fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seminar Informatik
WS 04/05

Satellitensysteme

Axel Schöning
16. November 2004

Gliederung

Einleitung

Geschichte

Grundlagen

Umlaufbahnen

Überblick über die Anwendungsgebiete

Iridium

Einleitung

Ein **Satellitensystem** ist ...

... ein Kommunikationssystem

... eine Möglichkeit, Gebiete funktechnisch ohne lokaler terrestrischer Infrastruktur abzudecken

... mit einem hohen Aufwand verbunden

... ein physikalisch und technisch sensibles System

Satellit v. lat. satelles: Leibwächter

Gliederung

Einleitung

⇒ **Geschichte**

Grundlagen

Umlaufbahnen

Überblick über die Anwendungsgebiete

Iridium

Historie

- Anfänge der Technik nach Ende des zweiten Weltkriegs
- Arthur C. Clarke (1945):
  Idee von „Satellitensystemen als Kommunikationssysteme“

- Technische Realisierung durch „***Kalten Krieg***“ forciert:
  - US-Präsident Dwight D. Eisenhower 1955:
    Ankündigung eines Satellitenforschungsprogramm
  - Vier Tage später reagierte die Sowjetunion mit einem ähnlichen Programm

Historie: Sputnik

04.10.1957: Start des ersten künstlichen Satelliten, der sowjetische **Sputnik 1**

Sputnik, russ. für Gefährte

- Durchmesser 58cm
- Knapp 83 kg schwer
- Sendete auf 20 und 40 MHz
- Sendeleistung je ein Watt
- Umkreiste Erde in 96 Minuten
- Verglühte nach 96 Tagen

Historie: Sputnikschock

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sputnikschock:

Technologische Fortschritt der UdSSR löste in der westlichen Welt ein Bedrohungsgefühl aus. Sputnik bewies, dass Amerika mit Interkontinentalraketen von der Sowjetunion aus erreichbar war.

$\Rightarrow$ Gründung der NASA

$\Rightarrow$ Verstärkte Anstrengungen im Bildungsbereich

Historie: Meilensteine

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Weitere Meilensteine der Satellitenkommunikation

1958	Explorer 1	Erster US-Satellit
1960	Echo 1/1A	Erster passiver Kommunikationssatellit
1962	Telstar 1	Erster aktiver Kommunikationssatellit
1963	Syncom	Erster geostationärer Kommunikationssatellit
1965	Intelsat 1	Erster kommerzieller Kommunikationssatellit
1976	Marisat	Erstes satellitengestütztes Kommunikationssystem für die Seefahrt
1982	Inmarsat	Erster satellitengestützter Mobildienstanbieter

Historie: Iridium

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mobile Satellitenkommunikation auf Basis von LEO-Satellitennetzen

- Start des Systems 1998, „Restart“ 2001
- fast komplette, weltweite Abdeckung

- Start des Systems 1999
- geringere funktechnische Abdeckung
- Anfang 2002 vor dem Konkursrichter

Historie: Stand

- Anzahl: (geschätzt, 2002) 1.000 aktive Satelliten
- 90% davon Kommunikationssatelliten (TV/Radio)
- Betreiberkonzepte nicht immer gesichert (Iridium)

Gliederung

Einleitung

Geschichte

⇒ **Grundlagen**

Umlaufbahnen

Überblick über die Anwendungsgebiete

Iridium

Grundlagen

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Wesentliche Aspekte zur Etablierung eines Satellitensystems

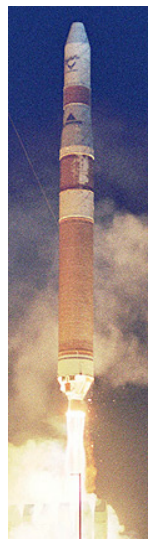
- Überwindung der Schwerkraft
- Die Umgebungsbedingungen im All:

  Restatmosphäre, Vakuum, Temperaturextrema, Strahlung, Weltraumschrott
- Der begrenzte Treibstoffvorrat eines Satellit
- Technische Defekte gravierend

Trägerraketen

Ariane V (ESA)

- Transportiert 6,8 t Nutzlast in geostationären Orbit



Delta 4 Medium (Boeing)

- Transportiert 4,2-6,5 t Nutzlast in geostationären Orbit

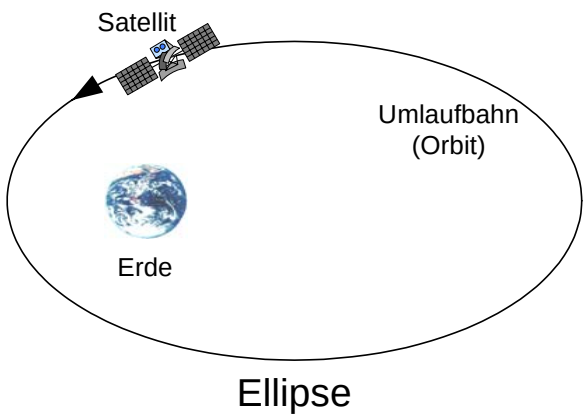
Proton-Trägerrakete (Russland)

