

Satellitenkommunikation

Aylin Seval und Markus Hammerschmidt

Hauptseminar “Dienste & Infrastrukturen mobiler Systeme”

Wintersemester 03/04

Institut für Informatik

Ludwig Maximilians Universität München

{seval, hammersc}@informatik.uni-muenchen.de

Abstract. In dieser Arbeit wird die Entwicklung der Satellitenkommunikation von ihren Anfängen bis in die heutige Zeit dargestellt. Zuerst werden Bereiche, für die Satellitensysteme eingesetzt werden und wichtig sind, vorgestellt. Danach werden physikalische Hintergründe kurz erläutert und grundlegende Eigenschaften, der verschiedenen Satellitenkonstellationen, erklärt. Anhand von Beispielen, wie z.B. dem Satellitentelefonsystem IRIDIUM, können dann die verschiedenen Satellitenbahnen mit ihren Vor- und Nachteilen, diskutiert werden. Speziell eingegangen wird auf die Lokalisierung und die Suche eines Teilnehmers in Satellitensystemen, deren Methoden durch ein ausführliches Beispiel widerspiegelt werden. Ausserdem werden Techniken und Problematiken der Verbindungsübergabe bei niedrig fliegenden Satelliten dargestellt. Zum Schluß wird ein kurzer Überblick, von Paketvermittelten Diensten über Satelliten, die für heutige und zukunftsrelevante Anwendungen wichtig sind, gegeben. Die Arbeit wird mit einem Ausblick auf zukünftige Forschung über Satellitensysteme abgeschlossen.

1 Einführung

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde das Zeitalter der Satellitenkommunikation 1957 mit dem ersten sowjetischen Satelliten Sputnik eröffnet. Nach nur drei Jahren folgte der erste amerikanische Satellit Echo, der Signale unverstärkt auf die Erde reflektieren konnte. Erster geostationärer Satellit im All war 1963 SYNCOM. 1965 folgte dann der erste kommerzielle, geostationäre Nachrichtensatellit Intelsat 1, auch bekannt unter dem Namen “Early Bird”. Neben 240 Duplex-Telefonkanälen konnte der Satellit alternativ einen Fernsehkanal übertragen. Insgesamt war “Early Bird” eineinhalb Jahre in Betrieb. Wie schnell die Entwicklung in diesem Gebiet voranschritt, kann man an den Nachfolgern Intelsat 2 (1967) und Intelsat 3 (1969) mit schon 1200 Telefonkanälen erkennen.

Zu dieser Zeit waren die Signale der Satelliten noch sehr schwach und benötigten deshalb noch fest installierte, sehr große Antennen. Deshalb bezeichnet man diese als “feste Satellitensysteme”, die aus einem Satelliten und einer Bodenstation bestehen.

Das erste “mobile Satellitensystem” startete 1982 mit INMARSAT-A, was neben den Bodenstationen auch Mobilstationen anbot. Dieses Satelliten-Telefonsystem

war das erste für maritime Anwendungen. Die Sprach- und Datenverbindungen für zivile Nutzer und Landanwendungen wurden erst mit INMARSAT-C 1988 angeboten.

Das "digitale Satellitensystem" INMARSAT-M wurde 1993 eingeführt, bei dem ein mobiles Endgerät mehrere Kilos wog. Der immer größer werdende Wettbewerb und die weitentwickelte Technologie führten dazu, dass die Satelliten immer kleiner und immer leistungsfähiger wurden. Für relativ kleine Mobiltelefone wurde 1998 das globale Satellitentelefonssystem Iridium entwickelt. Die Konkurrenz der weitentwickelten, terrestrischen Mobiltelefonsysteme führte zum Konkurs von Iridium. Es wurde 2001 eine Auffanggesellschaft für die Weiterführung von Iridium gegründet[1][7].

2 Grundlagen von Satellitensystemen

Satellitensysteme haben sich in den letzten Jahren immer schneller entwickelt. Wie bereits erwähnt sind die Satelliten immer kleiner und leistungsfähiger geworden. Eine weltweite Kommunikation ohne den Gebrauch von Satelliten ist nicht realisierbar. Von den ersten Satellitensystemen bis heute haben sich zwar Zahl und Größe der Satelliten verändert, jedoch sind die Grundzüge solcher Systeme gleich geblieben. Um allgemeine Satellitensysteme besser zu verstehen, werden im folgendem die Infrastruktur und Anwendungsgebiete von Satelliten erläutert. Für ein besseres Verständnis der Funktionsweise werden ausserdem noch die physikalischen Hintergründe erklärt und Beispielsysteme aufgeführt.

2.1 Infrastruktur eines Satellitensystems

Ein Satellitensystem besteht aus mindestens einem Satelliten und mindestens einer Bodenstation. Grundsätzlich empfängt ein Satellit ein schwaches Signal, das von einer Bodenstation gesendet wird, verstärkt es und sendet dieses Signal wieder zur Erde zurück. Als Uplink wird die Verbindung zwischen der Bodenstation und dem Satelliten bezeichnet und die Gegenrichtung als Downlink. Für den Up- und Downlink werden verschiedene Antennen und getrennte Frequenzbänder benutzt, die über einen Transponder, der als Frequenzumsetzer dient, reflektiert werden. Die neuesten Entwicklungen ermöglichen Satelliten außerdem noch eine Kommunikation miteinander ohne terrestrischen Umweg. Dieses System ist zwar komplexer, aber damit kann die Anzahl von Bodenstationen reduziert werden, und unnötigen Verzögerungen wird entgegengewirkt.

Durch die Bündelung des Signals kann entweder ein großer Teil auf der Erdoberfläche ausgeleuchtet oder aber auch eine kleine begrenzte Fläche abgedeckt werden. Das Ausleuchtungsgebiet wird auch als "Footprint" bezeichnet und die kleineren Zellen innerhalb eines Ausleuchtungsgebietes sind die "Spot Beams" [1]. Abbildung 1 stellt ein typisches, mobiles Satellitenkommunikationssystem dar.

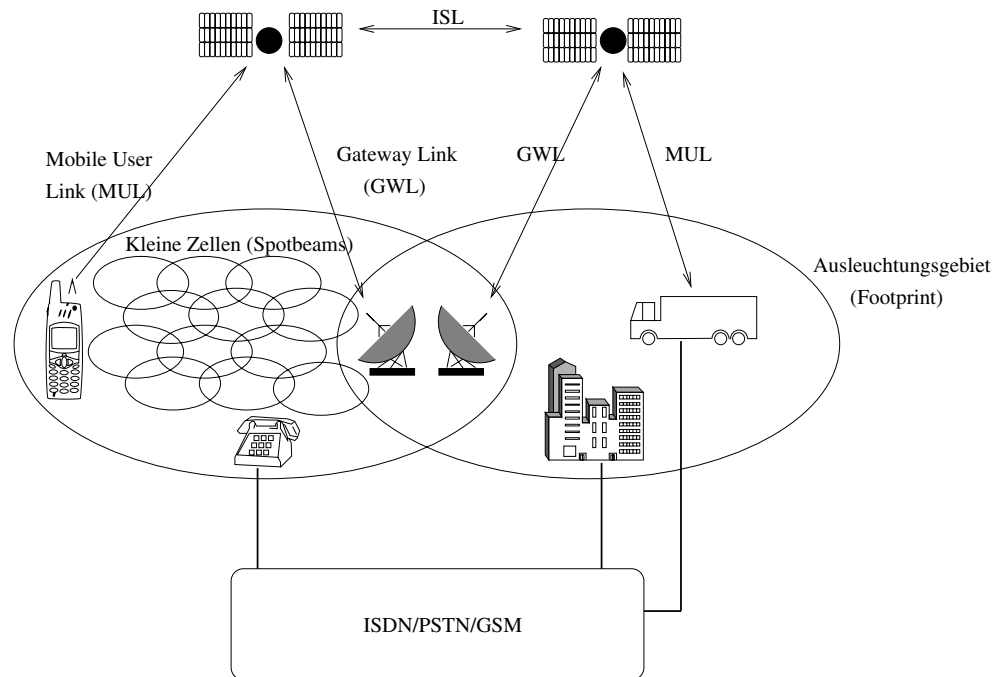


Fig. 1. Satellitensystem

Die Bodenstation stellt eine Steuerzentrale dar, die einerseits mit dem Satelliten über den “Gateway Link” (GWL) kommuniziert, andererseits vielfältige Übergänge zwischen den verschiedenen Netzen steuert. Ein mobiler Nutzer kann mit dem Satelliten über den “Mobile User Link” (MUL) kommunizieren.

Um Laufzeiten zu minimieren und lange Distanzen schnell überbrücken zu können, kommunizieren die fortgeschrittenen Satelliten, über den “Inter Satellite Link” (ISL) miteinander [1].

2.2 Anwendungen von Satelliten

Als Hauptanwendungsgebiete von Satellitensystemen gelten folgende Bereiche:

traditionell:

- Wettersatelliten
- Rundfunk- und Fernsehsatelliten
- militärische Dienste, wie z.B. Spionagesatelliten oder Sprach- und Datenkommunikation
- Satelliten zur Navigation und Ortung

für Telekommunikation:

- Kommunikationsmöglichkeit zu schwer zugänglichen Gebieten bzw. Krisengebieten ohne Infrastruktur
- weltweite Mobilkommunikation
- Location-based services

2.3 Spezielle Eigenschaften im Gegensatz zu terrestrischen Anlagen

Satellitensysteme weisen verschiedene Vor- und Nachteile auf, wie z.B. die Signallaufzeiten von der Erde zum Satelliten und zurück. Die Signale breiten sich zwar mit Lichtgeschwindigkeit aus, aber durch die großen Distanzen ergeben sich Laufzeiten von bis zu 250 ms. Diese Verzögerung wirkt sich bei einem Telefongespräch als Echo aus. Deshalb müssen Echosperrern verwendet werden. Daraus resultiert eine weitere Verkomplizierung des Systems.

