

Fachhochschule Wedel

WI-Seminar (Informatik)

Thema Nr. 5

Satellitensysteme

Eingereicht von: Axel Schöning
Eilenau 124
22089 Hamburg

Erarbeitet im: 8. Semester

Fachrichtung: Wirtschaftsinformatik

Abgegeben am: 22. November 2004

Referent: Prof. Dr. Sebastian Iwanowski
Fachhochschule Wedel
Feldstraße 143
22880 Wedel
Tel. (04103) 8048-63

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Gang der Untersuchung	2
2 Geschichte der Satellitentechnik	3
2.1 Die Anfänge	3
2.2 Meilensteine der Satellitentechnik	4
3 Grundlagen der Satellitentechnik	8
3.1 Die physikalischen Anforderungen	8
3.2 Trägerraketen	9
3.3 Himmelsmechanik	11
3.3.1 Die Keplerschen Gesetze	11
3.3.2 Die Geschwindigkeiten	11
3.4 Begriffe	14
3.4.1 Inklination	14
3.4.2 Perigäum und Apogäum	15
3.4.3 Elevation	15
3.4.4 Footprint	16
3.5 Signalparameter	16
3.6 Signaldämpfungen	17
3.7 Sendeleistungen	18
4 Satellitenumlaufbahnen	18
4.1 Der geostationäre Orbit (GEO)	19
4.2 Niedrig fliegende Satelliten (LEO)	20
4.3 Satelliten auf einem mittleren Orbit (MEO)	21
4.4 Der hochelliptische Orbit (HEO)	21
4.5 Der polare Orbit	21
5 Anwendungsbereiche von Satellitensystemen	22
5.1 Wetterbeobachtung	22
5.2 Radio- und Fernsehrundfunk	23
5.3 Navigation und Positionsbestimmung	24
6 Iridium	26
Literaturverzeichnis	A

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Satellit Eutelsat W3A (2004).....	1
Abb. 2: Der sowjetische Satellit Sputnik 1 (1957)	4
Abb. 3: Der erste US-amerikanische Satellit Explorer 1 (1958)	5
Abb. 4: Telstar 1 (1962)	6
Abb. 5: (l.) Ariane 5 (Europa); (m.) Delta 4M (USA); (r.) Proton K (Russland).....	10
Abb. 6: Die Keplerschen Gesetze	11
Abb. 7: Gestalten eines Orbits	14
Abb. 8: Die Inklination eines Satelliten.....	14
Abb. 9: Perigäum und Apogäum eines Orbits.....	15
Abb. 10: Die Elevation eines Satelliten	15
Abb. 11: Der Footprint eines Satelliten	16
Abb. 12: Die Frequenzbereiche der Satellitentechnik.....	16
Abb. 13: Die Frequenzbereiche von Up- und Downlinks	17
Abb. 14: Signaldämpfung durch die Erdatmosphäre	17
Abb. 15: Die Satellitenorbits.....	18
Abb. 16: Der geostationäre Orbit	19
Abb. 17: Der low earth orbit	20
Abb. 18: Der hochelliptische Orbit.....	21
Abb. 19: Der polare Orbit	22
Abb. 20: (l.) Hurrikan Ivan 09/04; (r.) Wetterlage Europa (15.11.04)	22
Abb. 21: (l.) Fernmeldesatelliten; (r.) Direktsatelliten	23
Abb. 22: (l.) Die LEOs des Iridiumnetzes; (r.) ein Iridium-Satellit.....	27

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
i.d.R.	in der Regel
sog.	so genannt
u.a.	unter anderem
ca.	cirka

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Satellitensysteme¹ sind in den letzten Jahrzehnten seit dem zweiten Weltkrieg zu einer der Schlüsseltechnologien der Neuzeit geworden. Aus einfachsten Konstruktionen, die oft nur einen basisexperimentellen Charakter besaßen, entwickelten sich produktive und operative High-Tech-Systeme, die essentielle und globale Aufgaben erfüllen. Die Leistungssteigerung der Technologie lässt sich mit der Entwicklung des Personal Computers seit Beginn der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts vergleichen.



Abb. 1: Satellit Eutelsat W3A (2004)

Satelliten werden in vielen Bereichen eingesetzt. Für die Forschung, die Wetterbeobachtung, den Fernseh-/Rundfunk und der Telekommunikation aber auch für das Militär sind sie unverzichtbare, strategische Werkzeuge geworden. Insbesondere ihre Aufgabe als Kommunikationsplattform rechtfertigen die Anstrengungen, die mit einem Satellitenprojekt verbunden sind.

Satellitensysteme bieten den großen Vorteil, mit einem relativ geringen technischen Aufwand eine große funktechnische Abdeckung der Erdoberfläche zu erzielen. So deckt ein entsprechend dimensionierter Satellit auf einer speziellen Umlaufbahn etwa ein Drittel der Erdoberfläche ab. Um gleiche Ergebnisse auf Basis von terrestrischer Infrastruktur zu erzielen, müssten unverhältnismäßig umfangreiche Investitionen getätigt werden. Oftmals

¹ „Satellit“ vom lateinischen „satelles“: Leibwächter

erweist sich die Satellitentechnologie in bestimmten Regionen der Erde als überhaupt einzig mögliche Kommunikationslösung.

Allerdings sind die gewünschten Ergebnisse, die ein Satellitensystem erzielen soll, immer in Relation zum erwarteten Aufwand zu betrachten, denn bei der Konstruktion und dem Betrieb eines Satellitensystems müssen besondere Umstände von physikalischer und technischer Natur beachtet werden, die die Kosten in die Höhe treiben.

1.2 Gang der Untersuchung

Diese Arbeit möchte zum einen allgemeine Grundlagen zu Satellitensystemen vorstellen und erläutern. Im weiteren werden exemplarische Einsatzgebiete genannt. Detailliert soll hier Iridium, ein Anbieter für mobile Satellitenkommunikation, vorgestellt werden.

2 Geschichte der Satellitentechnik

2.1 Die Anfänge

Die moderne Satellitentechnologie nahm ihren Anfang nach dem zweiten Weltkrieg mit der Aufnahme von Raumfahrtprogrammen. Der Schriftsteller und Physiker Arthur C. Clarke erwähnte bereits 1945 den Gedanken, dass Satelliten zur Kommunikation in einem sog. geostationären Orbit² positioniert werden könnten (Extra-Terrestrial Relays³).⁴

Mit den Grundlagen der Raketentechnologie, die die Nationalsozialisten im Rahmen ihres sog. „Wunderwaffen“-Programms schufen (Aggregat-Reihe, Wernher von Braun)⁵, und die nach der Befreiung Europas von den Alliierten Nationen übernommen und weiterentwickelt worden sind, wurde eine wesentliche Basis für den Einsatz von Satellitensystemen geschaffen.

Die hauptsächlich militärischen Anstrengungen der USA und der UdSSR, die sich aus dem Konfliktpotential des Kalten Krieges ergaben, führten dann zu ersten Ergebnissen. Im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres kündigte der US-Präsident Dwight D. Eisenhower am 28. Juli 1955 das zivile Programm Vanguard an, das erstmals Satelliten zu Forschungszwecken vorsah. Daraufhin reagierte die Sowjetunion vier Tage später mit einem eigenen Satellitenprojekt.⁶ Mit dem Start des ersten, künstlichen Erdsatelliten Sputnik 1⁷ am 04. Oktober 1957 gewann die UdSSR den Wettlauf um den ersten künstlichen Erdtrabanten im Weltall.

