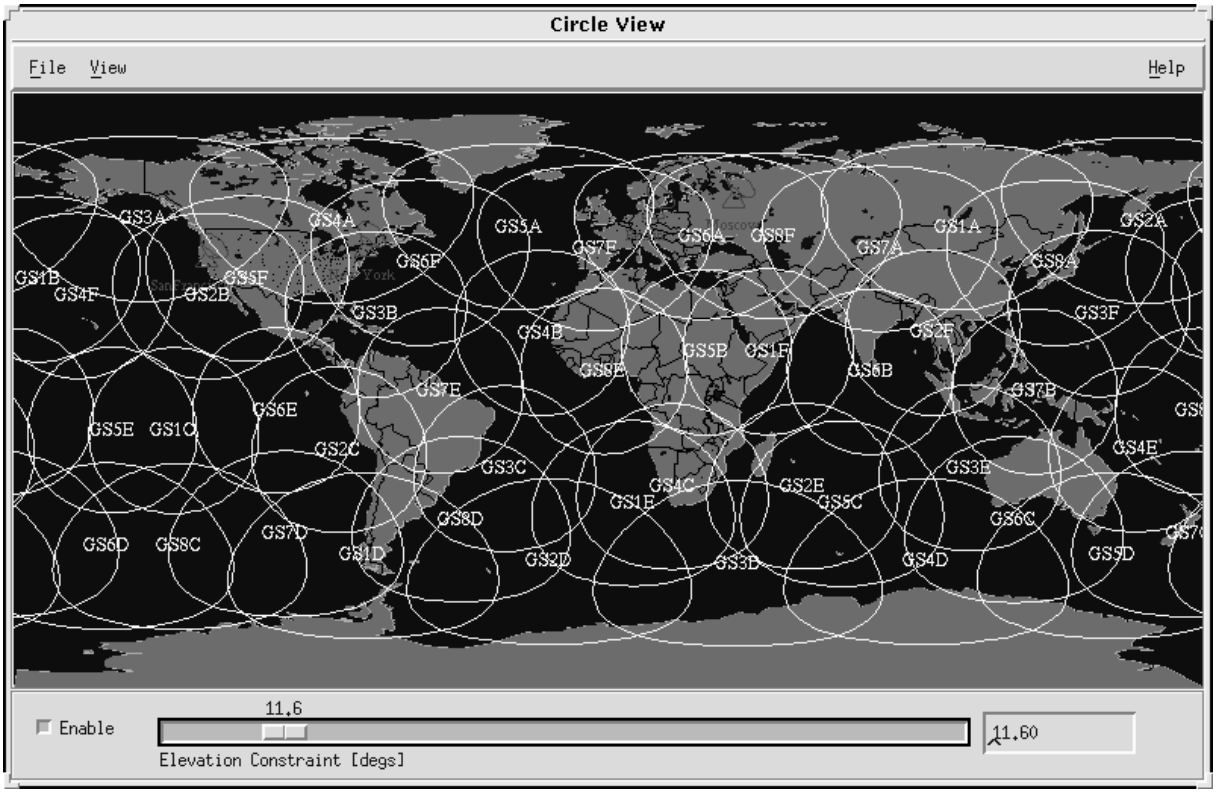

Bild 5: Ausleuchtzonen des Systems Globalstar für eine minimale Elevation von 11,6 Grad