Aus diesem Grund ist das Rückgrat globaler Telefonnetze und weltweiter Telefonverbindungen die Glasfaser, da die Kapazität einer Glasfaser mehrere 10 Gbits/s beträgt und im Labor einige 10 Tbit/s erreichen kann. Hinzu kommt noch die niedrige Signalverzögerung, da die Länge der Glasfaserverbindungen um ein Vielfaches kürzer ist, als die Entfernung von der Erde zu einem geostationärem Satelliten und wieder zurück[1].

Die Entfernungen auf der Erde von einem Teilnehmer zum Anderen spielen bei den Kosten einer Satellitenverbindung keine Rolle. Bei terrestrischen Anlagen werden die Kosten einer Verbindung höher, je weiter geographisch entfernt sich der Verbindungspartner befindet. Als Vorteil erweist sich ein Satellitensystem in Gebieten mit mangelnder Infrastruktur oder in schwer erreichbaren Gebieten, wie z.B.: Antarktis, da hier aus Kostengründen keine Antennen aufgestellt bzw. Leitungen verlegt werden können.

Die Kanäle werden für die Verteilung von Radio- und TV Programmen oder zur Übertragung von Sprach- und Datenkanälen eingesetzt. Somit sind die Kosten immer gleich, egal ob das Signal von einem oder mehreren Teilnehmern empfangen wird.

2.4 Satellitenorbits

Physikalische Aspekte

Satelliten kreisen in einem bestimmten Abstand zur Erde. Diese Umlaufbahnen können kreisförmig oder auch elliptisch sein.

Der Satellit befindet sich in einer stabilen Bahn, wenn sich die Anziehungskraft F_g , die wegen der Gravitation auf den Satelliten wirkt, und die Fliehkraft F_z , die wegen der Kreisbewegung des Satelliten auf ihn wirkt, im Gleichgewicht befinden.

In folgenden Gleichungen gilt:

$$F_g = m \cdot g \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 (1) \text{ und } F_z = m \cdot r \cdot \omega^2 (2)$$

m Masse des Satelliten

R Erdradius mit $R = 6370\text{km}$

r Abstand Erde-Satellit

g Erdbeschleunigung mit $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ω Kreisfrequenz mit $\omega = 2\pi f$ und f Umlauffrequenz $T = \frac{1}{f}$ Umlaufdauer

somit ergibt $F_g = F_z$ nach r aufgelöst $r = \sqrt[3]{\frac{g \cdot R^2}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2}}$ (3)

Diese Gleichung ist unabhängig von der Masse des Satelliten und hängt somit nur von der Umlaufdauer, also der Geschwindigkeit des Satelliten ab.

Im Folgenden werden noch kurz einige Fachbegriffe für Satelliten in der Erdumlaufbahn definiert, siehe auch Abbildung 2 und Abbildung 3:

- *Apogäum*: Der Punkt größter Entfernung von der Erde
- *Perigäum*: Der Punkt dichtester Annäherung an die Erde
- *Inklination*: Der Winkel δ zwischen der Umlaufbahn und der Äquatorebene der Erde
- *Elevation* ε : Die Elevation wird auch als Sichtwinkel bezeichnet. Sie beschreibt den Winkel zwischen der Tangente zur Erdoberfläche an der Empfangsstation und der Verbindungslinie zum Satellit von der Empfangsstation

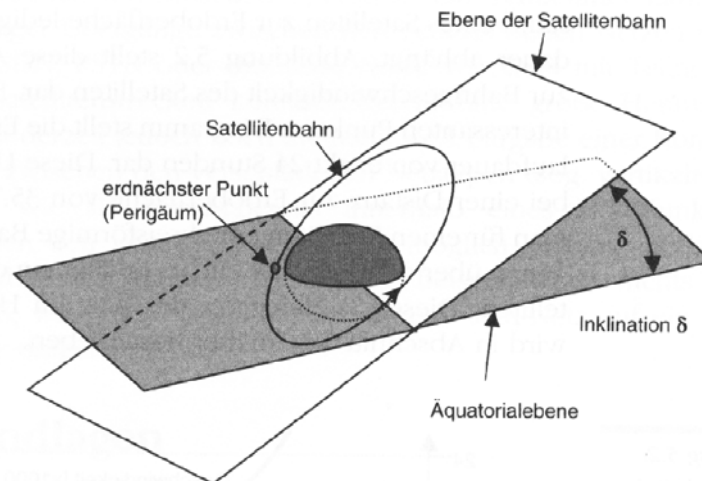


Fig. 2. Inklination [1]

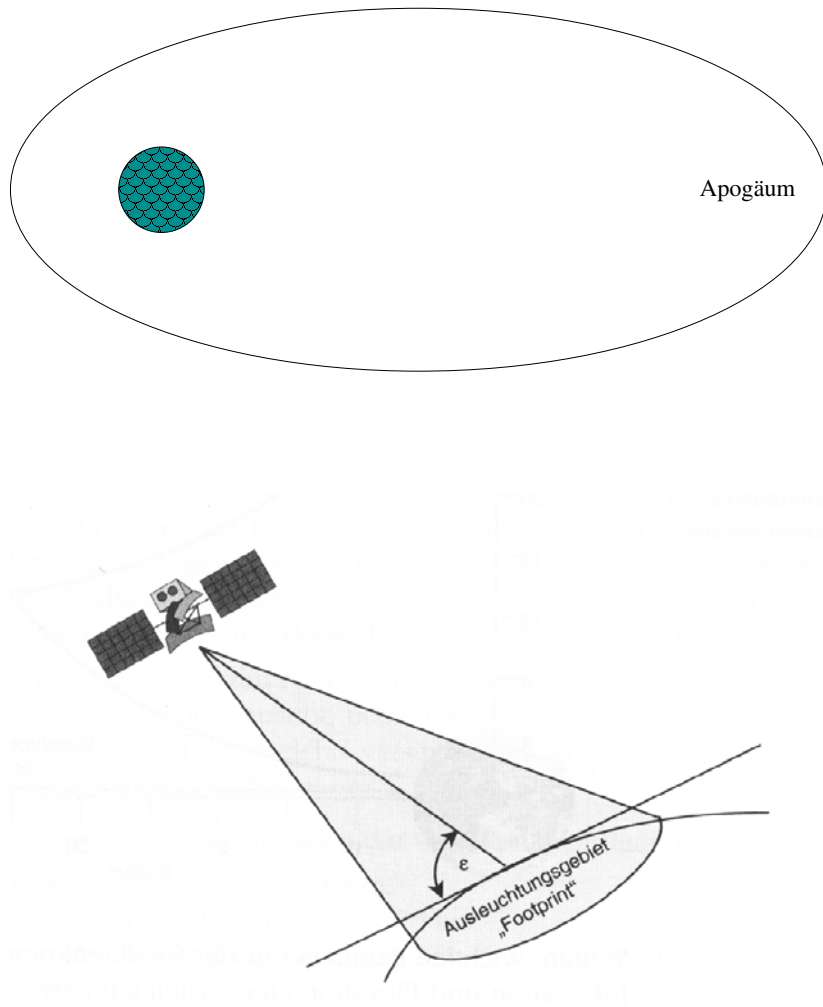


Fig. 3. Apogäum und Elevation [1]

Ein weiterer Parameter ist die Abschwächung L eines Signals. Die Abschwächung ist nicht nur abhängig von der Entfernung zwischen Empfänger und Satellit, auch die Elevation ε und die atmosphärischen Bedingungen spielen hier eine Rolle. Eine höhere Elevation ist vorteilhaft, da dadurch eine geringere Abschattung durch Hindernisse entsteht (siehe Abbildung 4).

L kann folgendermaßen berechnet werden: $L = \left(\frac{4\pi r f}{c}\right)^2(4)$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist.

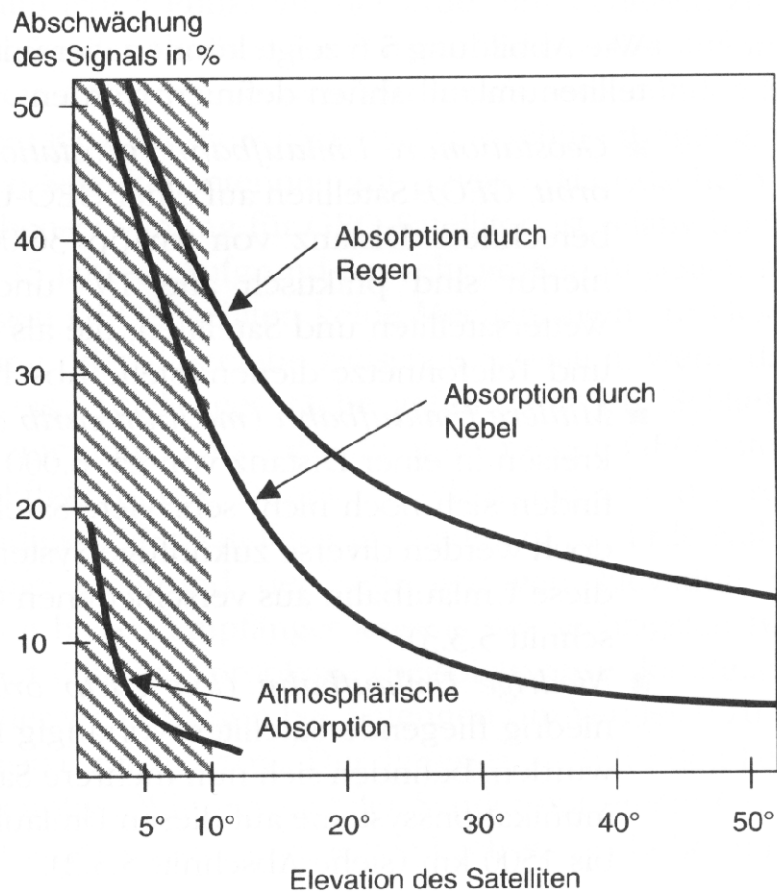


Fig. 4. Abschwächung [1]

Nun können aus den gerade eingeführten Formeln und Gesetzen verschiedene Radien für Umlaufbahnen berechnet werden. Es werden hier die vier grundlegende Umlaufbahnen mit ihren charakteristischen Eigenschaften und ihren Vor- und Nachteilen aufgeführt.

