

Satellitenempfang (2)

Im ersten Teil der Beitragsreihe wurde die Entwicklung in der Raumfahrt- und Satellitentechnik aufgezeigt. Dieser Beitrag beschreibt in den Grundzügen ein Satellitensystem und stellt den geostationären Erdorbit – kurz GEO – vor.

- Rundfunk-,
- Fernmelde-,
- Wetter-,
- Navigations- und
- Militärsatelliten.

Während Fernmeldesatelliten mit wenigen Ausnahmen nicht für den Empfang durch Jedermann freigegeben sind, übertragen Rundfunksatelliten Radio- und Fernsehprogramme für den allgemeinen Direktempfang (DTH: Direct to Home). Die Programme werden zum Satelliten auf einer Uplinkfrequenz hoch gestrahlt, dort frequenzmäßig umgesetzt und mit einer Downlinkfrequenz in die Empfangsanten-

nen im Zielgebiet (footprint) eingestrahlt. In den letzten Jahren wurde die Technik entwickelt und erschwinglich, mit der ein Teilnehmer sowohl empfangen als auch senden kann. Über den Rückweg zum Satellitenbetreiber bzw. Diensteanbieter via Satellit sind interaktive Anwendungen möglich geworden, ohne zusätzliche erdgebundene Übertragungswege in Anspruch nehmen zu müssen. Im nennenswerten Maßstab findet die bidirektionale Kommunikation über einen Satelliten in Privathaushalten nur zum Zweck des Internetzugangs Anwendung.

Bild 1 zeigt die Übertragungskette eines nicht-interaktiven Point-to-Multipoint-Satellitensystem (Broadcast Satellite System). Komplizierter wird es, wenn der Teilnehmer in umgekehrter Richtung, im Upstream, Informationen versenden kann

Satellitensystem

Ein Satellitensystem besteht aus einem oder mehreren Satelliten, die über eine oder mehrere Bodenstationen Nachrichten austauschen und Steuerinformationen beziehen. Die Einrichtungen auf der Erdoberfläche nennt man Erd- oder Bodensegment. Der Satellit stellt das Raumsegment dar. Der Teil des Übertragungsweges von der Bodenstation zum Satelliten heißt „uplink“. Den Weg vom Satelliten zur Empfangsantenne nennt man „downlink“.

Bodensegment

Beim Bodensegment unterscheidet man im Wesentlichen drei Typen von Funkstellen:

Betriebsstation. Das TTC (telemetry and tracking center) dient dem Satellitenbetreiber zur Steuerung und Überwachung des Satelliten.

Kontrollstationen. Zur Überwachung der Parameter der Satellitenfunkstrecken und der Qualität der übertragenen Dienste gibt es Kontrollstationen.

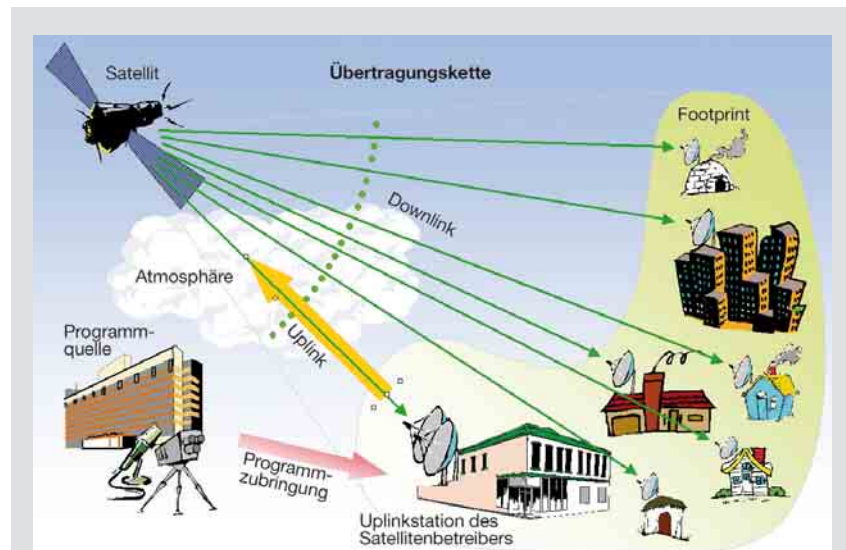
Sende- und Empfangsfunkstellen. Feste und mobile Sende- und Empfangsfunkstellen sind für die Übertragung der Nutzsignale zuständig.

