

Mobilkommunikation

Kapitel 5: Satellitensysteme

- Geschichte
- Grundlagen
- Lokalisierung
- Handover
- Routing
- Systeme



Geschichte der Satellitenkommunikation

- 1945 Arthur C. Clarke veröffentlicht Aufsatz über „Extra Terrestrial Relays“
- 1957 erster Satellit SPUTNIK
- 1960 erster reflektierender Nachrichtensatellit ECHO
- 1963 erster geostationärer Satellit SYNCOM
- 1965 erster kommerzieller geostationärer Satellit „Early Bird“ (INTELSAT I): 240 Duplex-Telefonkanäle oder 1 Fernsehkanal, Lebensdauer 1,5 Jahre
- 1976 drei MARISAT Satelliten für maritime Kommunikation
- 1982 erstes mobiles Satellitentelefonsystem INMARSAT-A
- 1988 erstes landmobiles Satellitensystem für Datenkommunikation INMARSAT-C
- 1993 erste digitale landmobile Satellitentelefonysteme
- 1998 globale Satellitentelefonysteme für Handys



Einsatzgebiete für Satelliten

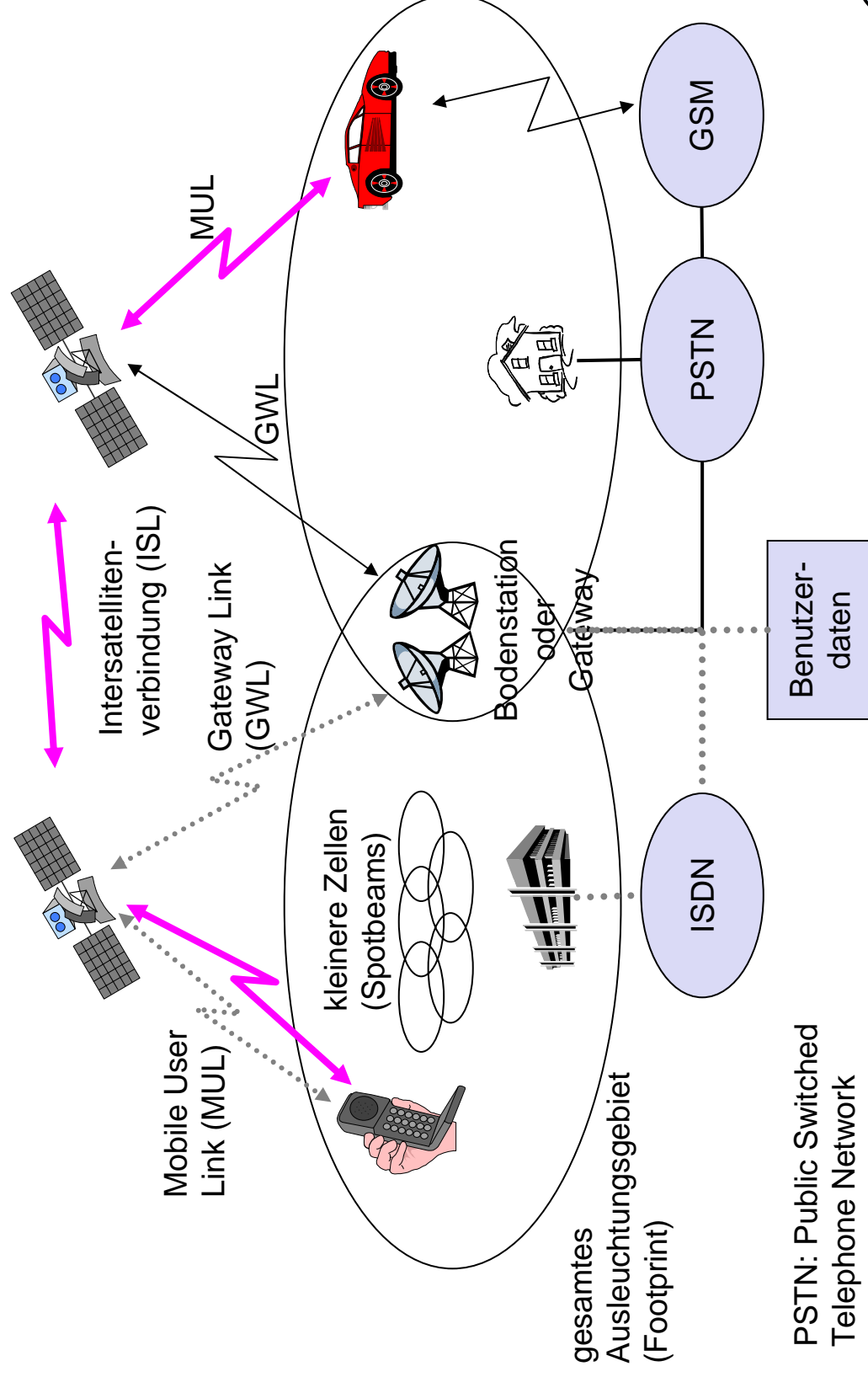
- ❑ traditionell:
 - ❑ Wettersatelliten
 - ❑ Rundfunk- und Fernsehsatelliten
 - ❑ militärische Dienste
 - ❑ Satelliten zur Navigation und Ortung (GPS)
- ❑ für Telekommunikation:
 - ❑ weltweite Telefonverbindungen
 - ❑ Backbone für globale Netze
 - ❑ Kommunikationsverbindungen in schwer zugänglichen Gebieten oder unterentwickelten Regionen (Verkabelung nur mit großem Aufwand möglich)
 - ❑ weltweite Mobilkommunikation