Geostationäre-Satelliten-Systeme (GEO, Geostationary Earth Orbit)

Beträgt die Umlaufdauer eines Satelliten $T = 24$ Std. so befindet sich dieser Satellit auf einer geostationären Umlaufbahn. Mit der Drehrichtung entsprechend der Erdrotation erscheint dieser Satellit an einer festen Position am Himmel. In die obige Gleichung (3) eingesetzt bekommt man die Entfernung von 35 786 km von der Erdoberfläche. Dieser Satellit kreist genau über dem Äquator. Somit ist

die Inklination $\delta = 0^\circ$.

Als Vorteil erweist sich, dass Antennen auf der Erdoberfläche nur einmal auf den Satelliten ausgerichtet werden müssen, da eine konstante Position des Satelliten besteht. Aufgrund der weiten Distanz reichen drei Satelliten für eine weltweite Abdeckung aus. Somit bestehen kaum Verbindungsübergaben. Satelliten auf geostationärer Umlaufbahn haben eine höhere Lebenserwartung, da auf dieser Höhe lediglich geringe atmosphärisch bedingte Reibungen bestehen.

Die Lebensdauer definiert sich ebenfalls durch den benötigten Treibstoff und die Treibstoffreserven für häufige Bahnkorrekturen, die durch komplexe Steuer- manöver von der Erde aus kontrolliert werden. Die Flugbahnen von Satelliten müssen immer beaufsichtigt werden, da der Drift, die Sonnenwinde oder andere Einflüsse auf ihre Bahn einwirken

GEO-Systeme sind für batteriegestützte Endgeräte nicht geeignet, da eine Sende- leistung von 10 Watt erforderlich wäre. Da konventionelle Handybatterien zwi- schen 2-4 Watt zur Verfügung haben, ist dieses System für normale Mobiltelefone ohne zusätzliche Stromversorgung weitestgehend unbrauchbar. Die hohe Distanz führt zu den bereits erwähnten hohen Laufzeiten von 250ms.

Deshalb sind geostationäre Satelliten ungeeignet für Sprachkommunikation, aber gut geeignet für Radio- und TV Übertragungen, da man fest ausgerichtete An- tennen benutzen kann[1][3][8][12].

Beispiele für GEO-Systeme sind Eutelsat (18 Satelliten), Intelsat (19 Satelliten) oder Astra (10 Satelliten), die TV- und Radioprogramme verteilen.

Die INMARSAT-Organisation wurde am 15.Juli 1979 gegründet. Das INMARSAT System verfügt über 11 Satelliten, wovon 4 als Betriebssatelliten und 7 als Re- servesatelliten dienen. Dieses System war das Erste für eine globale und mo- bile Kommunikation. Ursprünglich für die Schifffahrt entwickelt, bietet es heute verschiedene Dienste an, wie z.b. Telefon, Telefax, Telex, Daten- und Mail- boxverbindungen. Durch die hohe Umlaufbahn haben jedoch die Endgeräte die Größe eines Aktenkoffers mit einer ausklappbaren Antenne[2]. Eine Minute in ein solches System kostet heute von einem GSM Handy aus 6.29 Euro/Minute. (Stand August 2003)

Kurz erwähnt werden sollten noch die Satelliten mit polarer Umlaufbahn. Im Gegensatz zu geostationären Umlaufbahnen, die fest um die Äquatorebene kreisen, gibt es für diese Umlaufbahnen viele Möglichkeiten. Satelliten in dieser Umlauf- bahn sind hilfreich für Wettervorhersagen, da sie wichtige Informationen an den Polarkreisen sammeln.

Satelliten auf mittlereren Umlaufbahnen (MEO, Medium Earth Or- bit)

Die MEO-Systeme befinden sich auf einer Höhe von ca. 5000-20000 km. Somit beträgt die Umlaufdauer 6 Stunden. Vorteil solcher Systeme ist, dass relativ wenige Satelliten ausreichen um eine sehr hohe geographische Abdeckung zu erzielen. Für eine weltweite Abdeckung werden ca. 10-15 Satelliten benötigt.

Insgesamt kommt man hier mit relativ wenigen Verbindungsübergaben aus. Dadurch lässt sich ein solches System mit weniger Aufwand betreiben.

Auch dieses System benötigt zur Kommunikation mit der Erde hohe Sendeleistungen. Daher ist es, wie GEO-Systeme, ebenfalls ungeeignet für den Gebrauch mit mobilen Endgeräten. Weiterhin betragen die Laufzeiten der Signale bei dieser Höhe des Satellitensystems ca. 125 ms, was für eine Telfonanwendung immer noch zu hoch ist[1][8][12].

Intermediate Circuit Orbit (ICO) ist ein Kommunikationssystem, das 1994 von INMARSAT gegründet wurde. Dieses MEO-System besteht aus 10 Satelliten und bietet Dienste, wie z.B. Fax, Sprachübertragung und Internetverbindungen, an. Die Bahnhöhe beträgt 10355km, die Umlaufdauer 5,5 Stunden. Genau wie Iridium ging dieses System in Konkurs. ICO fusionierte mit Teledesic, einem weiteren LEO-Satellitenkommunikationssystem, und soll als "New ICO" wieder in Betrieb gehen[4].

Niedrig fliegende Satelliten-Systeme (LEO, Low Earth Orbit)

LEO-Satelliten haben die niedrigste Umlaufbahn auf ca. 600-1000km Höhe. Somit ist die Umlaufdauer sehr gering und liegt zwischen 95-120 Minuten.

Ein Vorteil ist z.B. die niedrige Sendeleistung von 1 W. Somit ist dieses System für Mobiltelefone geeignet, wie man anhand des später beschriebenen Systems IRIDIUM erkennen wird. Ebenfalls von Vorteil sind hier die geringeren Laufzeiten. Die Verzögerung im LEO-System liegt bei ca. 10ms, genau wie bei drahtgebundenen Systemen über weite Strecken. Aufgrund der kleineren Ausleuchtungsgebiete können die Frequenzen flexibler verwendet werden und im Gegensatz zu GEO-Systemen kann eine sehr hohe Elevation in Polregionen erreicht werden.

Als Nachteil ergibt sich, dass z.B. für ein Kommunikationssystem mindestens 50-100 Satelliten erforderlich sind, um eine weltweite Abdeckung zu erreichen. Wegen der kurzen Sichtbarkeit muss ca. alle 10 Minuten eine Verbindungsübergabe stattfinden. Somit ist das LEO-System im Gesamten komplexer. Durch die niedrige Umlaufbahn ist die atmosphärische Reibung bei diesem System am stärksten. Daraus resultiert die niedrige Lebensdauer von 5 - 8 Jahren. Durch die hohe Anzahl der Satelliten sind solche Systeme am teuersten zu betreiben[1][7][8].

Iridium ist das erste digitale weltweit abdeckende Mobilfunksystem. Dieses satellitengestützte System ist zellular aufgebaut. 66 Satelliten und 6 Reservesatelliten kreisen auf einer polaren Umlaufbahn in 780 km Höhe. Es kreisen jeweils 11 Satelliten auf 6 verschiedenen Umlaufbahnen, so dass zu jedem Zeitpunkt eine lückenlose Abdeckung gewährt wird. Dieses System war als erstes ISL - fähig. Durch zu niedrige Teilnehmerzahlen ging Iridium im Jahr 2000 in Konkurs. Eine Auffangesellschaft startete das System im Jahr 2001 erneut. Durch den Konkurs übernahm das amerikanische Verteidigungsministerium einen Großteil des Systems[1][7][12].

Elliptische Umlaufbahnen (HEO, Highly Elliptical Orbit)

Das HEO-System mit seiner besonderen Umlaufbahn ist nicht wirklich mit den anderen Systemen zu vergleichen, da sich durch die elliptische Umlaufbahn verschiedene Eigenschaften ergeben. Im Perigäum nähert sich der Satellit bis auf einige hundert Kilometer der Erde, wo die Laufzeiten der Signale sehr gering sind und erreicht im Apogäum fast die Höhe von geostationären Satelliten, wo sie auch zur Kommunikation eingesetzt werden. Diese Satelliten haben eine sehr gute Oberflächenabdeckung und besitzen Vorteile von Satelliten auf niedriger Umlaufbahn, wie z.B. die niedrige Sendeleistung oder die relativ geringen Signallaufzeiten[1][3][7].

Ein Beispiel für ein System auf dieser Umlaufbahn ist Ellipso-Borealis. Das System hat 10 Satelliten auf zwei verschiedenen elliptischen Bahnen, bei denen das Apogäum auf 7605km Höhe und das Perigäum auf 633km Höhe ist. Eine Umlaufdauer beträgt hier drei Stunden[5].

Folgend wird zur besseren Übersicht eine Tabelle mit wichtigen Charakteristiken der aufgeführten Beispiele zur Verfügung gestellt.