- Transportiert 2,5 t Nutzlast in geostationären Orbit

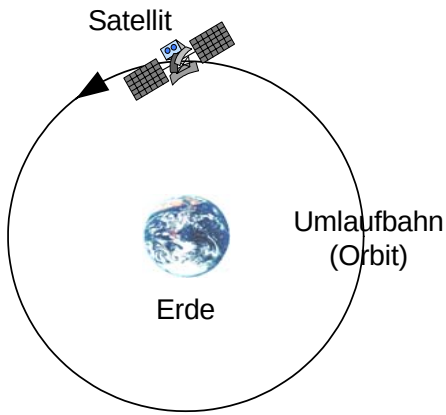
Himmelsmechanik

Satellitenumlaufbahnen gehorchen den drei Keplerschen Gesetzten

1. Gesetz von der Gestalt der Bahn
2. Gesetz der Fläche
3. Gesetz der Umlaufzeiten



Ellipse



Kreisbahn

1. Kosmische Geschwindigkeit

Satellitenumlaufbahn (Orbit) stabil, wenn ...

... die *Fliehkraft* eines Satelliten **gleich** der *Anziehungskraft* ist

Fliehkraft	$F_z = m * v_1^2 / r$
Anziehungskraft	$F_g = m * g$

mit:

r	der Abstand vom Mittelpunkt
g	die Gravitationsbeschleunigung (an der Erdoberfläche ca. $9{,}81\ m/s^2$)
m	die Masse des Satelliten
v_1	die gesuchte Geschwindigkeit

1. Kosmische Geschwindigkeit

Berechnung der Geschwindigkeit:

Fliehkraft = Anziehungskraft

$$m * v_1^2 / r = m * g \quad \Leftrightarrow \quad v_1 = SQR(g * r)$$

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

$$v_1 = 7.905\ m/s$$

ergibt sich die 1. kosmische Geschwindigkeit

(für den Bereich der Erdoberfläche)

1. Kosmische Geschwindigkeit

Aber: Die Gravitationskraft der Erde nimmt mit zunehmender Entfernung ab

Also: Mit zunehmender Entfernung von der Erde sinkt die notwendige Geschwindigkeit für eine stabile Umlaufbahn

Berechnung $g = G * M / r^2$ mit

Gravitationskonstante $G = (6{,}673 +- 0{,}001) * 10^{-11}\ m^3 / kg\ s^2$

Masse der Erde $M = 5{,}98 * 10^{24}\ kg$

2. Kosmische Geschwindigkeit

Wie hoch ist die Geschwindigkeit, ab der ein Gravitationsfeld verlassen wird?

Kinetische Energie	$E_{kin} = ½ * m * v_2^2$
potenzielle Energie der Gravitation	$E_g = G * M * m / r$

mit:

m	die Masse des Satelliten
v_2	die gesuchte Geschwindigkeit
G	die Gravitationskonstante
M	die Masse der Gravitationsquelle
r	der Abstand vom Mittelpunkt

2. Kosmische Geschwindigkeit

Berechnung der Geschwindigkeit:

Kinetische Energie = potenzielle Energie der Gravitation

$$\tfrac{1}{2} * m * v_2^2 = G*M*m/r \quad \Leftrightarrow \quad v_2 = SQR(2*G*M/r)$$

Mit eingesetzten Werten (Erdoberfläche: $r = 6.370\ km$)

$$v_2 \approx 11.193\ m/s$$

ergibt sich die 2. kosmische Geschwindigkeit

(für den Bereich der Erdoberfläche)

Zusammenfassung Geschwindigkeiten

Zusammenfassung: Satellit mit Geschwindigkeit v. Wenn ...