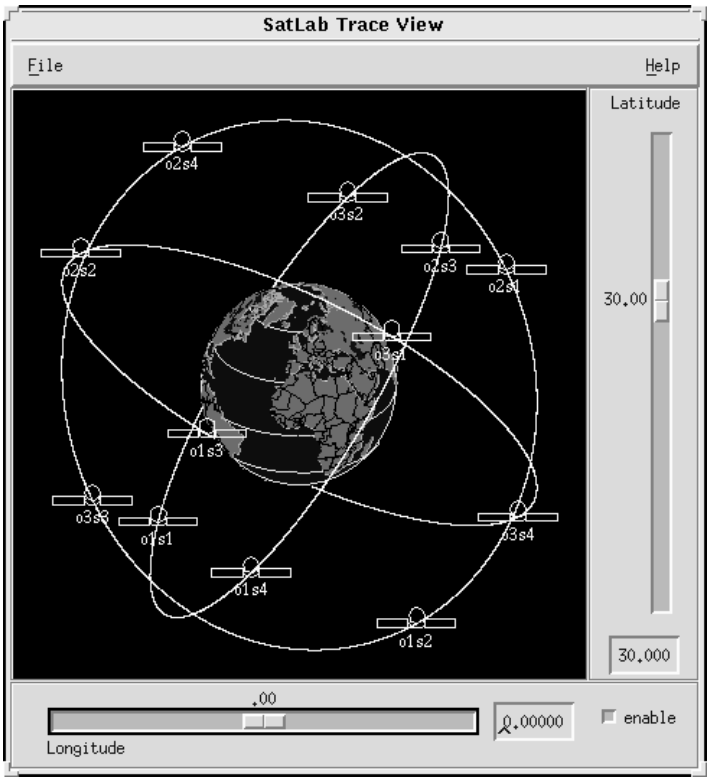

Bild 6: Umlaufbahnen des Systems Odyssey

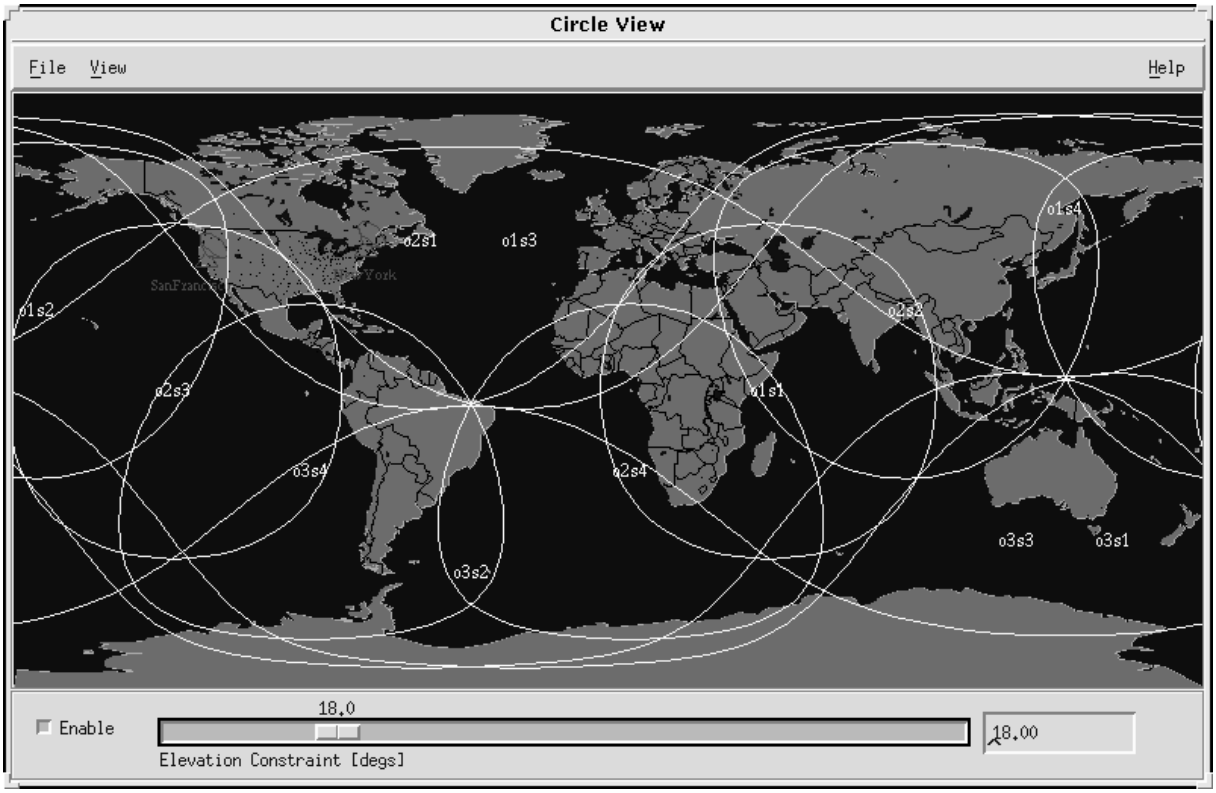

Bild 7: Ausleuchtzonen des Systems Odyssey für eine minimale Elevation von 18,0 Grad