Sputnik 1 war kugelförmig, im Durchmesser 58 cm groß und knapp 83 kg schwer. Er flog auf einem elliptischen Orbit um die Erde (Schwankung zwischen ca. 230 und 1.000 km)⁸ innerhalb von 96 Minuten. Nach 96 Tage verglühte er in der Erdatmosphäre.⁹

² „Orbit“: die Umlaufbahn eines Objektes um einen Himmelskörper (Wikipedia)

³ Vgl. http://lakdiva.org/clarke/1945ww/1945ww_oct_305-308.html

⁴ Vgl. <http://www.lsi.usp.br/~rbianchi/clarke/>

⁵ Vgl. <http://www.raumfahrtgeschichte.de/space1/peenemuende1.htm>

⁶ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Vanguard-Projekt>

⁷ „Sputnik“, russ.: Gefährte

⁸ Vgl. <http://www.schlaubi.de/geschichte/weltraum/weltraum.html>

⁹ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Sputnik>



Abb. 2: Der sowjetische Satellit Sputnik 1 (1957)

Der technische Erfolg der Sowjetunion und die Tatsache, dass die Signale Sputniks, ein 23 Tage dauerndes „Piepsen“¹⁰, weltweit empfangen werden konnten, führte zu einem Bedrohungsgefühl in der westlichen Welt, dem sog. Sputnikschock. Der technische Fortschritt der UdSSR bewies, dass der Westen durch (atomare) sowjetische Interkontinentalraketen erreicht werden konnte. Dieser Umstand führte u.a. zu verstärkten Maßnahmen im Bildungs- und Forschungssektor. Des weiteren wurde im Oktober 1958 die US-amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde NASA (National Aeronautics and Space Administration) gegründet¹¹, um die Anstrengungen beim Wettlauf um die Eroberung des Weltalls zu bündeln und zu stärken.¹²

Im folgenden werden exemplarisch weitere, wichtige historische Projekte der Satellitentechnik vorgestellt. Dabei wird der Fokus vornehmlich auf die westlichen Satellitenkommunikationssysteme ausgerichtet, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung heutiger Satellitensysteme besaßen.

2.2 Meilensteine der Satellitentechnik

Der erste erfolgreiche US-amerikanische Satellit war Explorer 1. Gestartet im Januar 1958 besaß er bereits wissenschaftliches Instrumentarium an Bord und umkreiste die Erde auf einem elliptischen Orbit in einer Höhe von ca. 350 bis 2.500 km innerhalb von knapp zwei

¹⁰ Vgl. <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/sputnik/index.html>

¹¹ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/NASA>

¹² Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Sputnikschock>

Stunden bei einem Gewicht von 14 kg und einer Länge etwa 100 cm. Er operierte bis Mai 1958 und verglüht 1970 in der Erdatmosphäre.¹³

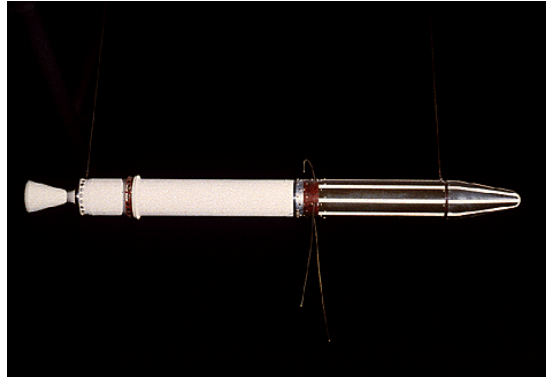


Abb. 3: Der erste US-amerikanische Satellit Explorer 1 (1958)

Der erste erwähnenswerte Kommunikationssatellit war das US-amerikanische System Echo 1A von 1960. Es handelte sich um einen passiven Kommunikationssatelliten, der in seinem Orbit in Höhe von ca. 1.500 km auf einen Durchmesser von 30,5 m aufgeblasen wurde. An seiner Oberfläche, aluminiumbeschichtetes Mylar, wurden Radiosignale reflektiert und zur Erde zurückgeworfen.¹⁴

Eines der ersten aktiven Kommunikationssysteme war der experimentelle Telstar 1. AT&T entwickelte Anfang der sechziger Jahre ein globales Satellitennetzwerk, mit dem eine weltweite Kommunikation ermöglicht werden sollte. Telstar 1 (1962) war in der Lage, entweder einen Fernsehkanal oder alternativ 500 Telefongespräche zu übertragen. Dabei empfing er die Signale, verstärkte sie und sendete sie über das Zielgebiet wieder aus.¹⁵ Das Telstar-Netz der AT&T ging allerdings aus politischen Gründen nie in Produktion und es blieb bei den experimentellen Satellitenprototypen.¹⁶

¹³ Vgl. <http://www.jpl.nasa.gov/missions/past/explorer.html>

¹⁴ Vgl. <http://msl.jpl.nasa.gov/QuickLooks/echoQL.html>

¹⁵ Vgl. <http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=149245>

¹⁶ Vgl. <http://roland.lerc.nasa.gov/~dglover/sat/telstar.html>

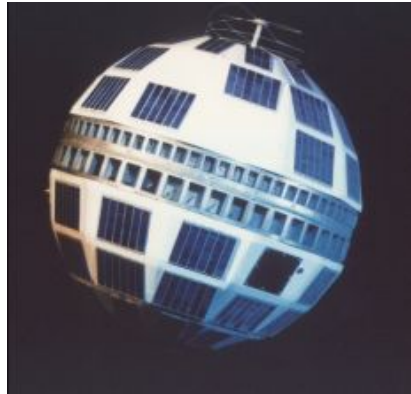


Abb. 4: Telstar 1 (1962)

Der allgemeine Nachteil dieser Kommunikationssatelliten bestand darin, dass sie sich in ihrem Orbit relativ schnell um die Erde bewegten. Sie ermöglichten nur ein kleines zeitliches Sendefenster zur Übertragung, und eine Kommunikation wurde nach einer gewissen Zeit wieder unterbrochen. Telstar 1 sendete z.B. maximal 102 Minuten am Stück. Erst mit der Positionierung von Satelliten in einem geosynchronen bzw. geostationären Orbit ließen sich diese Probleme umgehen.¹⁷

Mit der Syncom-Serie (1963) wurden die ersten geosynchronen bzw. geostationären Kommunikationssatelliten im All positioniert. Syncom 3 übertrug z.B. 1964 die Olympischen Spiele aus Tokio und übernahm später im Zuge des Vietnamkriegs ab 1965 die Kommunikation für das US-Verteidigungsministerium.¹⁸

Die ersten zum Teil kommerziellen, zum Teil militärischen Kommunikationsdienste wurden für die Seefahrt angeboten. Hier bestand eine dringende Notwendigkeit eines mobilen Satellitendienstes, da es zu großen Lücken in der Kommunikationsübertragung kam. Teilweise konnten Reeder bzw. Eigner mit ihrem Schiff bis zu 48 Stunden keinen Kontakt aufnehmen, und Nachrichten verzögerten sich um bis zu 12 Stunden. Bestehend aus drei Satelliten, die über den Ozeanen (Atlantik, Pazifik, Indik) installiert wurden, wurde 1976 das Marisat-System in einem geosynchronen Orbit installiert. Marisat bot auf drei Frequenzbändern Sprach-, Daten- und Faxübertragungen.¹⁹

¹⁷ Vgl. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/50145>

¹⁸ Vgl. <http://space.skyrocket.de/> (Suche nach „Syncom“)

¹⁹ Vgl. <http://www.boeing.com/defense-space/space/bss/factsheets/376/marisat/marisat.html>

Im Jahr 1982 etablierte sich der Anbieter Inmarsat mit seinen Mobildiensten, der auch heute noch ein breites Kommunikationsdienstespektrum anbietet. Inmarsats Mobildienst A wurde damals ebenfalls für den maritimen Sektor installiert und bot leitungsvermittelte, duplexfähige Satelliten-Telefonverbindungen und Datenübertragungen. Die Satelliten, momentan vier operative, sind in einem geostationären Orbit positioniert. Die Mobilgeräte sind relativ groß dimensioniert, da aufgrund der Entfernung zu den Satelliten u.a. eine hohe Sendeleistung aufgebracht werden muss. Inmarsat öffnete sich mittlerweile auch für die Landkommunikation und bietet erweiterte, digitale Dienste an.²⁰

Das erste mobile, weltweit erreichbare Satellitenkommunikationssystem wurde Anfang der neunziger Jahre vom Konsortium Iridium konzipiert und ging mit einem Satellitennetz 1998 in Betrieb. Da aber eine gewaltige Schieflage zwischen Marktprognosen und der Realität auftrat, musste Iridium Anfang 2000 hoch verschuldet den Betrieb einstellen. Mittlerweile fanden sich neue Geldgeber und Iridium ging Anfang 2001 in einen „relaunch“. Weitere Details zum Satellitennetz Iridium folgen in dieser Arbeit.²¹

Neben Iridium existieren weitere Netze, die eine mobile Kommunikation über Satellitennetze mit kleinen Endgeräten anbieten, wie etwa Globalstar (Start 1999) oder Thuraya (Start 2001). Diese allerdings bieten im Gegensatz zu Iridium nur eine regionale Abdeckung.²²

Momentan gehen Schätzungen von etwa 1.000 aktiven Satelliten in Orbits um die Erde aus. Davon sind ca. 90% Radio- und Fernsehsatelliten. Satellitensysteme eröffnen in kommerzieller Hinsicht lukrative Märkte, allerdings verdeutlichen Negativbeispiele wie Iridium oder auch Globalstar die Notwendigkeit eines fundierten Betreiberkonzeptes. Die Anfangsinvestitionen sind hoch, so dass ein Misserfolg aufgrund Fehlplanungen oder kleinen technischen Defekten schnell zum Bankrott führen kann.