Satellitenarten

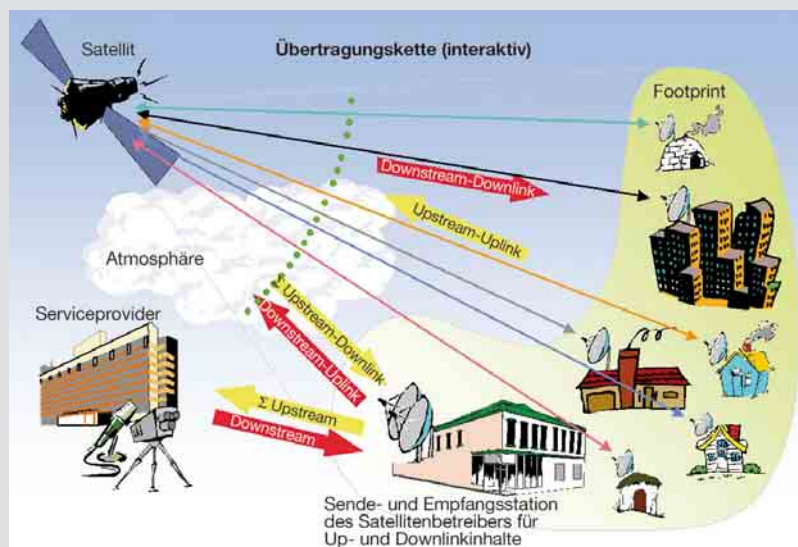
Ein Satellitensystem kann für

- Rundfunkprogramme (TV und Radio),
- Telefon- und Datensignale,
- meteorologische Daten
- navigatorische Daten,
- militärische Zwecke

u. v. m. ausgestaltet sein. Je nach Aufgabe unterscheidet man daher



1 Point to multipoint – Satelliten als reines Verteilmedium



2 Multipoint to point – Antennen auf der Erdoberfläche, die Informationen zum Satelliten senden können, für interaktive Anwendungen ohne terrestrische Verbindungen

(Bild 2). In diesem Fall haben wir es mit einer Multipoint-to-Point-Übertragung zu tun, die völlig neue Probleme für den Satellitenbetreiber aufwirft.

■ GEO

Das 1. Keplersche Gesetz beschreibt die Bewegung jedes erdumlaufenden Satelliten auf Ellipsen, in deren Brennpunkt die Erde liegt. Die Satellitenbahnen können beliebig gegen die Erdachse geneigt sein (Bild 3). Der Satellit wird nur mit nachgeführten Antennen zu empfangen sein, wenn er sich gerade über dem Horizont im sichtbaren Teil des Himmels aufhält. Allerdings gibt es eine Satellitenumlaufbahn, wo der Satellit von der Erde aus gesehen unbeweglich am Himmel steht und deshalb dauerhaft mit Festantennen zu empfangen ist. Diese besondere Bahn ist der GEO (**G**eostationä**r**y **E**arth **O**rb**i**t).

Auf einen antriebslosen Satelliten wirken im Erdumlauf zwei gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte: Fliehkraft (Zentrifugalkraft) und Erdanziehungskraft (Gravitationskraft).

In Gleichung (1) werden die beiden Kräfte gleichgesetzt und daraus der Radius des geostationären Orbits bestimmt:

Zentrifugalkraft=Gravitationskraft

$$m\omega^2 R = g \frac{mM}{R^2} \quad (1)$$

m Satellitenmasse (kürzt sich heraus!)

M 5,9736 · 10²⁴ kg (Erdmasse)

ω Winkelgeschwindigkeit

R gesuchter Bahnradius

g 6,67428 · 10⁻¹¹ m³/(kg · s²) (Gravitationskonstante)

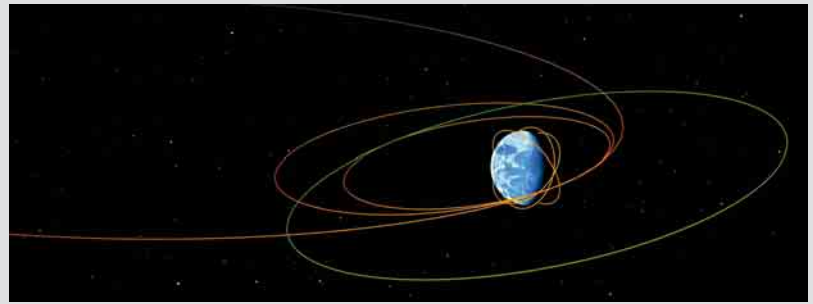
Setzt man $\omega = 2\pi/T$ mit $T = 86\,164,1$ s (Dauer eines Umlaufes = 1 Sternentag) und löst nach R auf, ergibt sich

$$R = \sqrt[3]{\frac{MgT^2}{4\pi^2}} = 42\,167 \text{ km} \quad (2)$$

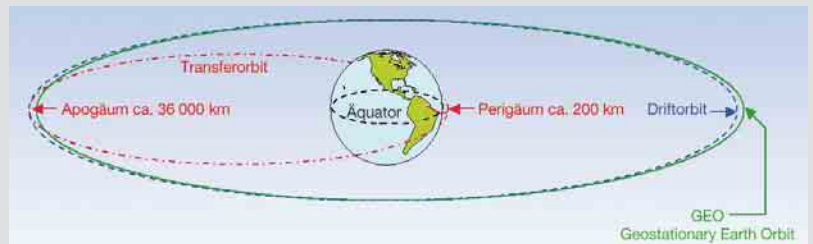
Der Radius R des GEOs entspricht dem 6,61fachen des Erdradius (6378 km). Der Abstand des Satelliten im GEO senkrecht zum Äquator beträgt 42167 km – 6378 km = 35 789 km.