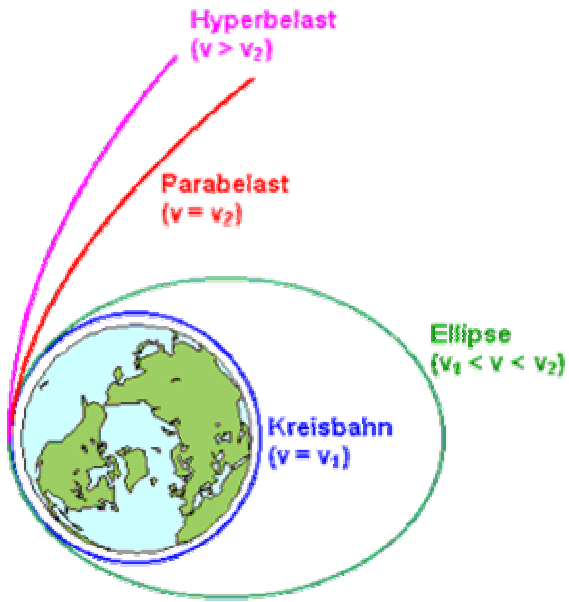
... $0 < v < v_1$ $\Rightarrow$ Absturz

... $v = v_1$ $\Rightarrow$ Satellit auf Kreisbahn

... $v_1 < v < v_2$ $\Rightarrow$ Satellit auf Ellipse

... $v = v_2$ $\Rightarrow$ Satellit auf Parabel

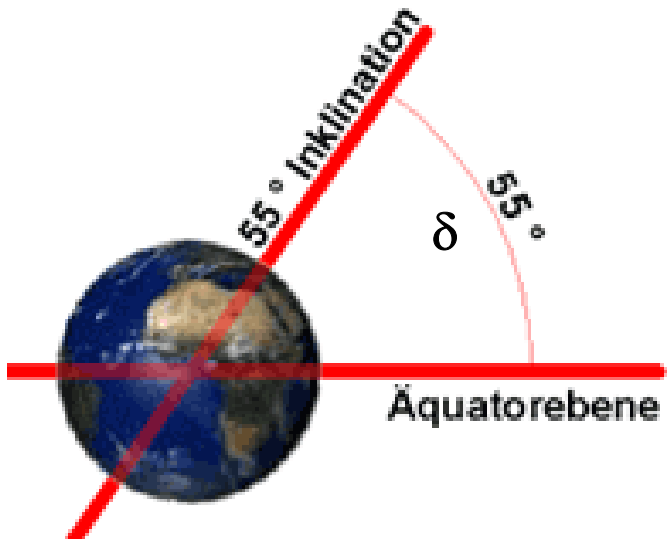
... $v > v_2$ $\Rightarrow$ Satellit auf Hyperbel



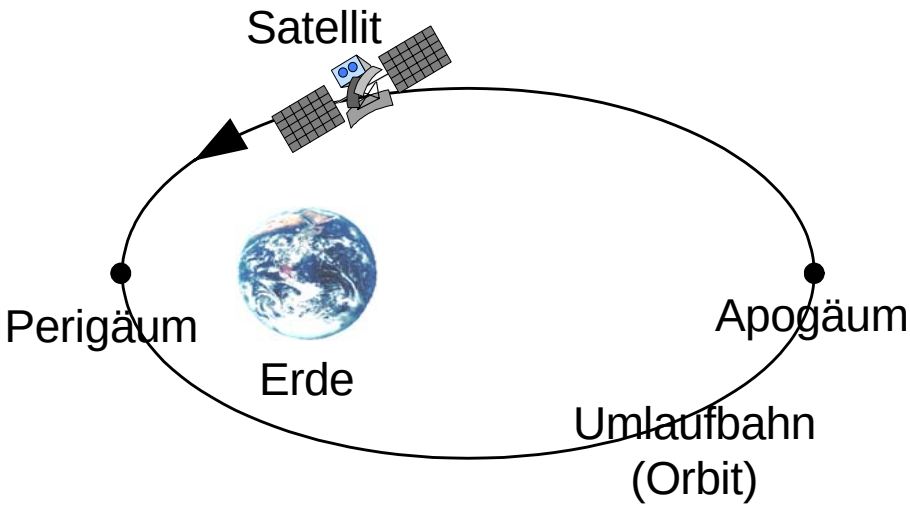
wobei v_1 und v_2 jeweils von der Entfernung abhängen!

Begriffe: Inklination

- Inklination δ ist die Neigung der Bahnebene gegenüber dem Himmelsäquator
- Geostationäre Orbits: Inklination = 0°
- Polare Orbits: Inklination = 90°



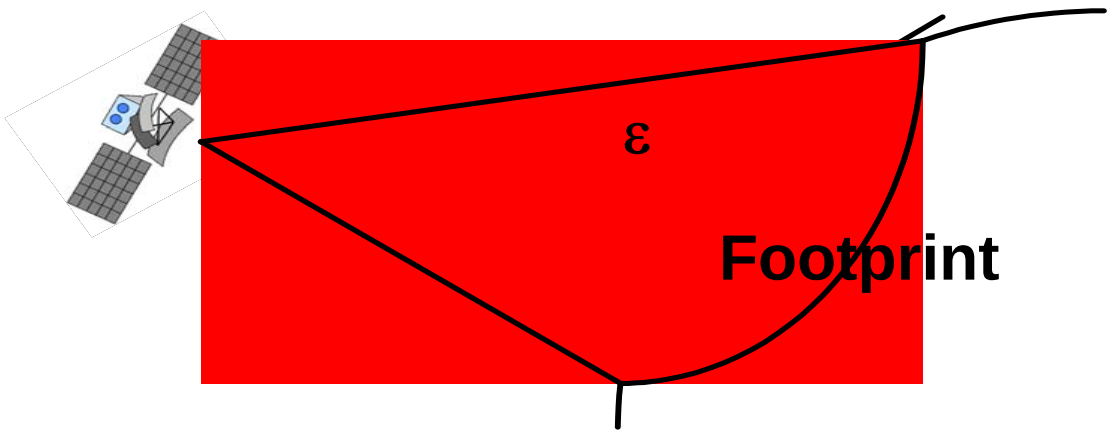
Begriffe: Perigäum, Apogäum



- Perigäum: erdnächste Punkt des Orbits (höchste Geschwindigkeit)
- Apogäum: erdfernste Punkt des Orbits (niedrigste Geschwindigkeit)
- Kreisbahn: Perigäum = Apogäum