Beispielsystem	INMARSAT	ICO	Iridium	Ellipso-Borealis
Umlaufbahn	GEO	MEO	LEO	HEO
Umlaufart	äqu. Kreisbahn	Kreisbahn	pol. Kreisbahn	elliptisch
Bahnhöhe	ca. 36000km	10390km	780km	633km bis 7605km
Umlaufdauer	24h	5.5h	1.5h bis 2h	3h
Anzahl der Satelliten	4(+7)	10(+2)	66(+6)	10
Lebensdauer	15 Jahre	12 Jahre	5-8 Jahre	5 Jahre

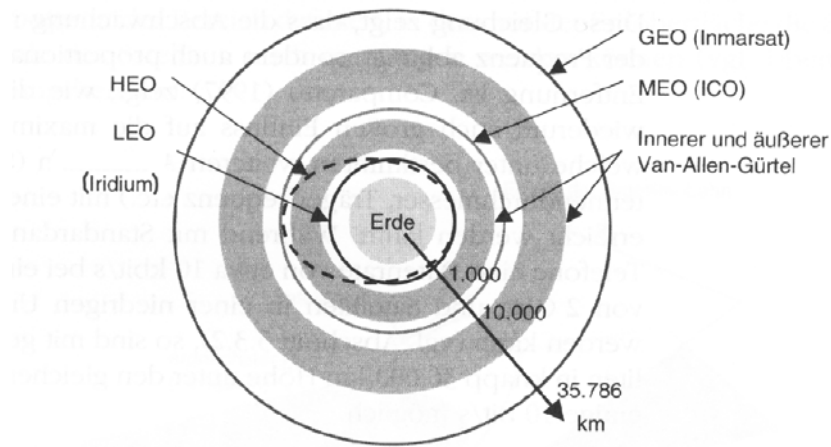


Fig. 5. Umlaufbahnen[1]

Auf Abbildung 5 sind zwei Bahnen als Van-Allen-Gürtel bezeichnet. Dort können keine Satelliten betrieben werden, da eine hohe Konzentration aus ionisierten Teilchen besteht. Der innere Van-Allen-Gürtel befindet sich zwischen 2000 km bis 6000 km und der äußere Van-Allen-Gürtel auf 15 000 km bis 30 000 km Höhe.

Frequenzbänder und Zugriffsverfahren Für die Satellitenkommunikation steht nur ein begrenztes elektromagnetisches Spektrum zu Verfügung. In der folgenden Tabelle werden die zur Satellitenkommunikation verwendeten Frequenzbänder aufgelistet. Für den Up- und Downlink sind bestimmte Frequenzen reserviert[7][13].

Band	Frequenzspektrum	Bandbreite	Benutzung
L	1-2 GHz	1 GHz	Mobile Satellitendienste (MS)
S	2-4 GHz	2 GHz	MS, NASA, Weltraumforschung
C	4-8 GHz	4 GHz	Feste Satellitendienste (FS)
X	8-12.5 GHz	4.5 GHz	militärische FS, Wetter
Ku	12.5-18 GHz	5.5 GHz	FS, Rundsendesatellitensysteme (RS)
K	18-26.5 GHz	8.5 GHz	RS, FS
Ka	26.5-40 GHz	13.5 GHz	FS

Verschiedene Satellitensysteme weisen verschiedene Zugriffsverfahren auf. Es werden hier nur die wichtigsten Zugriffsverfahren kurz erläutert.

- Frequency Division Multiple Access (FDMA): Bei diesem Zugriffsverfahren wird die zur Verfügung stehende Bandbreite in kleine Teilfrequenzen unterteilt. Somit hat jeder Nutzer eine bestimmte Frequenz zur Verfügung.
- Time Division Multiple Access (TDMA): Bei diesem Zugriffsverfahren wird ein zur Verfügung stehendes Frequenzband, das einem Nutzer zu Verfügung stehen würde in mehrere Zeitschlitze unterteilt. Somit können abwechselnd mehrere Nutzer auf demselben Frequenzband senden oder empfangen.
- Code Division Multiple Access (CDMA): Bei diesem Zugriffsverfahren senden alle Nutzer auf der gleichen Frequenz zur selben Zeit. Nutzer können durch verschiedene ihnen zugeordnete Codes unterschieden werden. Für Up- und Downlink kommt man also mit jeweils nur zwei relativ kleine Frequenzbändern aus.

Zusammenfassend wird im folgenden eine Tabelle mit den bereits vorgestellten Satellitensystemen, mit den benutzten Frequenzbändern, den Zugriffsverfahren und vollständigshalber den Datenraten zur Übertragung, dargestellt. Dabei bezeichnen:

MT-SAT:= Verbindung zwischen mobilem Endgerät und dem Satelliten

Beispielsysteme	INMARSAT	ICO	Iridium
Frequenzen [Ghz]	Uplink 4 – 6 Downlink 1.5 – 1.6	Uplink (MT-SAT) 2 Downlink (MT-SAT) 2.2 Uplink 5.2 Downlink 7	Up-und Downlink (MT-SAT) 1.6 Uplink 29.2 Downlink 19.5 ISL 23.3
Zugriffsverfahren	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA
Datenraten	2.4 kbit/s	4.8kbit/s	2.4 kbit/s

3 Lokalisierung

Mobilfunkbetreiber und deren Partner sind in den letzten Jahren darum bemüht neue Satellitensysteme zur globalen mobilen Kommunikation einzuführen bzw. die bestehenden Systeme an Satelliten anzubinden. Ziel ist es, schwer erreichbare oder infrastrukturell schwache Gebiete an Mobilfunksysteme anzubinden. Essentiell für mobile Kommunikationssysteme, wie z.B. GSM oder UMTS, ist die Lokalisierung und das Paging, die Suche innerhalb eines bestimmten Gebietes nach dem mobilen Endgerät von Teilnehmern um eine Verbindung aufzubauen, und verschiedene andere mobile Dienste zur Verfügung zu stellen. Im Folgenden

werden grundsätzlich benötigte Strategien der Lokalisierung in terrestrischen Netzen, wie GSM oder UMTS, diskutiert, um danach die zusätzlich benötigten Komponenten bei einem mobilen Satellitenkommunikationssystem herzuleiten.

3.1 Lokalisierung eines Teilnehmers in terrestrischen Netzen

Terrestrische Mobilfunksysteme wie auch satellitengestützte Mobilfunksysteme sind zellular, d.h. diese Systeme sind in Funkzellen aufgeteilt. Eine Funkzelle besteht aus einer Antenne, einem Sender, einem Empfänger und einer Verbindung zur nächsten Kontrollstation. Eine Funkzelle kann einen Radius von 100m bis 35km haben, je nachdem, ob sie sich in einem städtischen oder ländlichen Gebiet in GSM befindet. Jede dieser Zellen hat ein bestimmtes Kontingent an Frequenzen. Um einen Teilnehmer lokalisieren zu können, und damit verbunden eine z.B. Sprachverbindung aufzubauen, ist es nötig, den Aufenthaltsort eines Endgerätes zu kennen. Deshalb werden in zellularen Netzen mehrere Zellen, die geographisch aneinanderhängen zu einem Lokalisierungsgebiet zusammengefasst (siehe Abbildung 6). Bewegt sich das mobile Endgerät von einem Lokalisierungsgebiet in ein Anderes, so informiert es das Netz über die Standortänderung. Somit kennt das Netz immer das Lokalisierungsgebiet in dem sich das mobile Endgerät aufhält. Kommt der Verbindungswunsch des Netzes muss das Endgerät noch innerhalb des Lokalisierungsgebietes gesucht werden (paging). Wenn sich der Benutzer längere Zeit in einem Lokalisierungsgebiet aufhält, ist es sinnvoll zusätzlich ein periodischen Locationupdate durchzuführen. Dieses variiert von Betreiber zu Betreiber zwischen sechs Minuten und zwölf Stunden. Vorteil dieser Hybridlösung ist, dass bei einem Datenbankausfall die Lokalisierungsdaten wiederhergestellt werden können. In einem terrestrischen System, wie z.B. GSM, sind die Zellen und damit auch die Lokalisierungsgebiete fest an eine geographische Lage gebunden.

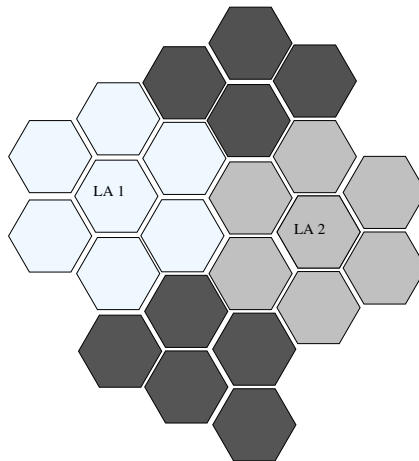


Fig. 6. Lokalisierungsgebiete

3.2 Lokalisierung eines Teilnehmers in Satellitensystemen

Im Unterschied zu einem terrestrischen System können bei einem Satellitensystem verschiedene logische und physische Zusammenstellungen eines Lokalisierungsgebietes auftreten. Deshalb müssen Verfahren der terrestrischen Lokalisierung bei Satellitensystemen angepasst bzw. neu erstellt werden. Ein zusätzliches Merkmal, das eine wichtige Rolle bei der Erstellung der zellularen Struktur spielt, ist, dass sich Satelliten in einer Bahn relativ zur Erde bewegen. Ein Satellitensystem besteht hier aus fest installierten Erdstationen (FES), den mobilen Endgeräten (MT), den Satelliten, dem Heimatregister (HLR), welches die statistischen Daten eines Nutzers und dessen Aufenthaltsort beinhaltet und dem Besucherregister (VLR), welches den aktuellen Aufenthaltsort beinhaltet[8].

Man geht davon aus, dass die Satelliten die zellulare Struktur auf die Erdoberfläche projizieren, d.h. dass so eine ähnliche Struktur wie bei terrestrischen Systemen besteht, mit dem Unterschied, dass sich die Zellen, auch wenn sich der Benutzer an einem festen Ort befindet, bewegen.

Den FESs sind mehrere Satelliten zugeordnet, d.h., das Abdeckungsgebiet einer FES kann sich über tausende von Kilometern erstrecken. Im Gebiet einer FES gibt es einen Bereich, der zu jedem Zeitpunkt 100% abgedeckt ist, das sogenannte "garantierte Abdeckungsgebiet (GCA)" [11] (siehe Abbildung 7).