²⁰ Vgl. <http://www.tk-fachbegriffe.de/index.php?dba=Inmarsat-A&a=1>

²¹ Vgl. Abschnitt 6, Iridium

²² Vgl. <http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html>

3 Grundlagen der Satellitentechnik

3.1 Die physikalischen Anforderungen

Zur Etablierung eines Satellitensystems in einem stabilen Orbit um die Erde müssen besondere Aspekte beachtet werden, die sich maßgeblich auf die Kosten auswirken.

Als aufwendig erweist sich der Start eines Satelliten. Ein ausreichend dimensioniertes Transportsystem mit einer Nutzlast größer bzw. gleich dem Gewicht des Satelliten muss den notwendigen Schub aufbringen, um die Schwerkraft der Erde zu überwinden. Dabei darf dieser Schub nicht zu stark gewählt werden, da sonst die empfindliche Technik des Satellitensystems leidet. Es ist weniger die Beschleunigung des Starts, bei modernen Systemen unter 4 g (4fache des Eigengewichts an der Erdoberfläche)²³, die sich negativ auf den Satelliten auswirkt, als vielmehr die Vibrationskräfte und der Lärm der Triebwerke, die durch die Verbrennung der extrem großer Mengen an Treibstoff entstehen.²⁴

Ist der Satellit erst einmal in seinem Orbit installiert, wirken dort extreme Kräfte. So hat das Vakuum einen Einfluss auf alles, was flüssig ist oder verdampfen kann. Schmiermittel sind für mechanische Teile nicht zu verwenden und werden z.B. durch Teflon ausgetauscht. Auch eine Wärmeableitung bei elektrischen bzw. elektronischen Bauteilen kann nicht durch Konvektion erfolgen, sondern muss durch Abstrahlung bzw. Ableitung ersetzt werden.

Die Temperaturschwankungen aufgrund der Sonneneinstrahlung liegen je nach Orbit des Satelliten bei -170° bis 120° Celsius. Diese Extrema müssen abgeleitet bzw. reflektiert werden, um die Belastung des Materials zu minimieren. Die auf einen Satelliten einwirkende Strahlung (solare, UV- und kosmische Strahlung) hat einen rapiden Einfluss auf die Alterung der Werkstoffe.²⁵

Der sog. Weltraummüll erweist sich zunehmend als Gefahrenquelle für Systeme in der Erdumlaufbahn. Dabei sind es insbesondere die kleinen Teile, die z.B. bei der Explosion eines Satelliten oder einer Raketenstufe entstehen. Sie können bei einem Aufprall zu einer Totalzerstörung führen. Weltraummüll kann im geostationären Orbit eine Bahn über

²³ Vgl. <http://www.bernd-leitenberger.de/umgebungsbedingungen.html>

²⁴ Vgl. ebenda: aufbau-der-satelliten.html

²⁵ Vgl. ebenda: umgebungsbedingungen.html

Millionen von Jahren halten. Um Schrott zu vermeiden, werden die Raketenstufen bzw. Satelliten i.d.R. nach Benutzung in die Erdatmosphäre zurückmanövriert, um sie dort gezielt abstürzen zu lassen.

Satelliten in einem niedrigen Orbit um die Erde sind noch einer aggressiven Restatmosphäre ausgesetzt, die die Oberfläche angreift und zersetzt. Auch wirkt eine Restreibung vor, der man mit Bahnkorrekturen begegnen muss, um einen Absturz zu vermeiden.

Entscheidend für die operationale Lebensdauer eines Satelliten ist zum einen eine robuste Technik und Materialwahl, die allen Anforderungen genügt und entsprechend im Vorfeld getestet werden muss. Technische Defekte können, sobald das System gestartet wurde, nicht mehr direkt gelöst werden. Des Weiteren beeinflusst der zur Verfügung stehende Treibstoff für Kurskorrekturen, durch eine Nutzlastgrenze beim Start limitiert, die Lebenszeit, die bei modernen Satelliten mit 10 bis 15 Jahren angesetzt wird.²⁶

Dieser Überblick zeigt ansatzweise, welche Aspekte bei einem Satellitensystem zum tragen kommen und erklärt die daraus resultierenden hohen Kosten der Entwicklung und der Implementierung gegenüber terrestrischen Systemen.

3.2 Trägerraketen

Aufgrund ihrer Kosten, die pro Start bei ca. 70 bis 90 Millionen US-Dollar, je nach System und Last,²⁷ betragen, werden Trägersysteme i.d.R. von großen Konsortien oder Behörden entwickelt und angeboten.

Bis 1979 beförderte ausschließlich die US-Behörde NASA für westliche Industrienationen kommerzielle Satelliten ins Weltall, die darüber hinaus auch in den USA gekauft werden mussten.²⁸ So sicherte man sich einen äußerst lukrativen Markt. Um sich aus dieser Abhängigkeit zu lösen, begannen die Europäer 1973 ein marktreifes Konkurrenzsystem zu entwickeln, das Ariane-Programm. Am 24. Dezember 1979 wurde Ariane 1 im dritten

²⁶ Vgl. <http://www.bernd-leitenberger.de/umgebungsbedingungen.html>

²⁷ Vgl. ebenda: proton.html

²⁸ Vgl. ebenda: kommrak1.html

Anlauf erfolgreich gestartet.²⁹ Das aktuelle System ist die Ariane 5 mit einer Nutzlast von 6,8 t (geostationärer Orbit).³⁰

Ein US-amerikanisches System ist z.B. die Delta 4 Medium von Boeing, die bis zu 6,5 t in einen geostationären Orbit trägt.³¹ Nach dem Wegfall des Eisernen Vorhanges und den Fortschritten Chinas in der Weltraumforschung, ergibt sich eine neue Konkurrenzsituation für die USA und Europa. Dortige Starts, z.B. mit der russischen Proton-³² oder der chinesischen „Langer Marsch“-Trägerrakete³³, werden zu Dumpingpreisen angeboten (oft auf Kosten der Sicherheit), die insbesondere kommerzielle Satellitenbetreiber nutzen.³⁴



Abb. 5: (l.) Ariane 5 (Europa); (m.) Delta 4M (USA); (r.) Proton K (Russland)

²⁹ Vgl. <http://www.bernd-leitenberger.de/ariane.html>

³⁰ Vgl. ebenda: ariane5.html

³¹ Vgl. ebenda: delta-1000.html

³² Vgl. ebenda: proton.html

³³ Vgl. ebenda: chinesische-traegerraketen.html

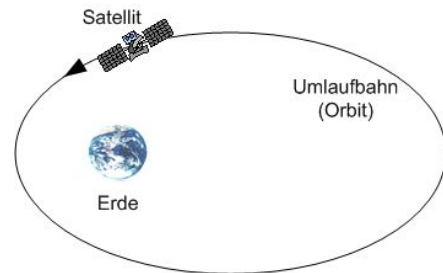
³⁴ Vgl. ebenda: ariane5.html

3.3 Himmelsmechanik

3.3.1 Die Keplerschen Gesetze

Die Bewegungen eines Satelliten auf seinem Orbit gehorchen den drei Keplerschen Gesetzen, die zwischen 1609 und 1619 von dem Astronomen Johannes Kepler veröffentlicht worden sind.³⁵

Das Erste Keplersche Gesetz, dem Gesetz der Gestalt der Bahn, beschreibt, dass sich Planetoiden, also auch Satelliten, auf Ellipsen um eine Zentralkraft in einem der beiden Brennpunkte bewegen.



Das Zweite Keplersche Gesetz, dem Gesetz der Fläche, besagt, dass der Leitstrahl (Linie Erde-Satellit) stets in gleicher Zeit die gleiche Fläche überstreicht. So ist Geschwindigkeit in der Nähe der Zentralkraft höher als in der Ferne.

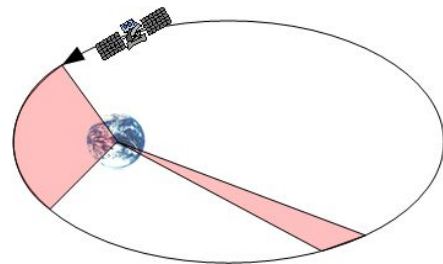


Abb. 6: Die Keplerschen Gesetze

Das Dritte Keplersche Gesetz, das Gesetz der Umlaufzeiten, besagt, dass erdnähere Objekte eine höhere Bahngeschwindigkeit besitzen als erdfernere.³⁶ Aufgrund dieser Gesetzmäßigkeiten lassen sich Umlaufbahnen der Satelliten näherungsweise beschreiben.