Begriffe: Elevation, Footprint

- Elevation ε ist der Winkel zwischen der Geraden vom Beobachtungspunkt zum Satelliten und einer tangentialen Ebene zur Erdoberfläche
- Der Footprint ist das Ausleuchtungsgebiet



Frequenzen

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sendesignale im Bereich von Mikrowellen:

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

Klassifizierung der Frequenzbänder

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

Frequenzbereiche Up- und Downlink

Dämpfung

Dämpfung der Signale beim Durchgang durch die Erdatmosphäre

Einflussfaktoren Dämpfung

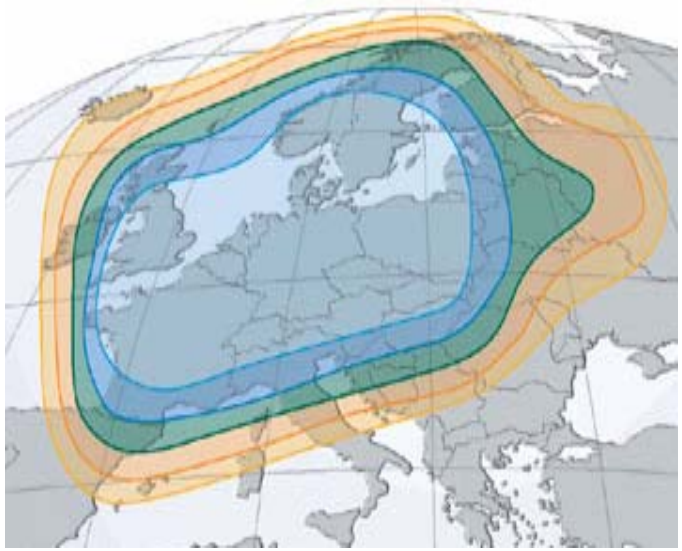
- Abstand zwischen Satellit und Empfänger
- Elevation des Satelliten
- Atmosphärische Störungen, Wetter (Regen, Nebel)

Leistung

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Leistung

- Uplink: Hohe Leistung (ca. 500 Watt), hohe Richtwirkung
- Downlink: Geringere Leistung (ca. 40 Watt)



Gliederung

Einleitung

Geschichte

Grundlagen

⇒ **Umlaufbahnen**

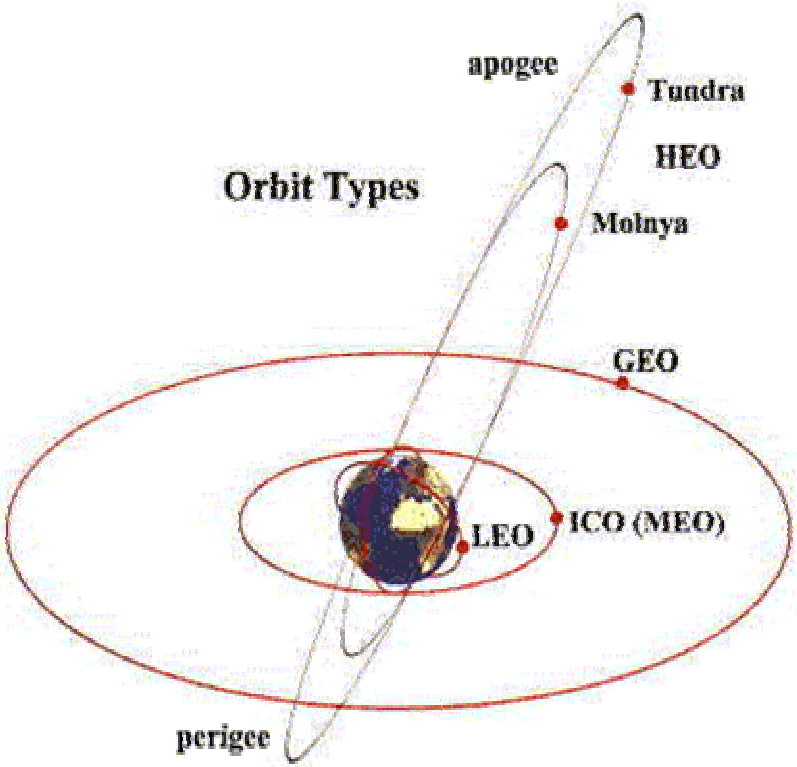
Überblick über die Anwendungsgebiete

Iridium

Umlaufbahnen

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

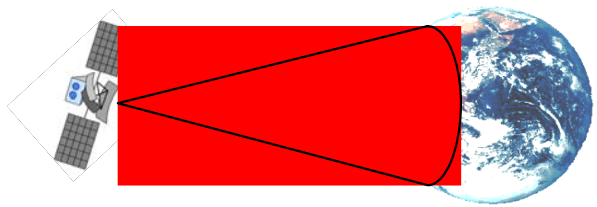
Einteilung der Orbits nach Entfernung und Lage zur Erde