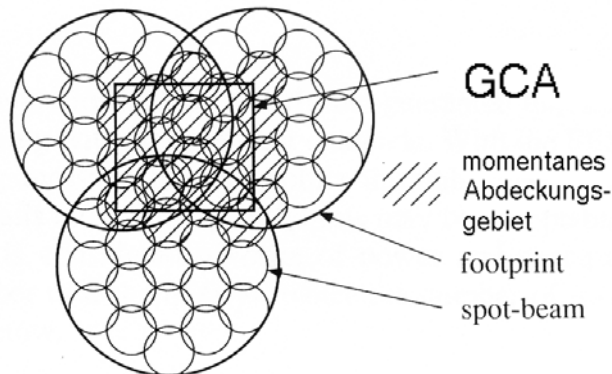


Fig. 7. GCA[11]

Bedenkt man, dass sich die Satelliten relativ zur Erde bewegen, so wird klar, dass sich das Gesamtdeckungsgebiet einer FES ändert, je nachdem zu welcher Zeit auf einen neuen Satelliten umgeschaltet wird. Es wird versucht die Rundsendungen der der Lokalisierungsgebiet-ID ausserhalb des GCS zu minimieren, um strikte Abgrenzungen zum nächsten GCA zu gewähren.

Im Folgenden werden grundsätzliche Strategien von Lokalisierungsgebieten bei einem mobilen und zellularen Satellitensystem dargestellt:[8]

- *Lokalisierungsgebiete anhand der geographischen Position (siehe Abbildung 8)*: In dieser Zusammenstellung verfügt das Netz über die genaue geographische Position des Teilnehmers. Dies kann z.B. durch GPS erreicht werden. Es wird ein bestimmter Radius um dessen Aufenthaltsort gelegt. Die Kreisfläche ist dann das aktuelle Lokalisierungsgebiet des Teilnehmers. Verlässt ein Teilnehmer dieses Gebiet, so muss ein Locationupdate ausgeführt werden, und die Prozedur von vorne begonnen werden. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass um einen Nutzer zu erreichen, alle FESs und alle Satelliten, die sich im Bereich des Nutzers befinden, ein paging ausführen müssen.

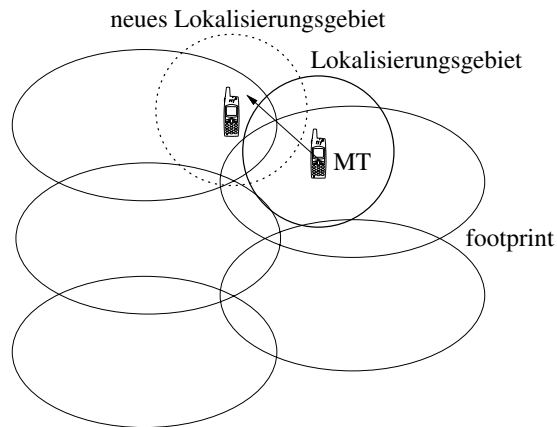


Fig. 8. Lokalisierung anhand geographischer Position

- *Lokalisierungsgebiete anhand von Satellitenzellen (siehe Abbildung 9)*: Hier werden Locationupdates ausgeführt wann immer ein MT die Verbindung zu einem Satelliten verliert. Die zellulare Struktur dieses Satelliten fliegt also sozusagen über den Nutzer hinweg. Der Footprint eines Satelliten ist das Lokalisierungsgebiet, die Spot Beams die einzelnen Zellen. Da in LEO Systemen die Satelliten nur eine sehr kurze Zeit zu sehen sind, resultiert daraus eine hohe Anzahl von Locationupdates. Bewegt sich ein MT schnell, kann das dazu führen, dass er sehr weit entfernt von seiner ursprünglichen FES erst wieder ein Update ausführen muss. Dies führt wiederum dazu, dass komplexe “Paging” Prozeduren ausgeführt werden müssen.

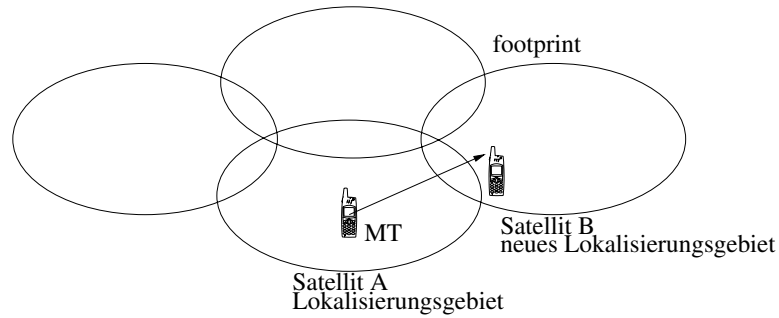


Fig. 9. Lokalisierung anhand von Satellitenzellen

- *Lokalisierungsgebiete anhand der FES (siehe Abbildung 10):* In diesem Schema wird ein Locationupdate ausgeführt wenn das MT die Sendungen der ID der gerade aktuellen FES verliert. Eine FES hat Verbindung zu mehreren Satelliten, so dass hier das Lokalisierungsgebiet mehrere tausend Kilometer betragen kann. Vorteil ist hier, dass diese Zusammenstellung mit relativ wenigen Locationupdates auskommt, aber die FES muss ein Paging über alle Spotbeams aller Satelliten in deren Bereich durchführen.

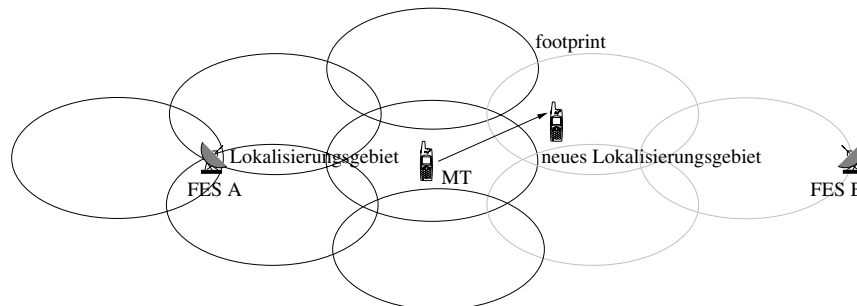


Fig. 10. Lokalisierung anhand der FES

- *Lokalisierungsgebiete anhand von Satellitenzellen und FES (siehe Abbildung 11):* Diese Zusammenstellung stellt den Zusammenschluss der zwei vorangegangenen Schemas dar. Das MT empfängt hierzu die ID-Rundsendungen der aktuellen FES und zusätzlich des Satelliten. Verliert das MT die Sendung eines Satelliten oder verliert es seine aktuelle FES-ID, so muss es ein Locationupdate durchführen. Somit kann der Nachteil der großen FES-Gebiete ausgeglichen werden, denn das MT ist in dem jeweiligen FES-Gebiet unter einem bestimmten Satelliten zu erreichen. Ein sich schnell bewegendes MT

kann bei Lokalisierung anhand der Satellitenzellen mehrere tausend km zurücklegen ohne ein Locationupdate durchzuführen. Auch dieser Nachteil wird durch den Hybridvorschlag eliminiert, denn verliert ein MT die Verbindung zur aktuellen FES, muss es ein Locationupdate durchführen.

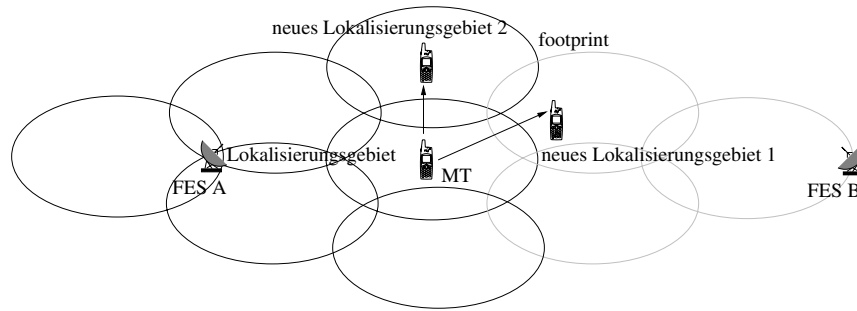


Fig. 11. Lokalisierung anhand FES und Satellitenzellen

Es existieren noch eine Vielzahl weiterer Vereinfachungsmöglichkeiten, um die Verwaltung solcher Lokalisierungsgebiete nicht zu komplex werden zu lassen. So werden z.B. die Lokalisierungsgebiete anhand der FES nochmals in kleinere Teillokalisierungsgebiete aufgespalten. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich z.B. dadurch, dass man Aufzeichnungen verwaltet in welchem Spot Beam des Satelliten das MT das letzte Mal Verbindung mit dem Netz aufgenommen hat (Locationupdate, Verbindung, usw.). Kommt nun ein Verbindungswunsch wird in diesem Spot Beam gesucht (paging). Hat das keinen Erfolg so werden in den umliegenden Spot Beams Suchanfragen durchgeführt. Diesen Ansatz nennt man "Intelligent Paging". Die verschiedenen Systeme bieten jeweils verschiedene Möglichkeiten an.

3.3 Lokalisierung anhand eines Beispiels

Folgendes Satellitensystem zeigt die Charakteristiken eines LEO-Systems für eine globale mobile Kommunikation. Anhand dieses Beispiels soll erläutert werden, welche Komponenten bei einem Locationupdate betroffen sind, und welche zusätzlichen Komponenten im Gegensatz zu einem terrestrischer mobilen Kommunikationssystem vorhanden sein müssen. Hierbei wird als Strategie die Lokalisierung anhand von Satellitenzellen und FES benutzt. Eine Verbesserung dieser Strategie soll durch das hierarchische Datenbankmodell dargestellt werden (siehe Abbildungen 12 und 13).