} immer mehr von Glasfaser abgelöst

➔ Satellitensysteme als Ergänzung zu zellularen Mobilfunksystemen



Aufbau eines Satellitensystems



PSTN: Public Switched Telephone Network



Grundlagen

Satelliten in kreisförmigen Umlaufbahnen

- Anziehungskraft $F_g = m g (R/r)^2$
- Zentrifugalkraft $F_c = m r \omega^2$
- m: Satellitenmasse
- R: Erdradius ($R = 6370 \text{ km}$)
- r: Entfernung vom Erdmittelpunkt
- g: Erdbeschleunigung ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)
- ω : Winkelgeschwindigkeit ($\omega = 2 \pi f$, f: Umlauffrequenz)

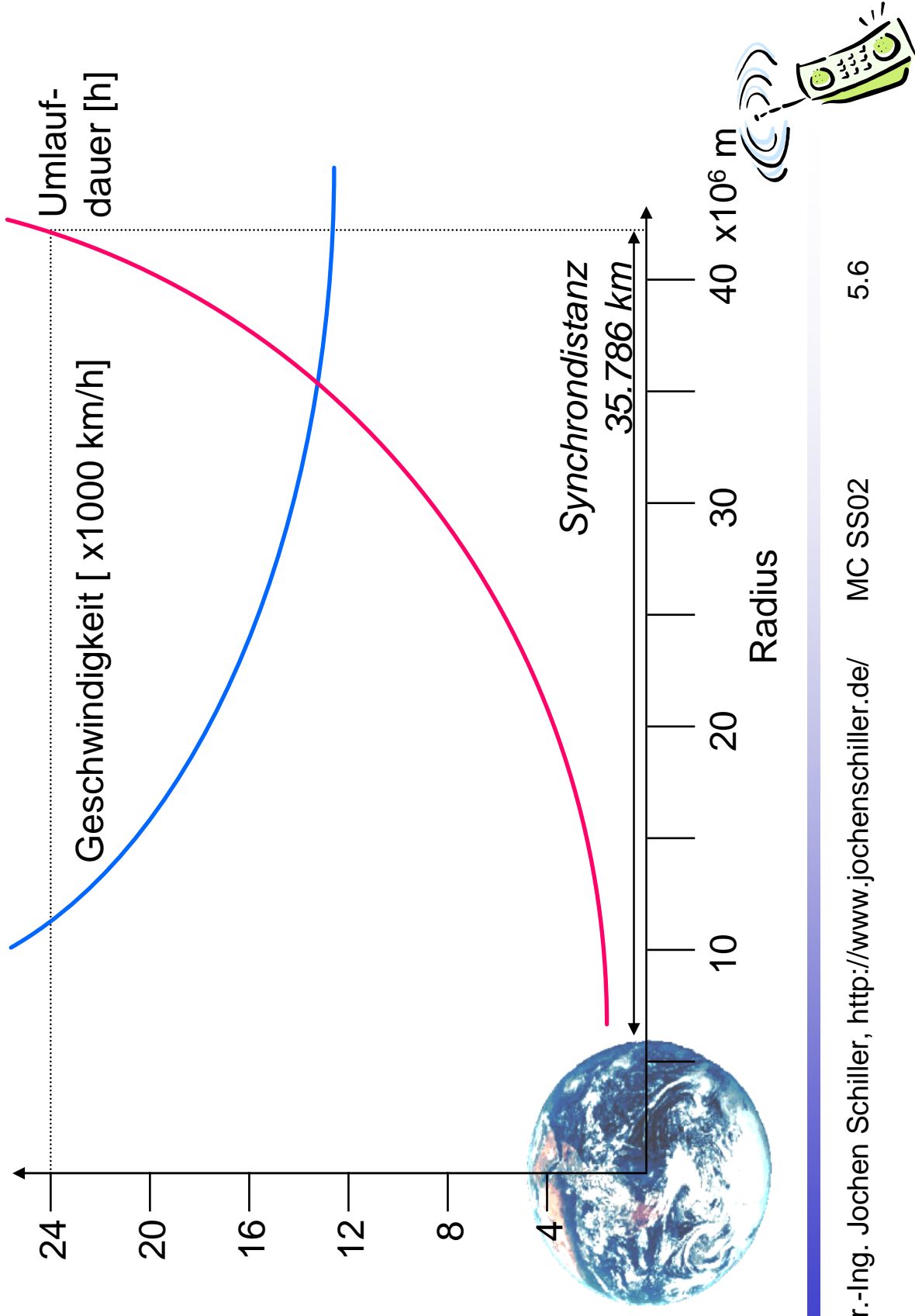
Stabile Umlaufbahn

- $F_g = F_c$

$$r = \sqrt[3]{\frac{gR^2}{(2\pi f)^2}}$$



Zusammenhang von Umlaufdauer und -bahn

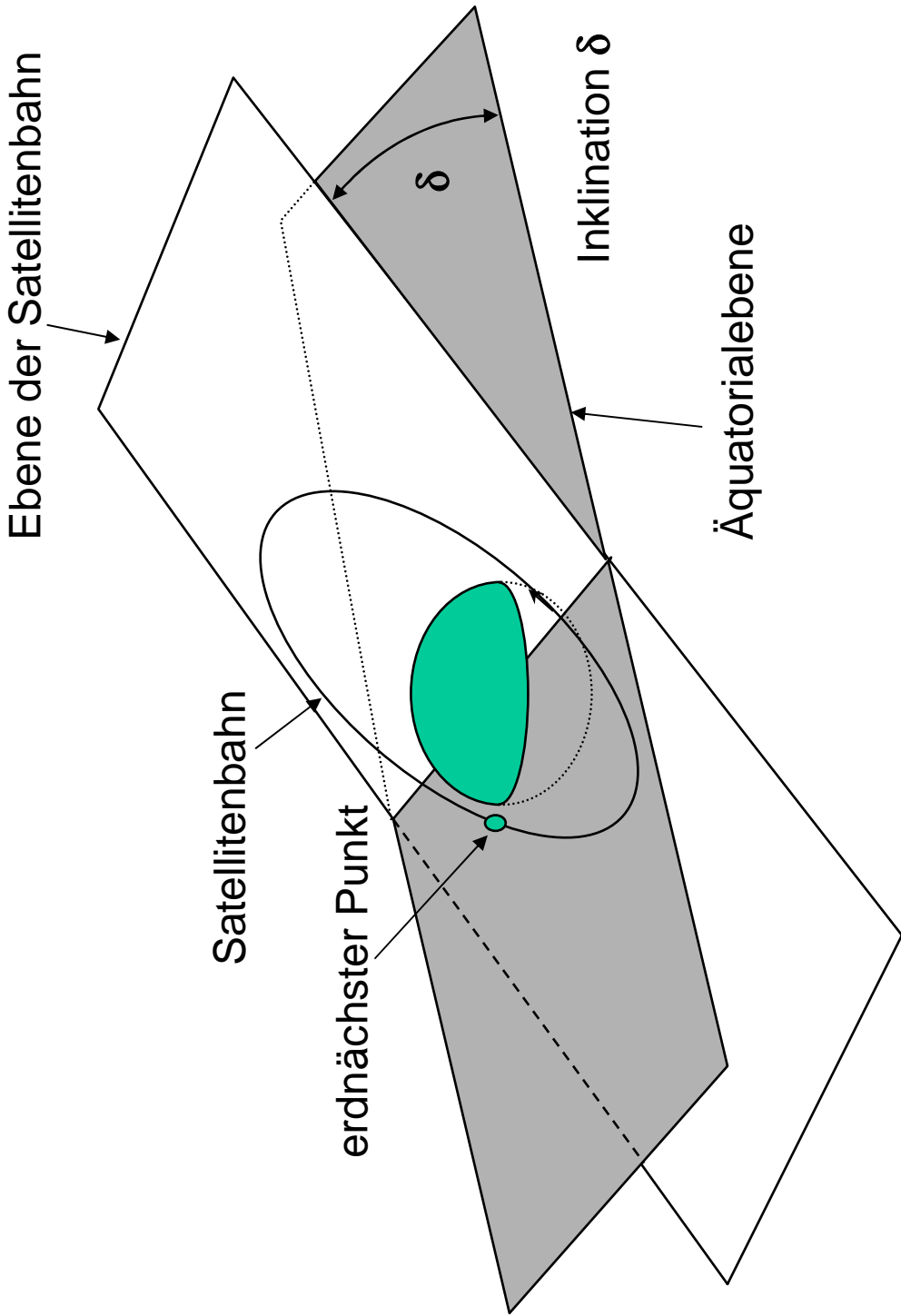


Grundlagen

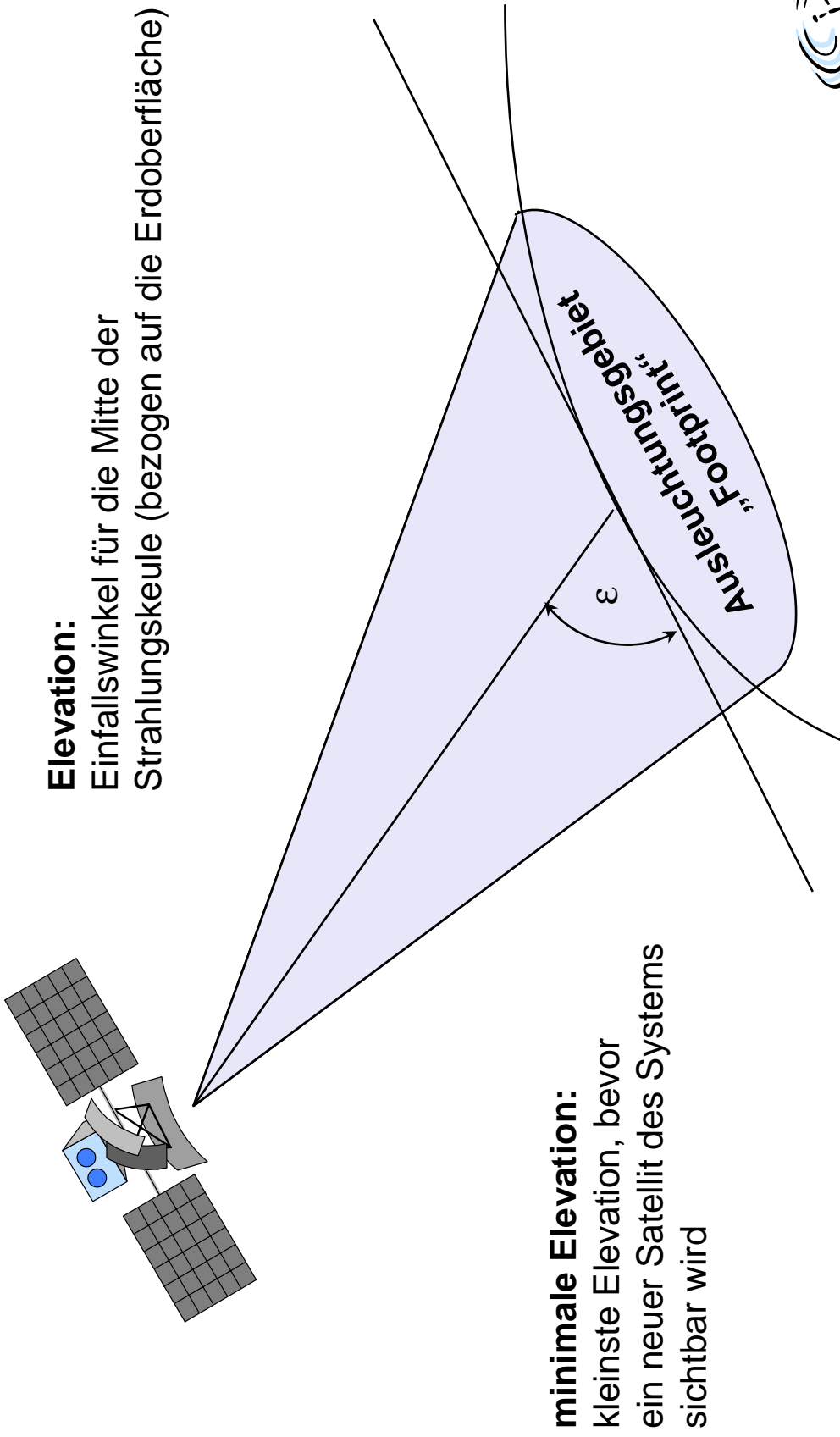
- Umlaufbahnen (= Orbits) elliptisch oder kreisförmig
- bei kreisförmigen Orbits Umlaufdauer von Höhe über Erdoberfläche abhängig
- Inklination: Neigung des Orbits gegenüber dem Äquator
- Elevation: Erhebungswinkel des Satelliten über den Horizont
- Sichtverbindung (LOS = Line of Sight) zum Satelliten für Funkverbindung notwendig
 - höhere Elevation besser, da weniger Abschattung durch Hindernisse
- Uplink: Verbindung Bodenstation - Satellit
- Downlink: Verbindung Satellit - Bodenstation
- meist getrennte Frequenzbereiche für Up- und Downlink
 - Transponder zum Umsetzen der Signale auf andere Frequenz
 - transparente Transponder: nur Frequenzumsetzung
 - regenerative Transponder: zusätzlich Signalaufbereitung