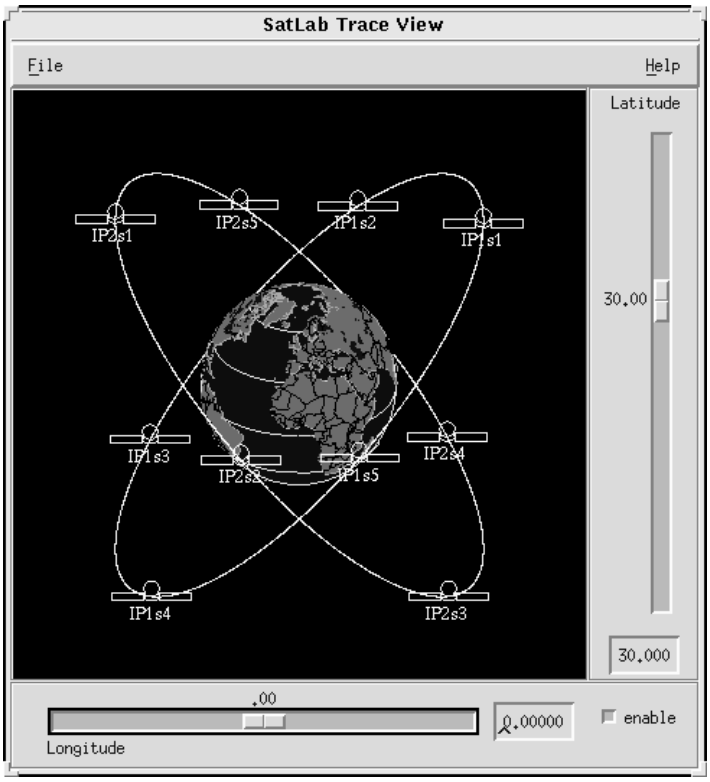

Bild 8: Umlaufbahnen des Systems ICO

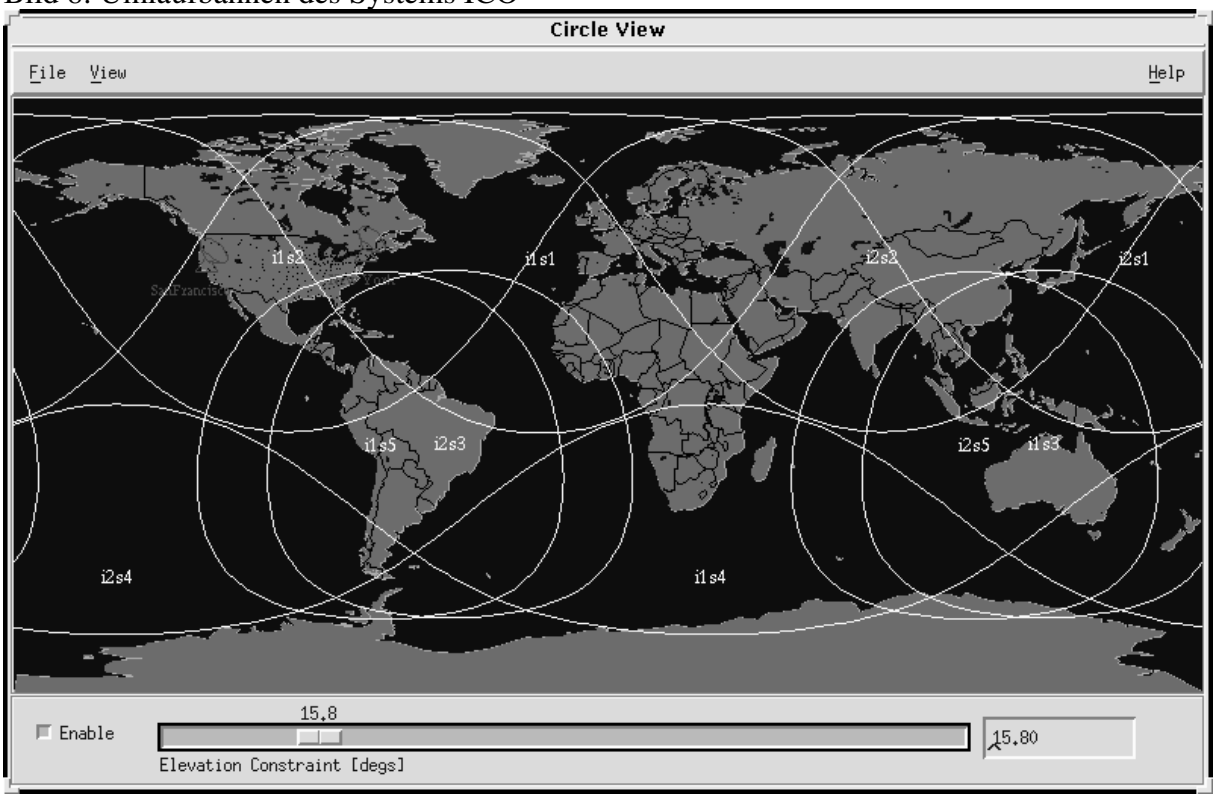

Bild 9: Ausleuchtzonen des Systems ICO für eine minimale Elevation von 15,8 Grad