(1)Die Lokalisierung beginnt mit der Anmeldung des MT im Lokalisierungsgebiet des Satelliten A und der aktuell zuständigen FES A. Hierfür sendet das MT

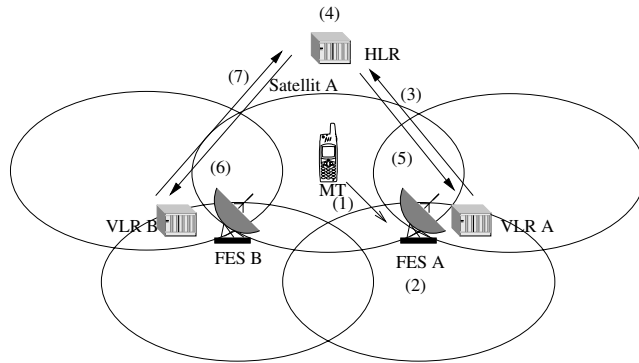


Fig. 12. Lokalisierung 1

- ein Registrierungssignal an die Bodenstation FES A über den Satelliten A.
 (2) Die FES A schickt die Registrierung an das Besucherregister VLR A.
 (3) Im VLR A wird nun die Position des MT gespeichert und an das Heimatregister HLR geschickt.
 (4) Das HLR authentifiziert den Benutzer anhand der gespeicherten Daten, und sichert zusätzlich die ID des VLR an dem das MT angemeldet ist, hier das VLR A.
 (5) Danach bestätigt das HLR die Registrierung bei VLR A.
 (6) Falls das MT davor eine bereits bestehende Registrierung in einem anderen VLR hat, schickt das HLR eine Mitteilung an das davor zuständige VLR, die Registrierung aufzuheben.
 (7) Dieses VLR löscht die Eintragungen des MT und bestätigt diese wiederum dem HLR.

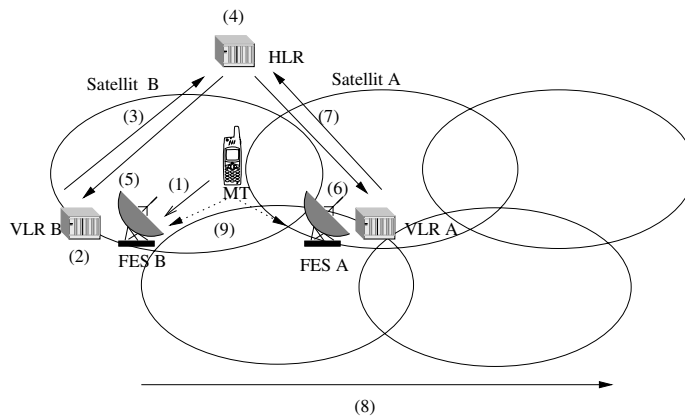


Fig. 13. Lokalisierung 2

Wenn die Satelliten über das MT hinwegfliegen, bewegt sich das Ausleuchtungsgebiet vom Satellit A über den MT hinweg und wird vom Ausleuchtungsgebiet vom Satelliten B erreicht. Es muss also ein Locationupdate, wie oben beschrieben, stattfinden (siehe Abbildung 13 Schritte (1)-(7)). Da Satellit B zum aktuellen Zeitpunkt an FES B angemeldet ist, befindet sich nun das MT im neuen Lokalisierungsgebiet des Satelliten B mit FES B und VLR B. (8) Der Satellit B verliert schließlich den Kontakt zu FES B, und meldet sich bei FES A an. Somit muss das MT erneut ein Locationupdate durchführen, wie in Abbildung 12. Neues Lokalisierungsgebiet ist somit Satellit B mit FES A und VLR A. Diese Updates müssen durchgeführt werden, obwohl das MT sich nicht bewegt hat.

(9) Das Hin- und Herschalten zwischen den FESs erhöht den Signalisierungsverkehr beträchtlich.

Um diesen Overhead zu umgehen wird ein hierarchisches Datenbankmodell eingeführt. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Registern wird ein ILR (Intermediate Location Register) eingeführt, welches Zeiger von einem VLR zu einem anderen enthält. Ausserdem übernimmt es die Aufgabe des HLR in einem bestimmten geographischen Gebiet. Es ist für mehrere FESs zuständig und vermindert die Signalisierungslasten signifikant. Muss das MT ein Locationupdate von einem FES zu einem anderen FES durchführen, so wird im alten VLR ein Zeiger zum neuen VLR durch das ILR generiert. Springt nun der Nutzer wieder zurück zur alten FES muss nur der Zeiger wieder entfernt werden.

So wird das Locationupdate beim Hin- und Herspringen nur durch eine Operation, nämlich das Hinzufügen und Entfernen eines Zeigers, realisiert [8].

4 Verbindungsübergabe

In satellitengestützten mobilen Kommunikationssystemen kommt dem Handover, der Verbindungsübergabe einer Zelle an eine andere, eine hohe Priorität zu. Bedenkt man mit welcher Geschwindigkeit sich LEO-Satelliten bewegen, stellt man fest, dass in solchen Kommunikationssystemen ein Handover relativ oft stattfinden muss, um ein langes Gespräch, bzw. eine leitungsorientierte Verbindung aufrecht erhalten zu können. Im Iridium System z.B., umkreist ein Satellit die Erde im 100.13 Minuten, und hat eine Geschwindigkeit relativ zur Erde von 26.804 km/h. Eine Zelle, also ein Spot Beam hat den Durchmesser von 500 Kilometern. Zwei adjazente Zellen überlagern sich zu 10%, d.h. um ca. 50 Kilometer. Befindet sich ein MT gerade an der Grenze zwischen zwei Zellen, und muss eine Übergabe stattfinden, so muss dies innerhalb der Zeit geschehen, in der das mobile Endgerät die ID's beider Zellen empfangen kann. Berechnet man diese Zeitspanne, ist es klar dass die Übergabe innerhalb von ca. 8 Sekunden erfolgen muss, da sonst einer der Spotbeams aus dem Sende- und Empfangsbereich des MTs verschwindet [14]. Es müssen also Algorithmen entwickelt werden, die eine Übergabe eines MT innerhalb der Zeitspanne, in der sich 2 Zellen überschneiden, realisieren. Dabei können unterschiedliche Arten des Handovers vorkommen, welche detailliert im Folgenden erläutert werden.

4.1 Harte und weiche Verbindungsübergabe

Bei einer harten Verbindungsübergabe wird, bevor auf den neuen Spot Beam umgeschaltet wird, die Verbindung unterbrochen. Daraus resultiert ein kurzer Verbindungsabbruch. Bei einer weichen Verbindungsübergabe ist das MT mit mehreren Antennen gleichzeitig verbunden. Erst wenn die neue Verbindung vollständig aufgebaut ist, wird die alte Verbindung unterbrochen. Diese Verbindungsübergabeart wird bei CDMA verwendet, während eine harte Verbindungsübergabe bei FDMA/TDMA benutzt wird.

4.2 Intra-Satelliten Übergabe

Da ein Satellit einen Footprint auf die Erde projiziert und zusätzlich diesem Footprint noch mehrere Spotbeams untergeordnet sind, welche die zellulare Struktur widerspiegeln, muss eine Intra-Satelliten Übergabe dann erfolgen, wenn ein MT sich von einer Zelle eines Satelliten in eine andere Zelle desselben Satelliten bewegt, bzw. der Satellit über das MT hinwegfliegt.

4.3 Inter-Satelliten Übergabe

Eine Inter-Satelliten Übergabe tritt auf, wenn sich ein MT in der letzten Zelle eines Satelliten befindet und als nächstes an eine neue Zelle eines anderen Satelliten übergeben werden muss. Da sich z.B. die 66 Satelliten des Iridium Systems auch auf unterschiedlichen Polarorbits bewegen (6 Orbits a 11 Satelliten) können sich zusätzlich folgende Verbindungsübergaben ereignen.

Intra- und Inter-Orbit Übergabe

Entspricht der Inter-Satelliten Übergabe, mit der Ausnahme, dass die Übergabe entweder innerhalb einer Orbitalbahn (Intra-Orbit Übergabe), oder von der aktuellen zur nächsten Orbitalbahn (Inter-Orbit Übergabe), stattfindet. Dabei ist zu bedenken, dass eine FES abwechselnd an zwei verschiedenen Orbitalbahnen angemeldet sein kann, denn durch die kreisrunden Ausleuchtungsgebiete müssen Satelliten auf benachbarten Orbitalbahnen aus der Phase sein, um eine möglichst gute Abdeckung zu erzielen (siehe Abbildung 14).

4.4 Inter-System Übergabe

Die Inter-System Übergabe stellt eine Übergabe eines Satellitensystems zu einem anderen, z.B. terrestrischen System dar. Es ist wünschenswert, dass eine solche Übergabe stattfindet, wenn terrestrische Netze wieder verfügbar werden, um Kosten zu sparen und die schnelleren Geschwindigkeiten auszunutzen. Zwar gibt es Dual Band Endgeräte, die zwischen verschiedenen terrestrischen Systemen ohne Verbindungsabbruch umschalten können, bei der Übergabe von einem Satellitensystem auf ein terrestrisches System ist dies jedoch noch nicht möglich. Es existieren zwar auch hier Mobilgeräte, die mit beiden Systemen arbeiten, jedoch muss die Verbindung bei einer Übergabe unterbrochen werden[14][1].