Inklination



Elevation



Übertragungsleistung von Satelliten

Parameter wie Dämpfung oder empfangene Leistung werden von vier Werten bestimmt:

- Sendeleistung
- Antennengewinn (Sender)
- Abstand von Sender und Empfänger
- Antennengewinn (Empfänger)

L: Loss
f: carrier frequency
r: distance
c: speed of light

$$L = \left(\frac{4\pi r f}{c} \right)^2$$

Probleme

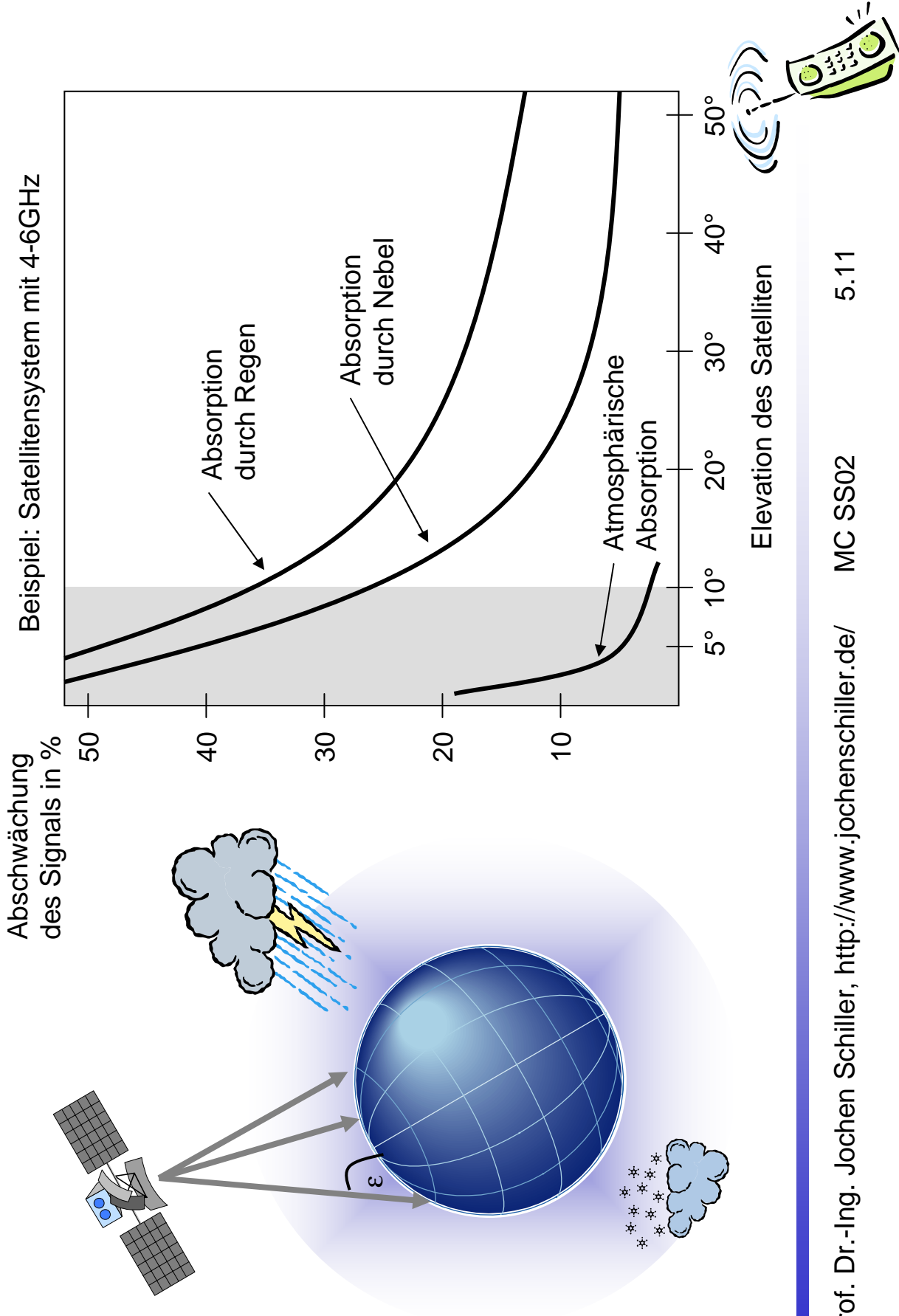
- schwankende Signalstärke auf Grund der Mehrwegeausbreitung
- Signalunterbrechung auf Grund von Abschattungen (keine LOS)

Mögliche Lösungen

- Signalschwankungen können durch Leistungsreserven ausgeglichen werden
- Satelliten Diversität hilft bei geringerer Sendeleistung (Einsatz mehrerer gleichzeitig sichtbarer Satelliten)