- GEO (geosynchronous transfer orbit) geostationärer Orbit
- LEO (low earth orbit) niedrige Erdorbits
- MEO (medium earth orbit) mittlere Erdorbits
- HEO (high eliptical orbit) hoch elliptische Erdorbits

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

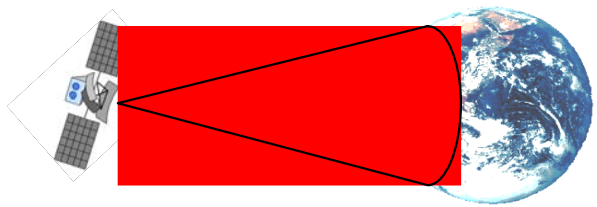
Geostationäre Satelliten (GEO)



- Entfernung von Erde 35.786 km
- Satellit scheint am Himmel „zu verharren“
- Umlaufdauer exakt der Rotationsdauer der Erde:
  Ein siderischer Tag: 23 h, 56 min, 4,09 s
- Inklination 0° (Satellit kreist über Äquator)
- Geosynchron: Inklination > 0°

GEO, Vorteile

Geostationäre Satelliten (GEO)



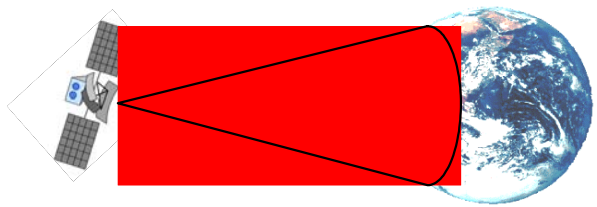
Vorteile

- Theoretisch nur drei Satelliten, um Erde funktechnisch abzudecken
- Antennen müssen nicht ausgerichtet werden

GEO, Nachteile

Geostationäre Satelliten (GEO)

Nachteile

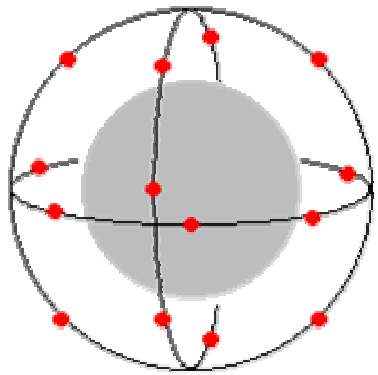


- Hohe Sendeleistung bei mobiler Kommunikation (10 Watt)
- Signallaufzeit relativ hoch: 0,25s
- Verstärkt Empfangsprobleme ab 60° Breitengrad (Elevation)
- Empfangsprobleme in Städten (hohe Gebäude)
- Kein gleichzeitiges Nutzen von Frequenzen (Überlagerung)

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niedrig fliegende Satelliten (LEO)

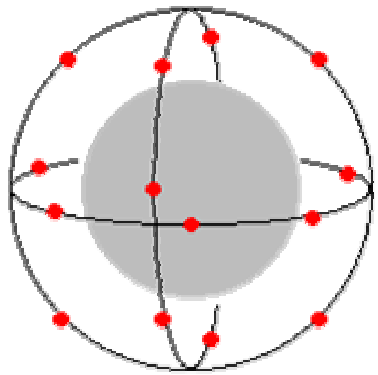
- Orbit in 100 bis 2.000 km
- Umlaufdauer zwischen 95 und 120 Minuten
- Footprint 3.000 bis 4.000 km
- Nur ca. 10 Minuten Sichtbarkeit



LEO, Vorteile

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niedrig fliegende Satelliten (LEO)



Vorteile

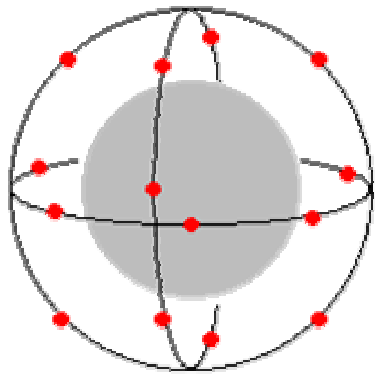
- Erreichbar mit geringer Sendeleistung (ca.1 W)
- geringe Signallaufzeit von ca. 0,01s
- Wiederverwendung von Frequenzen
- Relativ Niedrige Kosten beim Start eines LEO-Satelliten

LEO, Nachteile

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niedrig fliegende Satelliten (LEO)

Nachteile



- Für Abdeckung Erde wird hohe Satellitenzahl erforderlich
- kurze Sichtbarkeiten erfordern Verbindungsübergabemechanismen zwischen Satelliten
- Relativ kurze Lebensdauer aufgrund atmosphärischer Einflüsse und Strahlung