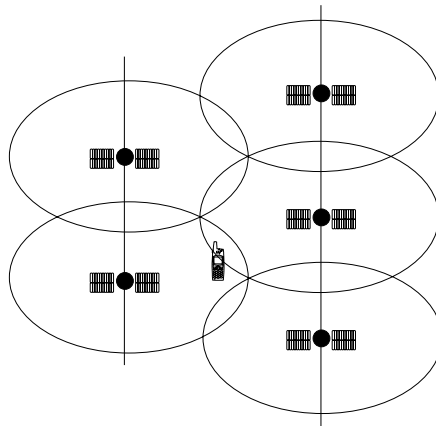


Fig. 14. phasenverschobene Orbitalbahnen

4.5 Initiierung der Verbindungsübergabe

Es existieren zwei verschiedene Möglichkeiten, welche Instanz die Verbindungsübergabe initiiert. Einerseits kann das MT alle nötigen Messungen, der z.B. Empfangsstärke des Signals und die Umschaltung auf eine andere Frequenz oder einen anderen Code durchführen, andererseits können diese Werte auch vom Netzwerk bereitgestellt werden, um das MT zu entlasten. In terrestrischen Systemen übernimmt das mobile Endgerät diese Aufgabe, um unnötigen Signalisierungsverkehr zu verhindern und Bandbreite zu sparen. Bei einem satellitengestützten System ist es sinnvoller, dem Netzwerk diese Aufgabe zu übertragen, weil hier verschiedenste Berechnungen in einer relativ kurzen Zeit durchgeführt werden müssen. Es wird hier Bandbreite gespart, indem Signale über den Verbindungswunsch, usw. nicht übertragen werden, sondern einfach vom Netzwerk durchgeführt werden. Erst wenn eine erfolgreiche Verbindungsübergabe durchgeführt wurde, wird dem MT über einen Signalisierungskanal mitgeteilt, die Frequenz bzw. den Code zu ändern.

4.6 Realisierung der Verbindungsübergabe

Da die Verbindungsübergabe in satellitengestützten Systemen zum Großteil vom Netzwerk übernommen wird, muss das Netzwerk alle nötigen Berechnungen ausführen. Befindet sich das MT in einem Überlappungsgebiet zweier Satellitenzellen, muss die Verbindungsübergabe initiiert werden. Hierzu ist es nötig, dass das Netzwerk Frequenzkanäle, oder Codes in der neuen Zelle für das mobile Endgerät reserviert. Es kann sein, dass in der nächsten Zelle alle Kanäle besetzt sind. Dies führt zu einer Blockierung, die Verbindung wird zeitweise unterbrochen. Um diese Blockierungen möglichst gering zu halten, gibt es mehrere Lösungsansätze[9] [10].

- *Verbindungsübergabe mit Warteschlange:* Hier werden blockierte Verbindungsübergabewünsche in einer Warteschlange gespeichert. Wird in der Zielzelle ein Kanal frei, so wird dem am längsten wartenden Verbindungsübergabewunsch ein Kanal zugeordnet.
- *Verbindungsübergabe mit Schutzkanälen:* Bei dieser Realisierung werden für jede Zelle eines Satelliten Schutzkanäle definiert, die im Normalfall nicht belegt werden dürfen. Kommt ein Verbindungsübergabewunsch und gibt es beim Zielsatelliten keinen freien Kanal, so kann dieser Kanal kurzzeitig für die Verbindungsübergabe genutzt werden. Wird dann ein regulärer Kanal frei wird die Verbindung dorthin übertragen.

Diese beiden Techniken der Senkung der Blockierungen können nicht für satellitengestützte LEO-Systeme verwendet werden, da sie nur geographisch einheitliche Netze beachten. Ausserdem wird nur die “Feste Kanal Reservierung” (FCA) für diese Techniken beachtet. Es müssen also zusätzliche Techniken die der Komplexität eines Satellitensystems entsprechen entwickelt werden. Ein Ansatz hierfür wird in [9] angeboten. Es wird die Technik der Verbindungsübergabe mit Schutzkanälen auf Satellitensysteme angepasst. Die Schutzkanäle mehrerer nebeneinander liegender Zellen werden dynamisch berechnet. Es werden also fortlaufend Simulationen über das zukünftige Verhalten der Teilnehmer einer Zelle berechnet. Hierfür werden Daten des HLR, die Geschwindigkeit des MT und die Bewegungsrichtung des MT benutzt. Damit ist auch klar, dass das Netz den genauen Aufenthaltsort des MT kennen muss, was dazu führt, dass bei dieser Strategie ein globales Positionierungssystem, z.B. GPS, zum Einsatz kommen muss. Alle diese Daten werden von einem Algorithmus verarbeitet und je nach Ergebnis eine bestimmte Anzahl von Schutzkanälen reserviert. Diese Technik ist bekannt unter dem Namen ADCA (Adaptive Dynamic Channel Allocation).

ADCA senkt signifikant das Blockieren von Verbindungsübergaben durch Zellwechsel, auf Kosten eines leichten Anstiegs des Blockierens von neu ankommenden Verbindungen.

5 TCP/IP über Satellitensysteme

Um ein Satellitensystem in der jetzigen Zeit attraktiv zu gestalten, ist es nötig, dass auch paketvermittelte Verbindungen, wie das Internet (TCP/IP) über Satelliten verteilt werden kann. Studien haben ergeben, dass die Nachfrage nach multimedialen Diensten über Satelliten stark steigen wird. Da große oder isolierte Gebiete zu erreichen sind, werden satellitengestützte Telekommunikationssysteme einen großen Anteil an den weltweiten multimedialen Diensten haben.

5.1 Probleme von TCP/IP in Satellitensystemen

Für einen effektiven Betrieb von TCP/IP über Satelliten sind GEO-Systeme zum Großteil nicht geeignet, denn sie haben eine lange Signalverzögerung von

500 ms. Dadurch sind sie für z.B. Echtzeitanwendungen nicht geeignet. Auch das Browsen im Internet würde zu lange dauern. Ein weiterer Punkt ist der Pfadverlust des Systems. Da die Satelliten in einer geostationären Umlaufbahn relativ weit von der Erdoberfläche entfernt sind, ist es nötig, Geräte mit hoher Leistung zur Sprachkommunikation einzusetzen, was dem Trend zu immer kleineren, multifunktionalen Geräten widerspricht. Schließlich können geostationäre Satelliten in höheren Breitengraden nur sehr eingeschränkt genutzt werden, was die totale globale Abdeckung unmöglich macht. Eine Lösung, die alle diese Nachteile behandelt ist ein LEO-System. Bei der Einführung eines solchen Systems entstehen jedoch weitere Probleme. Ein LEO-System mit seiner relativ hohen Anzahl an Satelliten und seinen Multiorbitalbahnen macht die Realisierung sehr teuer, und die Verwaltung sehr komplex. Außerdem existieren Charakteristiken von TCP, die nicht auf Satelliten bzw. auf die Luftschnittstelle zugeschnitten sind. Ursprünglich wurde TCP für fest vernetzte Systeme entwickelt. Es verfügt über eine “Langsam-Start-Phase”, d.h. das Protokoll kann nicht wissen, wie sehr das Medium, über welches gesendet wird ausgelastet ist[15][16]. Daraus resultiert ein inkrementelles Geschwindigkeitsverhalten. Am Anfang einer Verbindung wird die maximale Anzahl der unbestätigten Pakete, die der Sender auf dem Weg zum Empfänger haben kann auf 1 gesetzt. Mit jeder Bestätigung wird dieser Wert um 1 inkrementiert. Hieraus resultiert ein exponentielles Wachstum des Paketfensters (siehe Abbildung 15).

Erreicht das Paketfenster einen bestimmten Wert, so ist die “Langsam-Start-Phase” abgeschlossen und die Größe dieses Fensters wird nur noch linear inkrementiert. Kommt es vor, dass Pakete nicht bestätigt werden, wird das Paketfenster sofort auf die Hälfte reduziert. Beim nächsten Paketverlust wird das Fenster wieder auf 1 gesetzt. Bei langen Wegen dauert es relativ lange bis das Protokoll die volle Bandbreite ausschöpfen kann. Bedenkt man, dass bei HTTP nur kleine Pakete übermittelt werden, ist meistens schon die gesamte Anfrage abgeschlossen bevor die volle Ausnutzung der Bandbreite erreicht wird. Mehrere Lösungsansätze dieses Problems werden im Folgenden dargestellt[16].

5.2 Lösungsansätze für das Problem der “Langsam-Start-Phase”

Erhöhung der Größe des Anfangsfensters Bei diesem Lösungsansatz wird das Paketfenster am Anfang nicht mit dem Wert 1, sondern mit einem Wert zwischen 1 und 4 initialisiert, d.h. Es können bis zu 4 unbestätigte Pakete verschickt werden, ohne dass dies das Wachstumsverhalten der Verbindung beeinträchtigt. Trotzdem kann die Verzögerung in verschiedenen Systemen immer noch sehr hoch sein.

TCP spoofing Hier wird ein Router nahe des Senders benutzt, um Pakete, die passieren dem Sender zurückzumelden, so dass dem Sender die Illusion gegeben wird, es liege nur eine minimale Signalverzögerung vor. So kann die “Langsam-Start-Phase” schneller überbrückt werden, und so eine höhere Bandbreitenausnutzung erreicht werden. Dieses Verfahren wirft aber mehrere neue Probleme