Atmosphärische Dämpfung



Orbits I

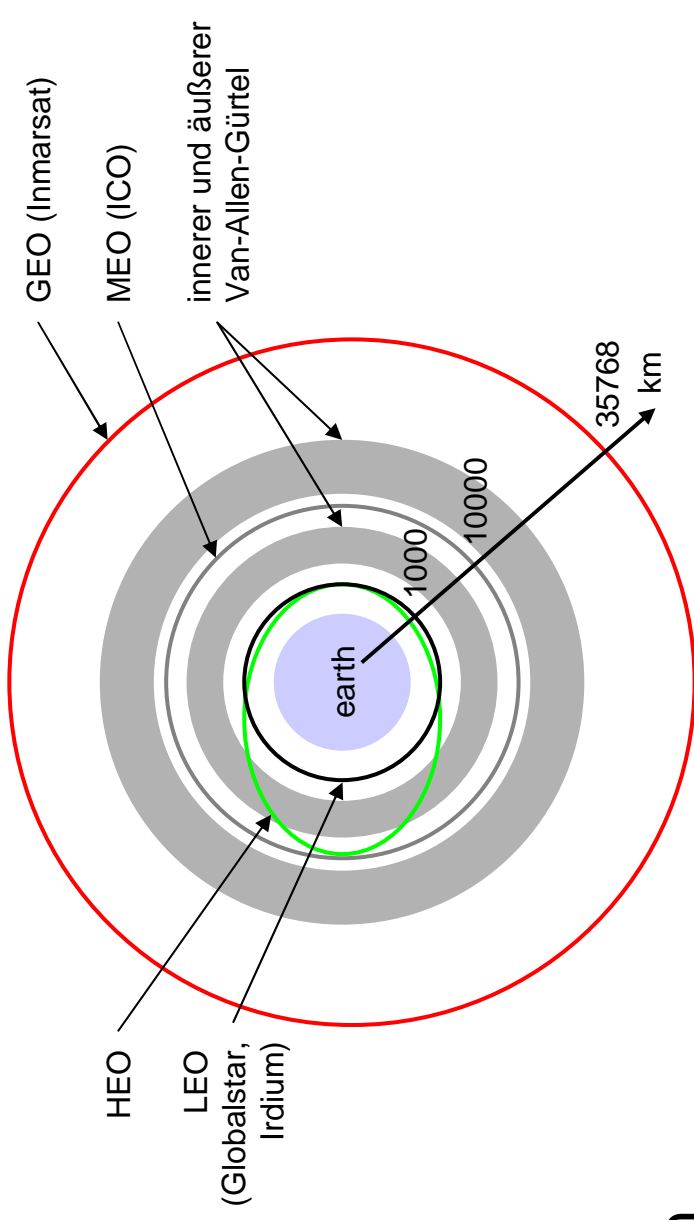
Satellitenorbits werden nach Art und Höhe des Orbits in vier

Klassen eingeteilt:

- ❑ GEO: geostationärer Orbit in etwa 36000 km Höhe
- ❑ LEO (Low Earth Orbit) in 700 - 2000 km Höhe
- ❑ MEO (Medium Earth Orbit) oder ICO (Intermediate Circular Orbit) in 6000 - 20000 km Höhe
- ❑ HEO (Highly Elliptical Orbit) elliptische Orbits



Orbits II



**Van-Allen-Gürtel:
ionisierte Teilchen
in 2000 - 6000 km
Höhe (kein Satelliten-
Betrieb möglich)**



Geostationäre Satelliten

Orbit in 35.786 km Entfernung von der Erdoberfläche in der Äquatorebene
(Inklination 0°)

- ➔ Umlaufzeit beträgt 1 Tag, Satellit bewegt sich synchron mit Erddrehung
 - ❑ feste Position der Antennen, kein Nachführen nötig
 - ❑ Satellit leuchtet relativ großes Gebiet aus, Frequenzen dadurch schlecht wiederverwendbar
 - ❑ durch feste Position über Äquator schlechte Elevation in Breitengraden über 60°
 - ❑ hohe Sendeleistungen nötig
 - ❑ durch große Entfernung lange Laufzeit, ca. 275 ms
- ➔ ungeeignet für flächendeckende Mobilfunkversorgung, daher meist Rundfunk- und Fernsehsatelliten



LEO-Systeme

Orbit in 700 - 2000 km Höhe