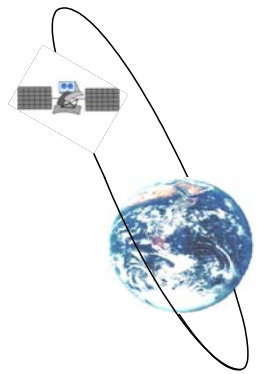
fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Satelliten auf mittleren Umlaufbahnen (MEO)

- kreisförmige Orbits auf einer Höhe von 6.000 bis 20.000 km
- Umlaufdauer 4 bis 12 Stunden
- Sichtbarkeitsdauer mehrere Stunden
- Mischform zwischen GEO / LEO
- Vereint Vor- und Nachteile von GEO / LEO

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Satelliten mit hochelliptischen Bahnen (HEO)

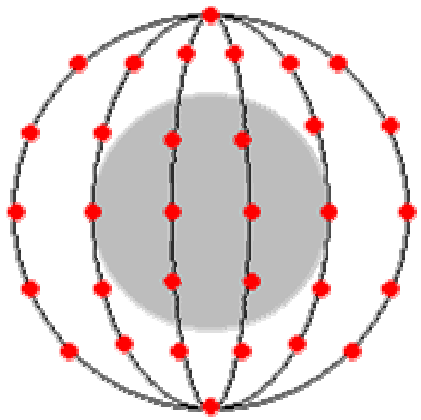


- Elliptische Bahn
- Perigäum bei ca. 500 km,
  Apogäum bei ca. 40.000 km
- Inklination etwa 63,4°
- Umlaufzeit zwischen 8 und 24 Stunden
- erscheint Quasistationär (meiste Zeit im Apogäum)
- Unterschiedliche Signallaufzeiten während Bahnverlauf

Polarer Orbit

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Satelliten mit polarem Orbit



- Inklination von 90° mit Bahn über beide Pole
- Orbit fest im Raum, Erde rotiert darunter
- Die meisten LEO-Orbits sind polar positioniert

Gliederung

Einleitung

Geschichte

Grundlagen

Umlaufbahnen

⇒ **Überblick über die Anwendungsgebiete**

Iridium

Wetterbeobachtung

Unterstützung der Wettervorhersage durch

Satellitensysteme

Messung diverser Parameter:

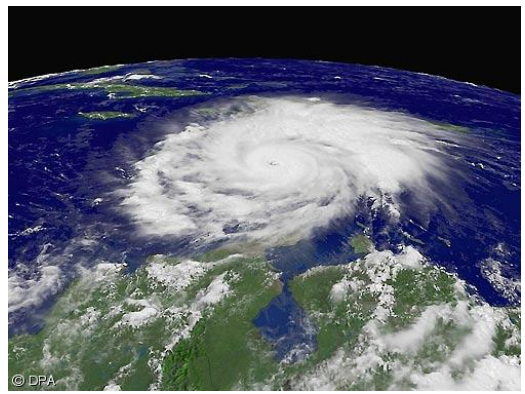
- Wind, Lufttemperaturen,

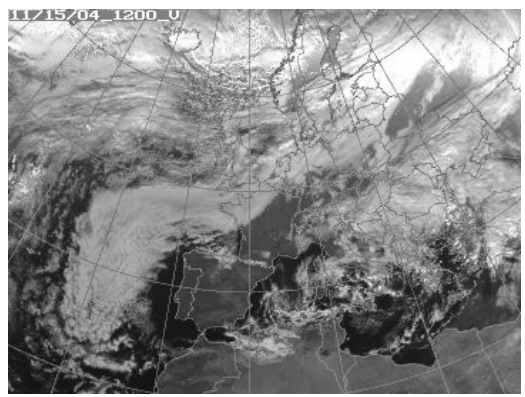
  Oberflächentemperatur von

  Wasser- / Landflächen,

  Zustand der Atmosphäre
- Fernsehkameras, Infrarot-Radiometern,

  Strahlungsmessgeräte





Wetterbeobachtung

- Polar-Orbit Wetter-Satelliten

  (800 bis 1.200 km):

  umwandern Erde in 24 Stunden,

  erfassen die Oberfläche

  dabei streifenweise

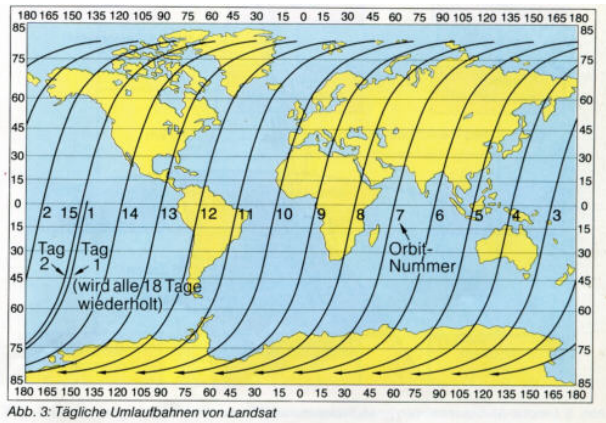
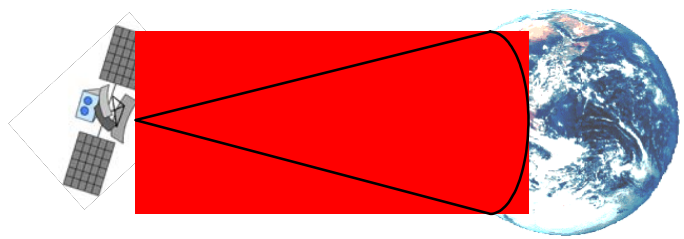