3.3.2 Die Geschwindigkeiten

Damit ein Satellitensystem seinen Orbit, also seine Umlaufbahn um die Erde, halten kann, muss er eine bestimmte Geschwindigkeit aufweisen. Nach den Keplerschen Gesetzen ist die Umlaufbahn des Satelliten abhängig von der Gravitation der Erde, die der Satellit umkreist.

Wird eine zu niedrige Geschwindigkeit für den Satellit gewählt, so stürzt dieser aufgrund der Gravitation der Erde ab. Weist der Satellit hingegen eine zu hohe Geschwindigkeit auf, so

³⁵ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Keplersche_Gesetze

³⁶ Vgl. http://drfreund.bei.t-online.de/astronomy_kepler.htm

verlässt er das Gravitationsfeld der Erde. Für einen stabilen Orbit muss also eine Geschwindigkeit innerhalb dieser Grenzen eingehalten werden.³⁷

Die Geschwindigkeit, mit der gerade ein stabiler Orbit um eine Gravitationsquelle gehalten werden kann, also kein Absturz erfolgt, ist die Erste kosmische Geschwindigkeit. Sie wird berechnet, indem die Zentrifugalkraft (Fliehkraft) eines Objektes (Satellit) gleich der Gravitationskraft des zu umkreisenden Körpers (Erde) gesetzt wird.³⁸

$$\text{Zentrifugalkraft (Fliehkraft)} \quad F_z = \frac{m \times v_1^2}{r}$$

$$\text{Anziehungskraft} \quad F_g = m \times g$$

mit: r *der Abstand vom Mittelpunkt der Gravitationsquelle*
 g *die Gravitationsbeschleunigung*
 (an der Erdoberfläche 9,81 m/s²)
 m *die Masse des Satelliten*
 v_1 *die Erste Kosmische Geschwindigkeit*

Gleichgesetzt lässt sich nach v_1 auflösen:

$$\frac{m \times v_1^2}{r} = m \times g \Leftrightarrow v_1 = \sqrt{g \times r}$$

Bei eingesetzten Werten (Erdoberfläche: $r = 6.370 \text{ km}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$) ergibt sich:

$$v_1 \approx 7.905 \frac{m}{s}$$

Diese Erste Kosmische Geschwindigkeit von knapp 8 km/s gilt für die Erdoberfläche mit $r = 6.370 \text{ km}$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Bei zunehmender Entfernung nimmt die Gravitationskraft g ab, woraus folgt, dass die notwendige Mindestgeschwindigkeit sinkt.

³⁷ Vgl. <http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/11/satellit/satelliten.htm>

³⁸ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmische_Geschwindigkeit

Ergänzend sei hier die Formel zur Berechnung von g angegeben:

$$\text{Gravitationsbeschleunigung} \quad g = \frac{G \times M}{r^2}$$

mit: g die Gravitationsbeschleunigung
 G die Gravitationskonstante³⁹: $(6,673 \pm 0,001) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg s}^2$
 M die Masse der Gravitationsquelle
(Masse der Erde = $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$)

Die Geschwindigkeit, ab der man ein Gravitationsfeld verlässt, ist die sog. Zweite Kosmische Geschwindigkeit. Sie wird berechnet, indem die Formel der Kinetischen Energie eines Objektes mit der Formel der potentiellen Energie der Gravitation gleichgesetzt wird.⁴⁰

$$\text{Kinetische Energie eines Objektes} \quad E_{kin} = \frac{m \times v_2^2}{2}$$

$$\text{Potenzielle Energie der Gravitation} \quad E_g = \frac{G \times M \times m}{r}$$

mit: r der Abstand vom Mittelpunkt der Gravitationsquelle
 G die Gravitationskonstante
 M die Masse der Gravitationsquelle
 m die Masse des Satelliten
 v_2 die Zweite Kosmische Geschwindigkeit

Gleichgesetzt lässt sich nach v_2 auflösen:

$$\frac{m \times v_2^2}{2} = \frac{G \times M \times m}{r} \Leftrightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2 \times G \times M}{r}}$$

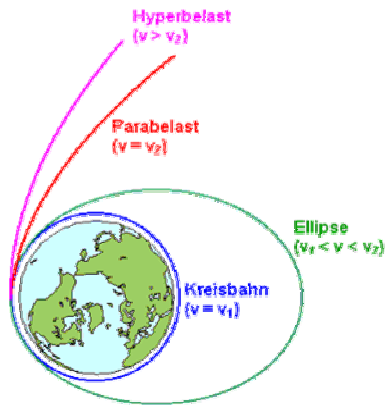
Bei eingesetzten Werten (Erdoberfläche: $r = 6.370 \text{ km}$) ergibt sich:

$$v_2 \approx 11.193 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

³⁹ Eine von Isaac Newton eingeführte Universalkonstante

⁴⁰ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmische_Geschwindigkeit

Ein Objekt, das an der Erdoberfläche auf diese Zweite Kosmische Geschwindigkeit beschleunigt wird, verlässt das Gravitationsfeld der Erde. Mit zunehmender Entfernung vom Erdmittelpunkt sinkt diese Zweite Kosmische Geschwindigkeit ebenfalls wie die Erste Kosmische Geschwindigkeit ab. So lässt sich, natürlich unter Vernachlässigung weiterer Aspekte wie etwa der atmosphärischen Reibung, ein Grenzbereich für die Geschwindigkeit eines Satelliten in Abhängigkeit von seiner Entfernung zum Erdmittelpunkt berechnen.⁴¹



Ein Satellit mit der Geschwindigkeit v

Gilt	Dann folgt
$0 < v < v_1$	Absturz
$v = v_1$	Satellit bewegt sich auf einer Kreisbahn
$v_1 < v < v_2$	Satellit bewegt sich auf einer Ellipse
$v = v_2$	Satellit bewegt sich auf einer Parabel
$v > v_2$	Satellit bewegt sich auf einer Hyperbel

Abb. 7: Gestalten eines Orbits

3.4 Begriffe

3.4.1 Inklination

Der Begriff Inklination beschreibt einen Winkel δ , der die Neigung der Bahnebene eines Satelliten gegenüber dem Himmelsäquator ausdrückt. Eine Inklination von 0° impliziert einen geostationären Orbit, ein Winkel von 90° einen polaren Orbit.⁴²

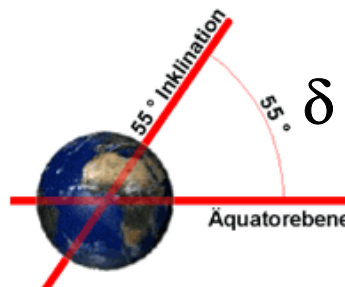


Abb. 8: Die Inklination eines Satelliten

⁴¹ Vgl. http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/11/grav_feld/gravpotential.htm

⁴² Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 208

3.4.2 Perigäum und Apogäum

Der Begriff Perigäum bezeichnet den erdnächsten Punkt auf der elliptischen Umlaufbahn eines Satelliten. In diesem besitzt der Satellit gemäß den Keplerschen Gesetzen seine höchste Geschwindigkeit. Im Apogäum befindet sich der erdfernste Punkt eines elliptischen Orbits, hier besitzt der Satellit die niedrigste Geschwindigkeit. Sind Perigäum und Apogäum gleich groß, so besitzt der Orbit eine kreisförmige Gestalt.