- ❑ Sichtbarkeitsdauer eines Satelliten 10 - 40 Minuten
- ❑ globale Funkversorgung möglich
- ❑ Laufzeit vergleichbar mit terrestrischen Weitverkehrsverbindungen, etwa 5 - 10 ms
- ❑ kleinere Ausleuchtungsgebiete, bessere Frequenznutzung
- ❑ Gesprächsübergabe (Handover) benötigt
- ❑ viele Satelliten für globale Funkversorgung nötig
- ❑ Frequenzänderung wg. Satellitenbewegung (Dopplereffekt)



Beispiele:

Iridium (Betriebsbeginn Sept. 1998, 66 Satelliten)

Bankrott! Einstellung der Dienste: März 2000, dann Teilübernahme durch Militär, immer noch unsichere Zukunft

Globalstar (Betriebsbeginn 2000, 48 Satelliten)

2001 lediglich ca. 44000 Kunden, Handys unter 10h Standby

MEO-Systeme

Orbit in 6000 - 20000 km Höhe

Vergleich mit LEO-Systemen:

- Geschwindigkeit des Satelliten langsamer
- weniger Satelliten benötigt
- weniger starker Doppler-Effekt
- Verbindungen meist ohne Handover möglich
- längere Laufzeiten, etwa 70 - 80 ms
- höhere Sendeleistung nötig
- stärker bündelnde (= größere) Antennen für kleine Ausleuchtungsgebiete nötig

Beispiele:

ICO (Intermediate Circular Orbit, Inmarsat), Start geplant 2000,

- Bankrott! – Zusammenarbeit mit Teledesic, Ellipso – dann doch wieder gestoppt – Start nun 2003 geplant ...