■ Weg in den GEO

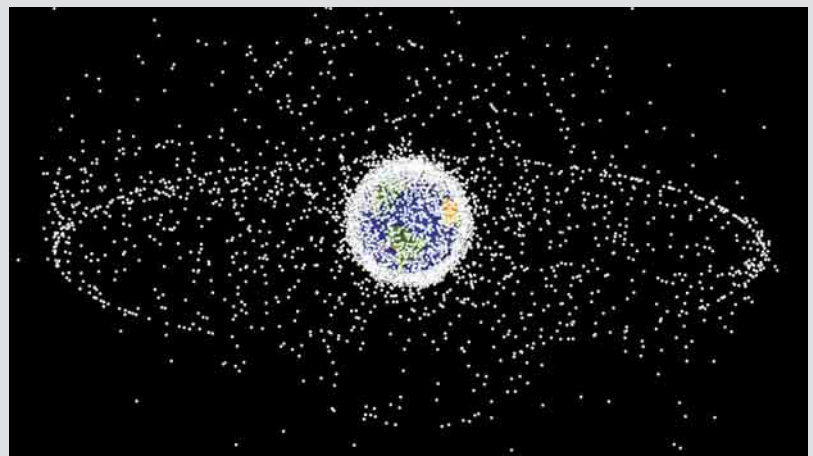
Satelliten werden mittels Trägerraketen in die geostationäre Umlaufbahn gebracht. Beim Start der Trägerrakete kann man die Umfangsgeschwindigkeit der sich von Ost nach West drehenden Erde ausnutzen. Sie ist am Äquator maximal (Erdum-



3 Satelliten umlaufen die Erde auf Orbitalbahnen – die Grüne ist geostationär Quelle: EADS



4 Weg in den GEO über Transfer- und Drift-Orbit



5 Tausende künstliche Objekte umrunden heute die Erde

Quelle: NASA

fang/24 h = 40 000 km/24 h = 1667 km/h) und an den Polen Null. Aus wirtschaftlichen Gründen sind deshalb Startorte in Äquaturnähe besonders günstig. Deshalb startet die europäische Raumfahrtindustrie ihre Ariane-Raketen mit geostationäre Satelliten als Nutzlast in Kourou (5° 14' N, 52° 45' W) in Französisch-Guyana an der Nordost-Küste von Südamerika.

Ein Satellit wird nicht direkt in seine geostationäre Umlaufbahn geschossen, sondern zunächst in den so genannten Transfer-Orbit. Das ist eine stark elliptische Bahnkurve, in deren erdnächstem Punkt (Perigäum) die Rakete den Satelliten absetzt. Am erdfernten Punkt der Bahnkurve (Apogäum) werden die Apogäumsmotoren gezündet, wodurch der Satellit in den Driftorbit übergeht. Hier erfolgt mit kleinen Korrektorschüben die Überführung in den GEO (Bild 4).

Der Satellit führt nur einen begrenzten Treibstoffvorrat für die Apogäumsmotoren und die Lagekorrekturdüsen mit. Deshalb sind alle Manöver möglichst effizient

durchzuführen, damit ausreichend Treibstoff für die Positionsstabilisierung während der gesamten Satellitenlebensdauer verbleibt. Falsche Manöver würden die Nutzungsdauer des Satelliten senken, was einem hohen Geldverlust gleich kommt.

Der Satellit hat den GEO erreicht, wenn seine Umlaufzeit 86 164,1 s (Sternentag) beträgt, seine Flugbahn exakt kreisförmig ist und präzise in der Äquatorialebene liegt (keine Inklination).

■ Satelliten im GEO

Mittlerweile sind hunderte Satelliten im GEO und tausende in anderen meist tiefer gelegenen Umlaufbahnen. In Bild 5 ist die höhere Satellitendichte im GEO zu erkennen, ebenso die dichte Hülle der vielen auf niedrigeren Bahnen die Erde umlaufenden Satelliten (LEO **L**ow **E**arth **O**rbiter), beispielsweise für GPS, Wetterbeobachtung, Telefonie, usw.

K. Jungk