Bahnkorrekturen werden mit Hilfe von Geschwindigkeitsanpassungen durchgeführt. Eine Verlangsamung führt zu einer Annäherung, eine Beschleunigung zu einer Entfernung des Perigäums von der Erde. Die Korrekturmaßnahmen werden i.d.R. im Apogäum durchgeführt, da hier die Momentangeschwindigkeit am niedrigsten ist.⁴³

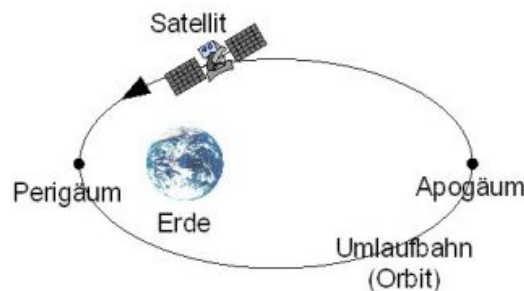


Abb. 9: Perigäum und Apogäum eines Orbits

3.4.3 Elevation

Der Winkel ε der Elevation ist der Winkel zwischen der Geraden vom Beobachtungspunkt zum Satelliten und einer tangentialen Ebene zur Erdoberfläche. Er hat maßgeblichen Einfluss auf die Sichtbarkeit bzw. den Empfangsbereich eines Satelliten.⁴⁴

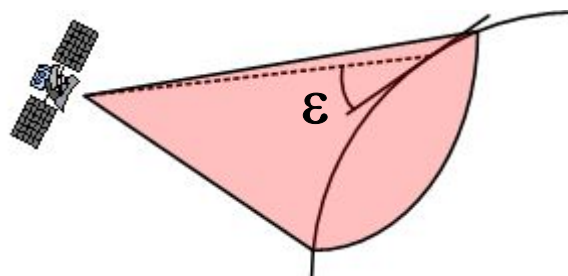


Abb. 10: Die Elevation eines Satelliten

⁴³ Vgl. <http://www.bernd-leitenberger.de/orbits.html>

⁴⁴ Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 208

3.4.4 Footprint

Der Footprint ist der Ausleuchtungsbereich eines Satelliten. Er steht in Abhängigkeit mit der Entfernung des Satelliten von der Erdoberfläche.⁴⁵

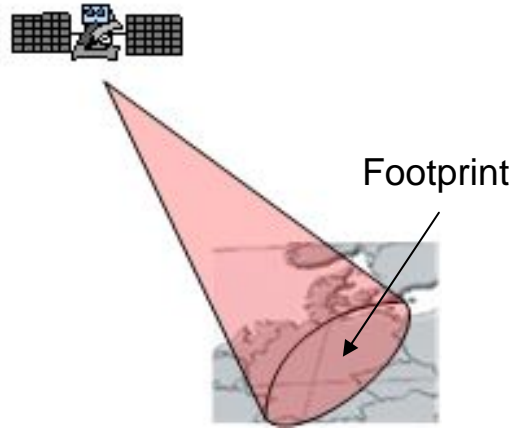


Abb. 11: Der Footprint eines Satelliten

3.5 Signalparameter

Die Signalübertragung zwischen Satellitensystemen, den Bodenstationen und der Erdoberfläche erfolgt im Bereich der Mikrowellen. Diese elektromagnetischen Wellen besitzen eine Wellenlänge im Zentimeterbereich zwischen 1 mm und 30 cm.⁴⁶ Dieser Bereich stellt einen großen Frequenzbereich zur Verfügung und ermöglicht eine günstige Durchlässigkeit. Dabei ist eine Sichtbarkeit, line of sight, LOS, zwingend erforderlich. Im folgenden eine Tabelle mit den gängigen Frequenzbändern in der Satellitentechnik.⁴⁷

Band	Frequenzbereich
L	1.0–2.0GHz
S	2.01–4.0GHz
C	4.01–8.0GHz
X	8.01–12.0GHz
Ku	12.01–18.0GHz
K	18.01–27.0GHz
Ka	27.01–40.0 GHz

Abb. 12: Die Frequenzbereiche der Satellitentechnik

⁴⁵ Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 208

⁴⁶ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Mikrowellen>

⁴⁷ Vgl. <http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/evaluate/technol/fiberop.msp>

Um Störungen wie z.B. Interferenzen zu vermeiden, werden Signale zum Satelliten, sog. Uplinks, und Signale vom Satelliten, Downlinks, in getrennten Bandbreiten übertragen.⁴⁸

Uplink-Frequenzen	Downlink-Frequenzen
5.925–6.425GHz	3.700–4.200GHz
7.900–8.400GHz	7.250–7.750GHz
14.00–14.50GHz	11.70–12.20GHz
27.50–30.00GHz	17.70–20.20GHz

Abb. 13: Die Frequenzbereiche von Up- und Downlinks

3.6 Signaldämpfungen

Die übertragenen Signale vom und zum Satelliten werden durch die Atmosphäre gedämpft. Wesentliche Einflussfaktoren ist der Abstand zwischen Sender und Empfänger, die Elevation des Satelliten, atmosphärische Störungen und spezielle Wetterlagen wie Regen oder Nebel. Die Dämpfung lässt sich grob berechnen:

$$L = \left(\frac{4 \times \pi \times r \times f}{c} \right)^2 \quad \text{mit: } \begin{array}{ll} L & \text{die Abschwächung} \\ r & \text{Abstand zwischen Sender} \\ & \text{und Empfänger} \\ f & \text{die Trägerfrequenz} \\ c & \text{die Lichtgeschwindigkeit} \end{array}$$

So ist die Abschwächung stark von der Frequenz abhängig und steigt proportional zum Quadrat der Entfernung. Im folgenden Diagramm ist eine Dämpfung in Abhängigkeit der Elevation und des Wetters bzw. atmosphärischer Störungen zu erkennen:

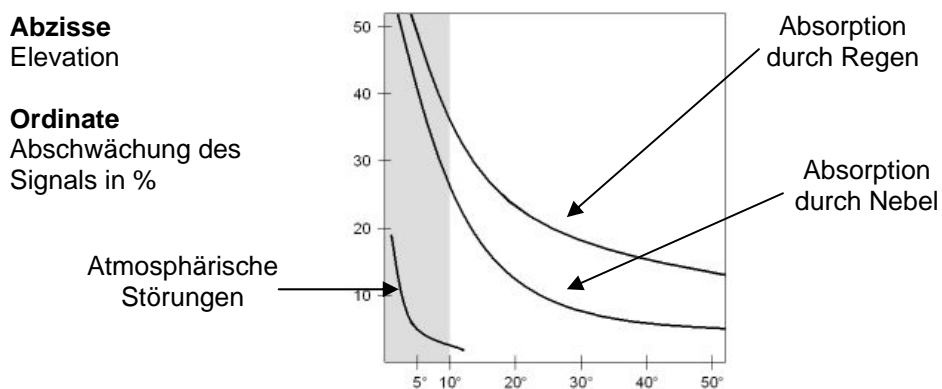


Abb. 14: Signaldämpfung durch die Erdatmosphäre

⁴⁸ Vgl. <http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/evaluate/technol/fiberop.msp>

Das Diagramm verdeutlicht, dass ab einer Elevation von unter 10° keine adäquate Kommunikation mehr zustande kommen kann.⁴⁹

3.7 Sendeleistungen

Die durchschnittliche Sendeleistung liegt bei einem Uplink, also der Signalversendung von der Bodenstation zum Satellit, bei ca. 500 Watt. Das Signal wird dabei mit einer starken Richtwirkung übertragen. Der Downlink, je nach Art des Satelliten, gerichtet oder ungerichtet, erfolgt mit ca. 40 Watt.⁵⁰

4 Satellitenumlaufbahnen

Die Orbits eines Satelliten werden nach der Entfernung und der Lage zur Erde eingeteilt. Je nach Orbit ergeben sich für die Aufgabe des Satelliten Vor- und Nachteile. Man unterscheidet grob zwischen:

- GEO (geosynchronous transfer orbit), geostationärer Orbit
- LEO (low earth orbit), niedriger Erdorbit
- MEO (medium earth orbit), mittlerer Erdorbit
- HEO (high elliptical orbit), hoch-elliptischer Erdorbit

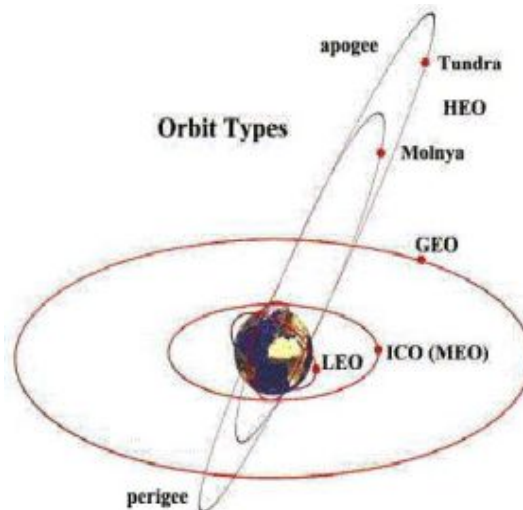


Abb. 15: Die Satellitenorbits

⁴⁹ Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 209ff.