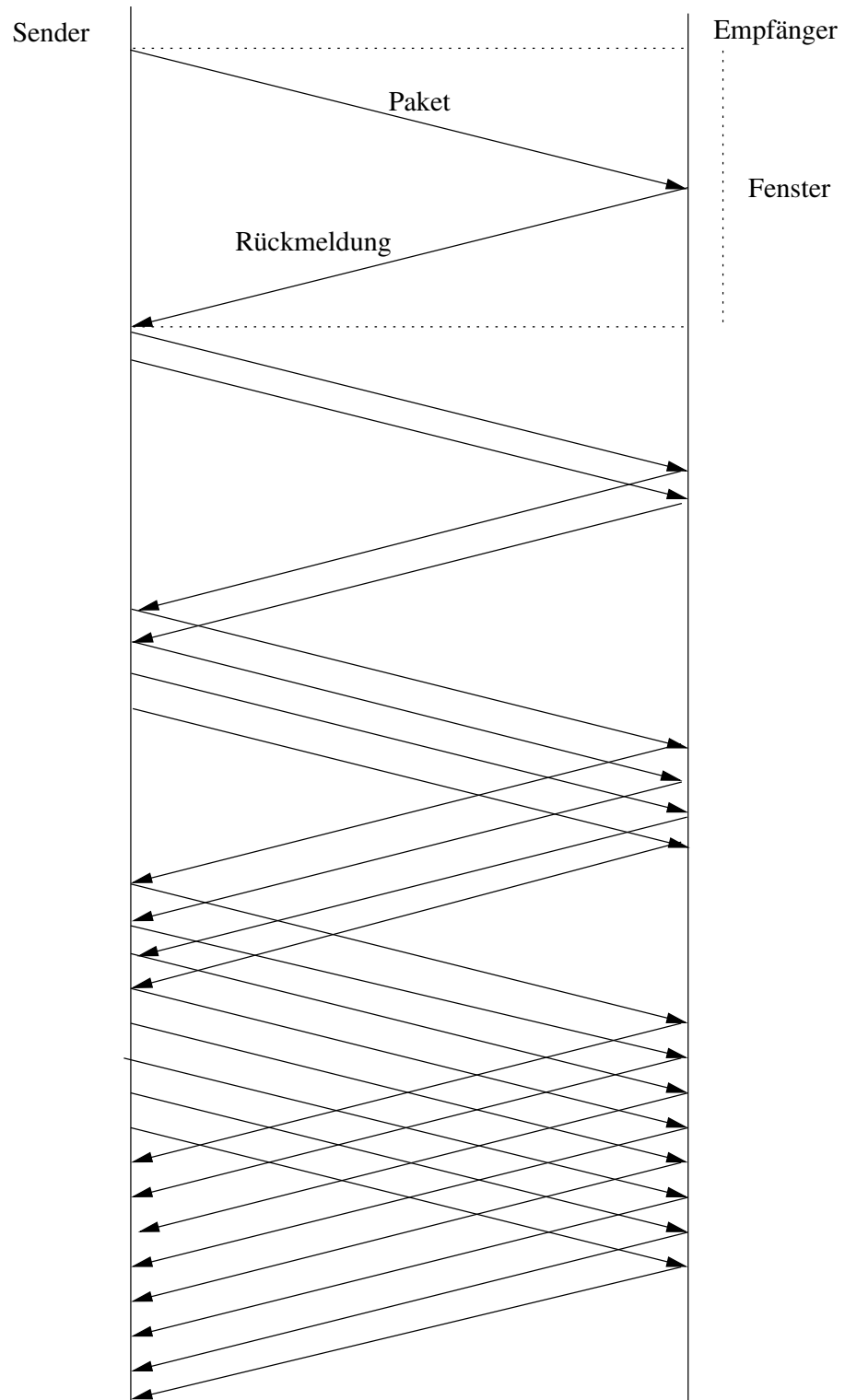


Fig. 15. Langsam-Start-Phase

auf. Der Router muss komplexer arbeiten, denn er ist dafür zuständig die Pakete korrekt zurückzumelden. Es muss derselbe Weg für die Hinrichtung, wie für die Rückrichtung benutzt werden, was bei “normalen” TCP-Verbindungen nicht der Fall ist. Falls der Router ausfällt können Daten verloren gehen.

split TCP Dieses Verfahren spaltet eine Verbindung in mehrere auf. Dieser Lösungsansatz hat die gleichen Probleme wie TCP spoofing. Einzige Ausnahme: Hier muss nicht derselbe Weg genommen werden.

Schnell-Start Der “Schnell-Start” Algorithmus wird für Web Transfers benutzt. Es wird versucht dieselbe Übertragungsrate zu benutzen, die bei vorheriger Verbindung verwendet wurde. Es kann passieren, dass diese Übertragungsrate für die neue Verbindung zu schnell ist, und deswegen wird die neue Verbindung gebremst. Aus diesem Grund werden die Pakete während der “Schnell-Start-Phase” von IP Paketen mit niedriger Priorität getragen. Dadurch wird der Durchsatz für Pakete mit höherer Priorität nicht beeinflusst. Jedoch ergeben sich auch hier neue Probleme. Werden die Daten in Paketen mit niedriger Priorität transportiert ist es wahrscheinlicher, dass Daten verloren gehen, da diese nicht als wichtig angesehen werden. Der Sender muss also mit verbesserten Wiederherstellungsstrategien für verlorene Pakete arbeiten. Um die kurz vorher benutzte Übertragungsrate wiederum ausnutzen zu können ist es notwendig, dass Sender und Empfänger Dieselben sind, was meistens nicht der Realität entspricht.

Ein weiteres Problem besteht im Verlust von Daten über die Luftschnittstelle. Während bei festen Leitungen zum Großteil Bitfehler auftreten, wenn die Leitung überlastet ist, sind bei der Luftschnittstelle eines Satelliten Bitfehlerreihen, z.B. durch Zerstreuung des Signals an Objekten, wahrscheinlicher. Das TCP nimmt an, dass das Medium überlastet ist, und verringert die Übertragungsgeschwindigkeit. Da bei Satellitenverbindungen oft solche Bitfehlerreihen vorkommen wird die optimale Ausnutzung der Bandbreite relativ selten erreicht. Zusammenfassend ist zu sagen, dass es Möglichkeiten gibt über Satellitensysteme paketvermittelte Dienste, wie TCP/IP, bereitzustellen. Jedoch müssen zusätzlich Anpassungen dieses Protokolls durchgeführt werden, die die Charakteristiken eines satellitengestützten Systems einschließen, um eine optimale Leistung zu erzielen.

6 Ausblick

Es zeigt sich, dass in den letzten Jahren und in naher Zukunft Satellitensysteme zur globalen mobilen Telekommunikation immer mehr an Wichtigkeit gewinnen. Infrastrukturell schwache oder schwer zugängliche Gebiete können so an eine weltweite Kommunikation angebunden werden. Eine besondere Stellung werden hier die LEO-Satellitensysteme einnehmen. Mit ihren kurzen Verzögerungszeiten und ihrer Nähe zur Erdoberfläche, können diese Systeme mit den terrestrischen Systemen konkurrieren bzw. sie ergänzen. Das Ziel solcher LEO-Systeme ist nicht

mehr alleine die globale Abdeckung, sondern zusätzlich die Bereitstellung breitbandiger mobiler Dienste für Multimedia, wie Internet, Video Konferenz oder anderer paketvermittelter Dienste. Ein Ansatz zur Einführung solcher Systeme ist z.B. Iridium. Eines der größten Probleme solcher Systeme stellen die meist noch zu hohen Preise dar. Nur wenn es gelingt, die Preise den terrestrischen Systemen nahezu anzupassen, wird ein satellitengestütztes System überlebensfähig. In der nächsten Generation (4G) wird versucht werden, Satellitensysteme und terrestrische Systeme zu verschmelzen und über eine einheitliche Instanz zu verwalten. Auch wird es Anstrengungen geben, mobile Endgeräte multifunktionaler zu gestalten, und so eine komplette Vernetzung aller prozessorgesteuerten Geräte durchzuführen. Hierfür müssen noch zahlreiche Probleme der jetzigen Systeme, wie Inter-System Übergabe, gelöst werden. Hieraus ergibt sich, dass die Globalisierung in politischer, wie auch in gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Form voranschreiten muss. Ohne diese Änderungen in allen Bereichen unseres gesellschaftlichen Lebens wird der Erfolg von globalen Telekommunikationssystemen ausbleiben.

References

1. J. Schiller, "Mobilkommunikation, Techniken für das allgegenwärtige Internet," *Addison-Wesley*, 2000, S.[205-225].
2. Werner/ Kantorek, "Satelliten-Mobildienste, Möglichkeiten und praktische Anwendungen des mobilen Satellitenfunks," *Franzis-Verlag München*, 1993, S.24ff.
3. D.Roddy, "Satellitenkommunikation, Grundlagen - Satelliten - Übertragungssysteme," *Hanser & Prentice-Hall*, 1991, S20ff.
4. ICO, Systembeschreibung, 2003, <<http://www.ico.com>>.
5. Ellipso, Systembeschreibung, 2003, <<http://www.ellipso.com>>.
6. Prof.R.Klaus,Skript, <http://www-t.zhwin.ch/it/kt/Unterrichtskonzept_KT_fuer_IT.html>.
7. William Stallings, "Wireless Communications and Networks," *Prentice Hall*, 2001, S.[256-282].
8. Janise McNair, "Localisation Registration and Paging in Mobile Satallite Systems," in *Proc. of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '00)*, Juli 2000.
9. S. Cho, "Adaptive Dynamic Channel Allocation Scheme for Spotbeam Handover in LEO Satallite Networks," in *Proc. of IEEE VTC 2000*, Boston, USA, September 2000.
10. Sungrae Cho, Ian F. Akyildiz, Michael D. Bender, Hüseyin Uzunalioglu, "A New Spotbeam Handover Technique for LEO Satellite Networks," in *Proc. of IEEE*

GLOBECOM 2000, San Francisco, USA, S. [1156-1160], November 2000.

11. A El-Hoiyidi, R J Finean, F da Costa, M Dinis, A Saidi, B Vazvan, " Mobility Management in the Satalitte Access Networks to UMTS," August 1995.
12. Erich Lutz, Issues in satallite personal communication systems," *ACM/Balzer Journal of Wireless Networks*, vol 4, no. 2, S.[109-124], Februar 1998.
13. Fulvio Ananasso, Francesco Delli Priscoli, " Satellite systems for personal communication networks," *ACM Wireless Networks*, Vol. 4, 1998, S.[155- 165].
14. Paul Grosser, "Research Proposal," *University of South Australia*, 1999.
15. Yotsapak Chotikapong, Haitham Cruickshank, Zhili Sun, "Evaluation of TCP and Internet Traffic via Low Earth Orbit Satellites," *IEEE Personal Communications, The Magazine Of Wireless Communications And Networking*, Vol. 8 No. 3, Juni 2001.
16. Ian F. Akyildiz, "Research Issues for Transport Protocols in Satellite IP Networks," *IEEE Personal Communications, The Magazine Of Wireless Communications And Networking*, Vol. 8 No. 3, Juni 2001.