Routing

Möglichkeit: Intersatellitenlinks (ISL)

- ❑ reduziert Anzahl erforderlicher Gateways
- ❑ Gespräche werden so weit wie möglich über Satelliten geführt (weniger Gebühren für terrestrische Netze)
- ❑ bei Verbindung zweier Mobilstationen nur ein Uplink und ein Downlink nötig

Probleme:

- ❑ präzise Ausrichtung der Antennen komplex
- ❑ kompliziertes Regelungssystem wegen Eigenbewegung der Satelliten nötig
- ❑ höherer Treibstoffverbrauch
- ❑ kürzere Lebensdauer

Iridium und Teledesic mit ISL geplant

Andere Systeme benutzen Gateways und terrestrische Netze



Lokalisieren von Mobilstationen

Systeme benutzen ähnliche Mechanismen wie bei GSM

In Bodenstationen oder Gateways werden Benutzerdaten abgelegt

- HLR (Home Location Register): Stammdaten des Teilnehmers
- VLR (Visitor Location Register): (letzter) Aufenthaltsort des TN
- SUMR (Satellite User Mapping Register):
 - zugeordneter Satellit des TN
 - Positionen aller Satelliten

Anmeldung einer Mobilstation:

- Feststellen der Position durch den Satelliten
- Anforderung der Benutzerdaten im HLR
- Neuordnung des VLR und SUMR

Anrufen einer Mobilstation:

- Feststellen der Position der Mobilstation über die Register
- Verbindungsaufbau über entsprechenden Satelliten



Handover in Satellitensystemen

In Satellitensystemen gibt es durch die Bewegung des Satelliten zusätzliche Situationen, in denen ein Handover notwendig ist:

- Intra-Satelliten-Handover
 - von einem Spotbeam zum nächsten
 - Mobilstation noch im Footprint des Satelliten, aber in anderer Zelle
- Inter-Satelliten-Handover
 - Handover von einem Satelliten zum nächsten
 - Mobilstation nicht mehr im Footprint eines Satelliten
- Gateway-Handover
 - Handover von einem Gateway zum nächsten
 - Mobilstation noch im Footprint des Satelliten, aber Gateway nicht mehr in diesem Footprint
- Inter-System-Handover
 - Handover zwischen Satellitennetz und terrestrischem Mobilfunknetz
 - Wechsel der Netze möglich wegen Kosten oder Erreichbarkeit



Übersicht über geplante/existierende Systeme

	Iridium	Globalstar	ICO	Teledesic
# Satelliten	66 + 6	48 + 4	10 + 2	288
Höhe (km)	780	1414	10390	ca. 700
Abdeckung	global	±70° Breite	global	global
min. Elevation	8°	20°	20°	40°
Frequenzen [GHz (circa)]	1,6 MS	1,6 MS ↑	2 MS ↑	19 ↓
	29,2 ↑	2,5 MS ↓	2,2 MS ↓	28,8 ↑
	19,5 ↓	5,1 ↑	5,2 ↑	62 ISL
	23,3 ISL	6,9 ↓	7 ↓	
Zugriffs- methode	FDMA/TDMA	CDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA
ISL	yes	no	no	yes
Datenrate	2,4 kbit/s	9,6 kbit/s	4,8 kbit/s	64 Mbit/s ↓ 2/64 Mbit/s ↑
# Kanäle	4000	2700	4500	2500
Lebensdauer [Jahre]	5-8	7,5	12	10
Kosten (grobe Abschätzung)	4,4 Mrd€	3 Mrd€	4,5 Mrd€	9 Mrd€

Bankrott...

Start 2000

Bankrott...

Verbund

DoD Übernahme Kunden?

Zusammenschluss

mit ICO??