⁵⁰ Vgl. <http://info.electronicwerkstatt.de/bereiche/uebertragung/uebertragungstechnik/satelite/satelliten.html>

4.1 Der geostationäre Orbit (GEO)

In einem geostationären Orbit befindet sich der Satellit in einer Entfernung zur Erde von 35.786 km. In dieser Entfernung entspricht seine Geschwindigkeit exakt der der Rotationsdauer der Erde: einen siderischer Tag, 23 h, 56 min, 4,09 s. Dadurch erscheint es dem Beobachter, als wenn der Satellit in seiner Position am Himmel verharret.

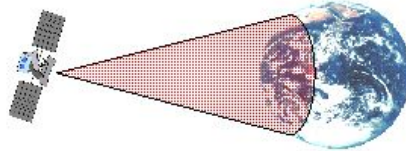


Abb. 16: Der geostationäre Orbit

Die Inklination beträgt zusätzlich 0° , die Bahnebene befindet sich parallel zur Äquatorebene. Liegt die Inklination bei größer 0° , so spricht man von einem geosynchronen Orbit. In diesem Fall pendelt der Satellit vertikal über dem Äquator.

Ein geostationäre Orbit erweist sich funktechnisch von Vorteil, da mit drei positionierten Satelliten fast die gesamte Erdoberfläche abgedeckt werden kann. Des weiteren müssen Sende- und Empfangsantennen nur einmal ausgerichtet werden.

Als nachteilig erweist sich die große Entfernung. So muss eine hohe Mindestsendeleistung von ca. 10 Watt aufgebracht werden, was den Einsatz von mobilen Sende- und Empfangsanlagen einschränkt. Auch tritt eine hohe Signallaufzeit von 0,25 s auf, die eine bidirektionale Kommunikation, Sprache oder Daten, erschwert oder sogar verhindert. Die geostationäre Position des Satelliten über dem Äquator verursacht einen so niedrigen Elevationswinkel ab dem 60° Breitengrad, dass ein Empfang nur mit entsprechend großen Antennen, wenn überhaupt, realisiert werden kann. Auch kann es in Städten mit hohen Gebäuden zu Abschattungseffekten kommen. Da der Footprint verhältnismäßig groß ist, kann es zu Überlagerungen mit Footprints anderer Satelliten kommen. Eine doppelte Frequenznutzung wird damit stark eingeschränkt.⁵¹

⁵¹ Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 212f.

4.2 Niedrig fliegende Satelliten (LEO)

Satelliten in einem LEO befinden sich in einer Höhe von ca. 100 bis 2.000 km. Ihre Umlaufdauer beträgt dabei zwischen 95 und 120 Minuten. So ergibt sich ein Footprint mit einer Größe von etwa 3.000 bis 4.000 km und eine Sichtbarkeit des Satelliten von ca. 10 min.

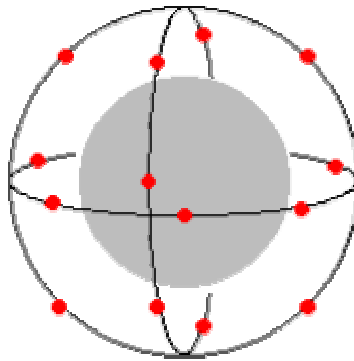


Abb. 17: Der low earth orbit

Satelliten in einem LEO können bereits mit einer Sendeleistung von etwa einem Watt erreicht werden, was sie für eine mobile Satellitenkommunikation prädestiniert. Dabei beträgt ihre Signallaufzeit ca. 0,01 s, so dass eine adäquate, bidirektionale Kommunikation möglich wird. Da die relativ kleinen Footprints nebeneinander positioniert werden können, können Frequenzen doppelt verwendet werden. Des Weiteren fallen die Kosten eines Satellitenstarts in einen LEO geringer aus als bei einer GEO-Stationierung.

Als nachteilig erweist sich die Notwendigkeit, zur kompletten, funktechnischen Abdeckung der Erde eine große Anzahl von LEO-Satelliten zu positionieren. Ergeben sich Kommunikationsverbindungen, die über das Zeitfenster der Sichtbarkeit des LEO-Satelliten hinausgehen, müssen Verbindungsübergabemechanismen zwischen den Satelliten geregelt werden (hand over). Solche kompletten LEO-Satellitennetzwerke erweisen sich als komplex. Letztendlich ist die Lebensdauer eines LEO-Satelliten relativ kurz, da er sich im Einflussbereich der Restatmosphäre befindet.⁵²

⁵² Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 213f.

4.3 Satelliten auf einem mittleren Orbit (MEO)

MEO-Satelliten befinden sich auf einer Kreisbahn in einer Höhe von 6.000 bis 20.000 km. Ihre Umlaufdauer beträgt ca. 4 bis 12 Stunden. Sie bilden eine Mischform der GEO- und LEO-Satelliten und vereinigen deren Vor- und Nachteile. So erhöht z.B. sich die Sichtbarkeit eines Satelliten, allerdings steigt auch wieder die Signallaufzeit, des weiteren muss eine höhere Sendeleistung erbracht werden.⁵³

4.4 Der hochelliptische Orbit (HEO)

Satelliten auf einem HEO umkreisen die Erde auf stark elliptischen Bahnen mit einem Perigäum bei ca. 500 km und einem Apogäum bei ca. 40.000 km. Die Inklination beträgt $63,4^\circ$ zur Äquatorialebene. Ihre Umlaufdauer liegt zwischen 8 und 24 Stunden.



Abb. 18: Der hochelliptische Orbit

HEO-Satelliten erscheinen quasi-stationär, da sie sich die meiste Zeit ihrer Umlaufdauer in Richtung Apogäum bzw. vom Apogäum weg bewegen. Durch die elliptische Bahn ergeben sich unterschiedliche Signallaufzeiten. Sie werden u.a. zur Kommunikation in höheren Breitengraden eingesetzt.⁵⁴

4.5 Der polare Orbit

Besitzen Satelliten eine Inklination von 90° , so befinden sie sich auf einer Bahn über die Pole der Erde, einem sog. polaren Orbit. Dieser Orbit verläuft fest im Raum, die Erde rotiert

⁵³ Vgl. Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, S. 214

⁵⁴ Vgl. <http://www.telecom.fh-htwchur.ch/satelitenbuch/> (Kapitel Physik der Satelliten)

hingegen unter diesem. So überfliegt ein Satellit in einer bestimmten Zeit jeden Punkt der Erde. Die meisten LEO-Satelliten sind in einem polaren Orbit stationiert.⁵⁵

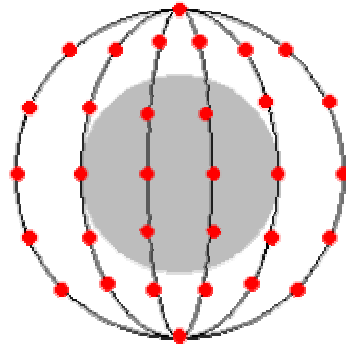


Abb. 19: Der polare Orbit

5 Anwendungsbereiche von Satellitensystemen

Satelliten finden heutzutage eine breite Verwendung, um globale Aufgaben bewältigen zu können. Im folgenden werden exemplarisch Einsatzgebiete vorgestellt.

5.1 Wetterbeobachtung

Satelliten unterstützen die weltweiten Wettervorhersagen und ergänzen die Prognosen um wesentliche Details. Sie messen diverse Parameter wie z.B. Windrichtungen und Windbewegungen, Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen von Land und Wasser sowie den Zustand der Atmosphäre. Dafür besitzen sie umfangreiche Instrumente wie Fernsehkameras, Infrarot-Radiometer und Strahlungsmessgeräte.