Abb. 3: Tägliche Umlaufbahnen von Landsat

- geostationäre Wetter-Satelliten:

  können ein drittel der Erde

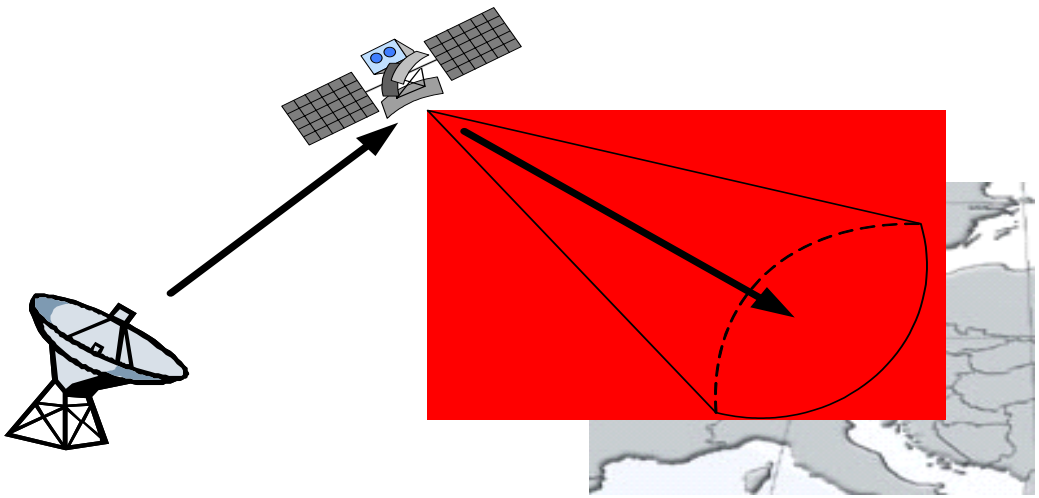
  mit einer Aufnahme abdecken



Radio- / Fernsehrundfunk

Aufgabe

Hochleistungssatelliten verstärken empfangene Signale der Bodenstation, setzen sie um und strahlen sie über Richtantennen in Versorgungsgebiete aus („Repeater“)

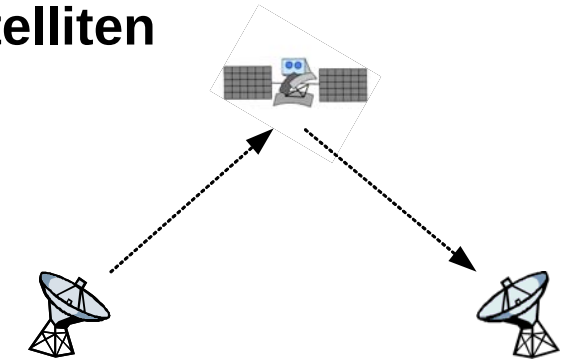


Radio- / Fernsehrundfunk

Unterscheidung Fernmelde- und Direktsatelliten

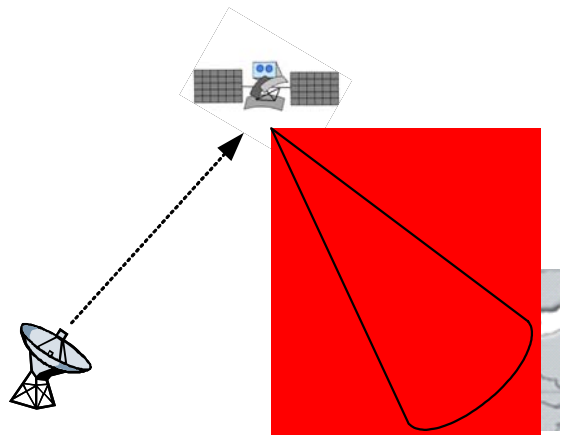
Fernmeldesatelliten

- punktuelle Weiterverbindung:
  kleine Flächen, geringe Leistung



Direktsatelliten (DBS, Direct Broadcast)

- Großflächige Distribution:
  große Flächen, hohe Leistung



Radio- / Fernsehrundfunk

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- Radio- / Fernsehsatelliten geostationär positioniert
- Signalverzögerung ca. 0,25 s unerheblich, da unidirektionaler Datentransfer (anders bei DFÜ, Sprachübertragung)
- Basiseinheiten im Satellit: Transponder
  empfängt, verstärkt und sendet Signale
- Ein Satellit besitzt mehrere Transponder
  $\Rightarrow$ Intelsat 10-02 (2004): 70 C-Band, 36 Ku-Band
- Unterschiedliche Modulationen
  TDMA, FDMA, DAMA