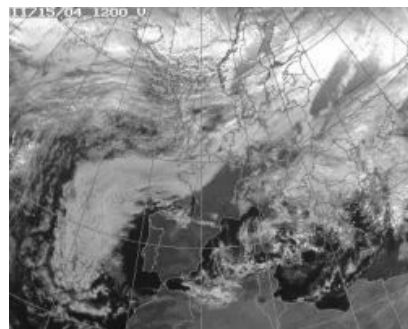
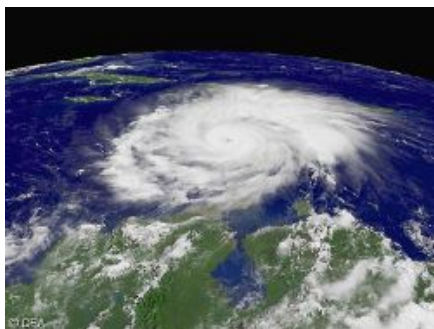


Abb. 20: (l.) Hurrikan Ivan 09/04; (r.) Wetterlage Europa (15.11.04)

⁵⁵ Vgl. <http://www.telecom.fh-htwchur.ch/satellitenbuch/> (Kapitel Physik der Satelliten)

Man unterscheidet zwei Arten von Wettersatelliten: Wettersatelliten in einem polaren Orbit und geostationäre Wettersatelliten. Polar-Orbit-Satelliten umwandern die Erde in einer Höhe von 800 bis 1.200 km innerhalb von 24 Stunden und erfassen die Oberfläche dabei streifenweise, da die Erde unter ihnen rotiert. Geostationäre Satelliten decken hingegen mit einer Aufnahme ein Drittel der Erdoberfläche ab. Bekannte Wettersatelliten sind die europäischen METEOSAT- oder die amerikanischen GOES- Satelliten.⁵⁶

5.2 Radio- und Fernsehgrundfunk

Satelliten werden zur Übertragung von Radio- und Fernsehsignalen über weite Gebiete hinweg eingesetzt. Sie empfangen die Signale der Bodenstation, setzen sie um, verstärken sie und strahlen sie über Richtantennen im Versorgungsgebiet aus. Sie erfüllen dabei eine Art Repeater-Funktionalität.

Man unterscheidet zwischen Fernmeldesatelliten und Direktsatelliten, sog. Direct Broadcast, DBS. Fernmeldesatelliten ermöglichen eine punktuelle Weiterverbindung, sie bestrahlen eine kleine Fläche mit geringer Leistung. Direktsatelliten ermöglichen eine großflächige Distribution, sie senden über einem großen Footprint mit einer relativ hohen Leistung.⁵⁷

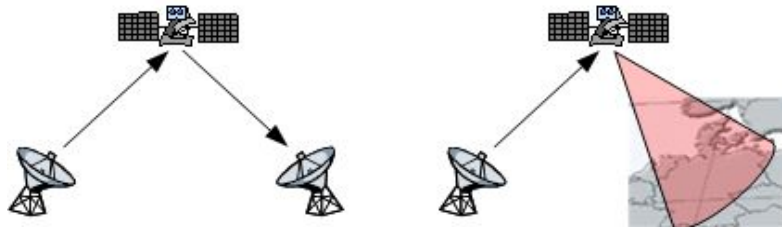


Abb. 21: (l.) Fernmeldesatelliten; (r.) Direktsatelliten

Radio- und Fernsehsatelliten sind i.d.R. in einem geostationären Orbit (GEO) positioniert. Die dabei auftretende Signalverzögerung von ca. 0,25 s ist unerheblich, da die Kommunikation über den Satelliten größtenteils unidirektional verläuft.

⁵⁶ Vgl. <http://www.discovery.de/de/pub/specials/wetterextrem/meteo/wettersatelliten.htm>

⁵⁷ Vgl. <http://info.electronicwerkstatt.de/bereiche/uebertragung/uebertragungstechnik/satelite/satelliten.html>

Die relevante Basiseinheit in einem Satelliten dieser Art ist der Transponder (transmitter-responder). Dieser empfängt, verstärkt und sendet Signale auf einer definierten Frequenzbandbreite. In der analogen Technik können pro Transponder ein TV-Kanal und mehrere Tonspuren übertragen werden, in der digitalen Technik liegt die Kapazität bei etwa 6 bis 10 TV-Kanälen plus Tonspuren.⁵⁸ Moderne Satelliten besitzen mehrere Transponder mit entsprechender Kapazität, z.B. besitzt Intelsat 10-02 (gestartet 2004) 70 C-Band- und 36 Ku-Band-Transponder.⁵⁹ Zur sicheren Übertragung der Signale werden unterschiedliche Modulationsarten wie TDMA, FDMA und DAMA eingesetzt.⁶⁰

Zum Empfang der Signale heutiger Radio- und Fernsehsatelliten ist keine aufwendige Technik mehr notwendig. Damit stehen diese Kommunikationssatelliten als ernstzunehmende Konkurrenz zu terrestrischen Kabelnetzen da. Wichtige kommerzielle Betreiber von Diensten über Fernseh- und Radiosatelliten sind die SES Global mit u.a. Astra, einem europäischen Anbieter, des weiteren die Konsortien Intelsat und Eutelsat. Die Dienstbreite hat sich in den letzten Jahren erhöht. So werden neben der klassischen Fernseh- und Rundfunkübertragung Breitband-Datenübertragungen (Internet) und Kommunikationsdienste für Unternehmen und öffentliche Einrichtungen angeboten.

5.3 Navigation und Positionsbestimmung

Satelliten ermöglichen eine exakte Positionsbestimmung eines Objektes auf der Erdoberfläche und wurden schon früh für Aufgaben der Geodäsie (Vermessung der Erdoberfläche) eingesetzt. Das amerikanische Verteidigungsministerium begann 1973 mit den Planungen eines Satellitennavigationssystems, das Anfang der achtziger Jahre als NAVSTAR (Navigation System for Timing and Ranging), besser bekannt als GPS (Global Positioning System) in Betrieb ging. Dieses wurde nach Abschuss eines koreanischen Verkehrsflugzeugs über sowjetischem Territorium auch für den kommerziellen Sektor geöffnet.⁶¹

⁵⁸ Vgl. <http://www.kathrein.de/de/sat/index.htm>

⁵⁹ Vgl. Dokumentation Intelsat: <http://www.intelsat.com/resources/satellites/facts.aspx>

⁶⁰ Vgl. <http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/evaluate/technol/fiberop.msp>

⁶¹ Vgl. <http://www.kowoma.de/gps/Geschichte.htm>

Momentan sorgen mindestens 24 Satelliten auf mehreren MEOs in ca. 20.000 km Höhe für Positionsrechnungen bei einer Präzision von 20 m. Diese Präzision kann aber durch eine sog. selective availability (SA) künstlich verfälscht werden. Grund dieser Maßnahme ist die Angst, dass die Technik des GPS für u.a. terroristische Anschläge genutzt werden kann. Ein aktiviertes SA führt zu Ungenauigkeiten von 50 bis 150 m. Da sich GPS in der zivilen Nutzung weitgehend etabliert hat, wurde das SA im Mai 2000 abgeschaltet.⁶²

Eine Positionsbestimmung auf der Erde erfolgt über den Kontakt mit mindestens drei Satelliten. Über den Abgleich von Zeitdifferenzen zwischen Versand und Empfang von Signalen kann eine Entfernung zum Satellit errechnet werden, so dass die Position über Trilateration (Entfernungsmessung von drei Punkten aus) auf der Erdoberfläche bestimmt wird (2D position fix). Mit Hilfe von vier oder mehr Satelliten kann zusätzlich die Höhe mitberechnet werden (3D position fix).⁶³

Da die Satellitennavigation heutzutage eine äußerst wichtige Rolle spielt, begann Europa Mitte der neunziger Jahre mit der Entwicklung eines eigenen Navigationssystem. Mit diesem System will man sich aus der Abhängigkeit von den unter militärischen Gesichtspunkten konzipierten Systemen GPS und GLONASS (Russland) befreien. Das neue System GALILEO, das 2008 mit 30 Satelliten betriebsbereit sein soll, wird insbesondere dem zivilen Sektor eine hohe Genauigkeit bieten und dabei vollständige Kompatibilität gegenüber vorhandener Systeme gewährleisten.⁶⁴

⁶² Vgl. <http://www.kowoma.de/gps/Fehlerquellen.htm>

⁶³ Vgl. <http://www.kowoma.de/gps/Positionsbestimmung.htm>

⁶⁴ Vgl. http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_de.htm

6 Iridium

Die Idee eines neuen, weltweit mobilen Satellitenkommunikationssystems wurde 1987 von Ingenieuren der Firma Motorola konzipiert. Zu diesem Zeitpunkt dominierte der Provider Inmarsat die Satellitenkommunikation über seine Satelliten in einem geostationären Orbit, die nur mit relativ großen Mobilstationen erreichbar waren. Die Anforderungen der Techniker an das neue System orientierten sich hingegen an terrestrischen Mobilnetzen. Jeder Teilnehmer soll eine weltweit gültige Rufnummer erhalten. Die Kommunikation erfolgt unabhängig von terrestrischen Netzen über kleine, mobile Endgeräte (Handys). Eine Verbindung soll zu Land, zu Wasser und in der Luft ermöglicht werden und die Übertragung soll digital erfolgen.⁶⁵

Mit dem Zusammenschluss weltweiter Investoren zu einem Konsortium unter der Führung von Motorola wurde dann Mitte der neunziger Jahre das Unternehmen Iridium LLC gegründet. Der Firmename resultierte aus der Absicht, ein Satellitennetz von 77 Satelliten aufzubauen, wobei das chemische Element Iridium die Ordnungszahl 77 besitzt. In den Jahren 1995 bis 1998 wurde dann das Satellitennetz installiert und am 01. November 1998 ging Iridium mit tatsächlich 66 operativen Satelliten in Betrieb.

Im Frühjahr 2000 ging Iridium Konkurs und der Betrieb wurde eingestellt. Die von Marktforschungen zu Beginn der neunziger Jahre prognostizierten 4 Mill. Nutzer eines mobilen Satellitensystems für das Jahr 2002 fanden sich nicht, am Ende konnte Iridium lediglich 55.000 Kunden für sich gewinnen. Als Ursache wurde zum einen ein falsches Marketingkonzept ausgemacht, des weiteren waren die Preise der Endgeräte zu hoch dimensioniert (bis zu 2.000,- €). Auch die Konkurrenz, etwa Inmarsat und terrestrische Mobilnetze mit Roaming-Möglichkeiten, wurde unterschätzt. Die Schulden hatten sich mittlerweile auf 1,5 Mrd. Dollar angehäuft und neue Geldgeber fanden sich nicht. So plante Motorola, mittlerweile nicht mehr bereit, die Schulden zu decken, das System kontrolliert abstürzen zu lassen (de-orbiting).⁶⁶

⁶⁵ Vgl. <http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html>

⁶⁶ Vgl. <http://www.xdial.de/news/Meldung.asp?Id=177>

Ende 2000 fanden sich dann neue Betreiber des Satellitennetzes. Der Luft- und Raumfahrtkonzern Boeing übernahm die Infrastruktur für einen Spottpreis von 25 Mill. Dollar (im Vergleich zu den 5 Mrd. Dollar Gesamtkosten) und mit Hilfe neuer Investoren, u.a. das amerikanische Verteidigungsministerium, wurde nach einer radikalen Verschlinkung und Reorganisation des Unternehmens die Iridium Satellite LLC gegründet.⁶⁷ Am 30. März 2001 ging Iridium zum zweiten mal in Betrieb. Dieses mal kostendeckend, lediglich 60.000 Kunden wurden benötigt, um Gewinne zu erwirtschaften.⁶⁸ Iridium verzeichnet momentan 100.000 Kunden (Juli 2004).⁶⁹

Das Satellitennetz von Iridium besteht aus 66 operativen Satelliten, die auf sechs polaren LEOs verteilt sind, also 11 Satelliten pro LEO, des weiteren stehen 13 Reservesatelliten zur Verfügung. Iridium erreicht eine nahezu komplette funktechnische Abdeckung der Erdoberfläche, jeder Satellit besitzt dabei einen Footprint von etwa 4.800 km Durchmesser. Die Satelliten bewegen sich in einer Höhe von 780 km und umrunden die Erde in 100 Minuten. Jeder Satellit steht im direkten Kontakt zu vier weiteren, benachbarten Satelliten (vorne, hinten, rechts, links) über einen sog. Intersatellite Link (ISL). Die terrestrische Infrastruktur besteht aus einem Kontrollzentrum und Gateways ins terrestrische Telefon- und Mobilnetz.⁷⁰

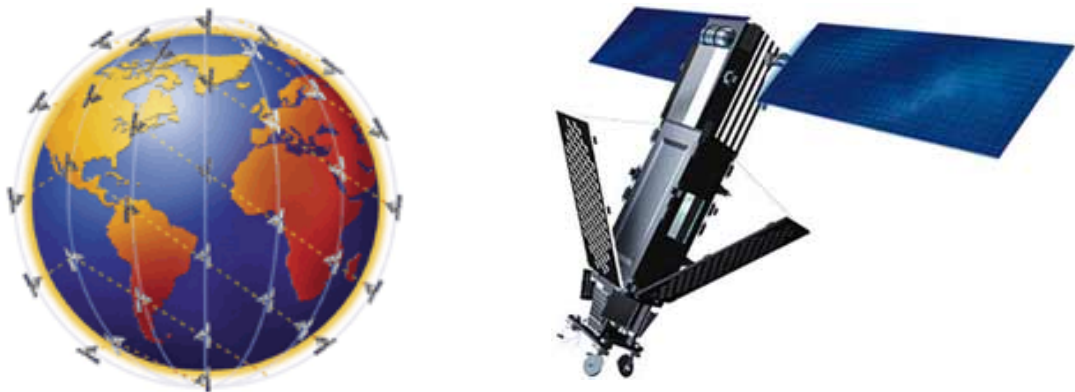


Abb. 22: (l.) Die LEOs des Iridiumnetzes; (r.) ein Iridium-Satellit

⁶⁷ Vgl. <http://www.gmpcs-us.com/products/iridium/iridium-article.htm>

⁶⁸ Vgl. <http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html?page=3>

⁶⁹ Vgl. http://www.iridium.com/corp/iri_corp-news.asp?newsid=87

⁷⁰ Vgl. http://www.iridium.com/corp/iri_corp-story.asp?storyid=2

Kommunizieren Iridium-Nutzer untereinander, so wird die Verbindung zwischen den Satelliten über ISL aufgebaut, des weiteren erfolgt ein Handover von Satellit zu Satellit, wenn ein Nutzer den Footprint eines Satelliten verlässt und in einen anderen tritt. Verbindungen ins Festnetz werden über die Satelliten bis zum nächsten terrestrischen Gateway aufgebaut.

Iridium bietet neben der Telefonie auch eine Datenübertragung mit bis zu 2,4 und Internetdienste mit bis zu 10 KBit/s an. Weitere Dienste sind Paging, SMS und Notruf-Systeme.⁷¹ Die Tarife (auf Basis von PrePaid-Karten) liegen für Verbindungen zwischen Iridium-Nutzern bei ca. 0,69 € pro Minute, ins Festnetz bei ca. 1,37 € pro Minute. Anrufe z.B. aus dem Netz der Telekom ins Iridium-Netz kosten ca. 4,59 € pro Minute. Der Gerätepreis für ein Iridium-Handy liegt bei ca. 1.598,- €.⁷²

⁷¹ Vgl. http://www.iridium.com/service/iri_service-home.asp

⁷² Vgl. <http://www.shipshop.de/BlueWater/Navigation/Kommunikation/Iridium/Tarife/tarife.html>

Literaturverzeichnis

Bücher

Schiller, Jochen: Mobilkommunikation, 2. Aufl. 2003, Pearson Studium

Internet

<http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>
<http://www.bernd-leitenberger.de/raumfahrt.html>
http://lakdiva.org/clarke/1945ww/1945ww_oct_305-308.html
<http://www.lsi.usp.br/~rbianchi/clarke/>
<http://www.raumfahrtgeschichte.de/space1/peenemuende1.htm>
<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/sputnik/index.html>
<http://www.schlaubi.de/geschichte/weltraum/weltraum.html>
<http://www.jpl.nasa.gov/missions/past/explorer.html>
<http://msl.jpl.nasa.gov/QuickLooks/echoQL.html>
<http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=149245>
<http://roland.lerc.nasa.gov/~dgllover/sat/telstar.html>
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/50145>
<http://space.skyrocket.de/>
<http://www.boeing.com/defense-space/space/bss/factsheets/376/marisat/marisat.html>
<http://www.tk-fachbegriffe.de/index.php?dba=Inmarsat-A&a=1>
<http://www.inmarsat.com/>
<http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html>
<http://www.thuraya.de/>
<http://www.globalstar.com/>
http://drfreund.bei.t-online.de/astronomy_kepler.htm
<http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/11/satellit/satelliten.htm>
<http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/evaluate/technol/fiberop.msp>
<http://info.electronicwerkstatt.de/bereiche/uebertragung/uebertragungstechnik/satellite/satelliten.html>
<http://www.telecom.fh-htwchur.ch/satellitenbuch/>
<http://www.discovery.de/de/pub/specials/wetterextrem/meteo/wettersatelliten.htm>
<http://www.kathrein.de/de/sat/index.htm>
<http://www.intelsat.com/resources/satellites/facts.aspx>
<http://www.kowoma.de/gps/Geschichte.htm>
http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_de.htm
<http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html>
<http://www.xdial.de/news/Meldung.asp?Id=177>
<http://www.gmpcs-us.com/products/iridium/iridium-article.htm>
<http://www.iridium.com/>
<http://www.shipshop.de/BlueWater/Navigation/Kommunikation/Iridium/Tarife/tarife.html>