Radio- / Fernsehrundfunk

- Zum Empfang keine aufwendige Technik mehr nötig („einfache“ Parabolantenne und Receiver ausreichend)

  $\Rightarrow$ Konkurrenz zu Kabelnetzen

Kommerzielle Betreiber

SES Global (Astra), Intelsat, Eutelsat

Dienste

TV und Radio, Breitband-DFÜ (Internet), Kommunikation

Navigation

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Satelliten zur Positionsbestimmung und Landvermessung

- Global Positioning System (GPS)
  - Ursprünglich vom US-Militär entwickelt (1973)
  - 24 Satelliten auf Orbits in Höhe von ca. 20.000 km

- Europäisches System GALILEO in Entwicklung (ab 2008)
  - Für zivile Nutzung konzipiert
  - Verringerung der Abhängigkeiten vom GPS

Gliederung

Einleitung

Geschichte

Grundlagen

Umlaufbahnen

Überblick über die Anwendungsgebiete

⇒ **Iridium**

Iridium

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Erstes weltumspannendes, mobiles Satellitenkommunikationssystem

- Firmenkonsortium unter Führung von Motorola Inc.
- Idee 1987:
  - eine Rufnummer weltweit
  - Unabhängigkeit von terrestrischen Kommunikationsnetzen
  - Verbindung auf See, Land und in der Luft
  - Digitale Sprachübertragung
  - Satellitentelefone (Handys)

Iridium

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- ursprünglich 77 Satelliten geplant
- seit 1996/1997 bis Ende 1998 Start der Satelliten (ca. 80 Stück)
- ging am 1.11.1998 mit 66 Satelliten in Betrieb

Iridium

Im Frühjahr 2000 Konkurs

- 1,5 Mrd. Dollar Schulden (1999)
- Plan: Iridium abstürzen zu lassen

Mitte/Ende 2000 neue Geldgeber

- u.a. US Verteidigungsministerium, Boeing
- Reorganisation / der Unternehmung
- Wiederaufnahme Betrieb im Frühjahr 2001

Iridium

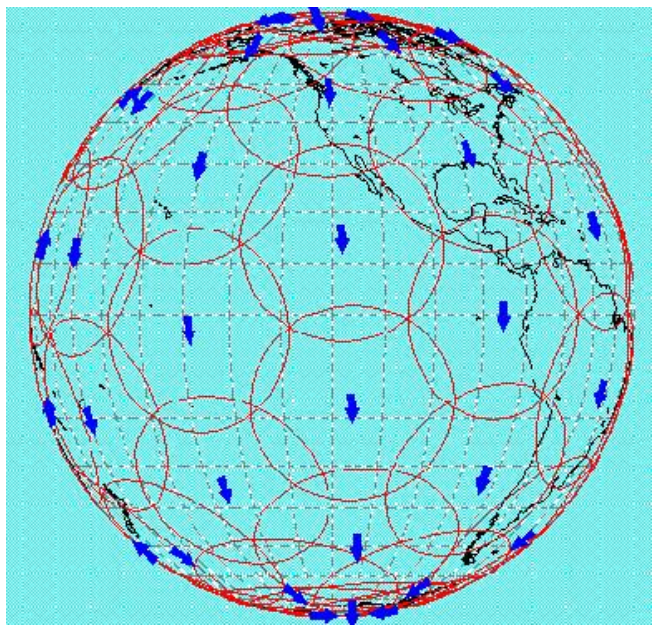
fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- Momentan 66 aktive Satelliten und 13 Reservesatelliten
- Höhe 780 km, Umlaufdauer 100 Min.
- Satelliten mit ISL (Intersatellite Link) ausgestattet
  $\Rightarrow$ Kommunikation zwischen Iridium-Nutzern wird zwischen den Satelliten aufgebaut
- 1.100 Kanäle Kapazität pro Satellit

Iridium

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- Satelliten auf sechs polaren LEOs stationiert
- 11 Satelliten pro Orbit
- Komplette Abdeckung der Erde (Ozeane, Polregionen)
- Footprint 4.800 km
- Drei Bodenstationen für u.a. Verbindung ins Festnetz



Iridium

fhwedel
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- Kommunikationsnetzwerk für Sprache und Daten
  - DFÜ bis zu 2,4 KBit/s
  - Internet bis zu 10 KBit/s
- Weitere Dienste: Paging, SMS, Notruf-Systeme
- Sichtverbindung empfohlen
- Kosten:
  Iridium-Iridium: 0,65 $/Min
  Iridium-Festnetz: 1,40 $/Min
  Festnetz-Iridium: 2,50 €/Min
- Gerätepreis (Handy): 1.598,00 €