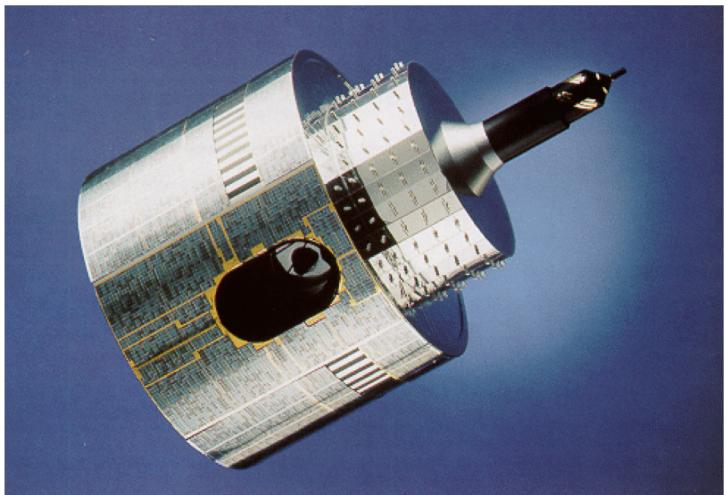


Orbits und Satelliten

Optik, Strahlung, Fernerkundung
Sommersemester 2018

Stefan Bühler

Meteorologisches Institut
Universität Hamburg



Übersicht – alle Kapitel

Einleitung

1. Orbits und Satelliten
2. Elektromagnetische Wellen
3. Grundgesetze der Optik
4. Natürliche Oberflächen
5. Thermische Strahlung
6. Strahlungstransfergleichung
7. Streuung

Prüfungsvorbereitung

Prüfung

Quellen

- ▶ W.G. Rees, Physical Principles of Remote Sensing, Cambridge (für Orbit)
- ▶ EUMETSAT Webseite, ESA Webseite
- ▶ Mein FIDUCEO Blog-Post
<http://www.fiduceo.eu/content/orbit-drift-and-diurnal-cycle-aliasing>
- ▶ Eigene Artikel

Übersicht

- ▶ Wie beschreibt man einen Orbit?
- ▶ Geostationäre Orbits
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ Orbit Drift
- ▶ Zusammenfassung

Übersicht

- ▶ **Wie beschreibt man einen Orbit?**
- ▶ Geostationäre Orbits
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ Orbit Drift
- ▶ Zusammenfassung

Gravitationspotential einer Punktmasse

$$U(r) = -\frac{\alpha}{r} \quad \text{mit} \quad \alpha = Gm_1m_2$$

U : Gravitationspotential ($F=dU/dr$)

G : Gravitationskonstante

m_i : Massen

+ 2. Newtonsches Gesetz ($F=m^*a$)

Wikipedia: Isaac
Newton (1643–1727)

= Keplersche Gesetze

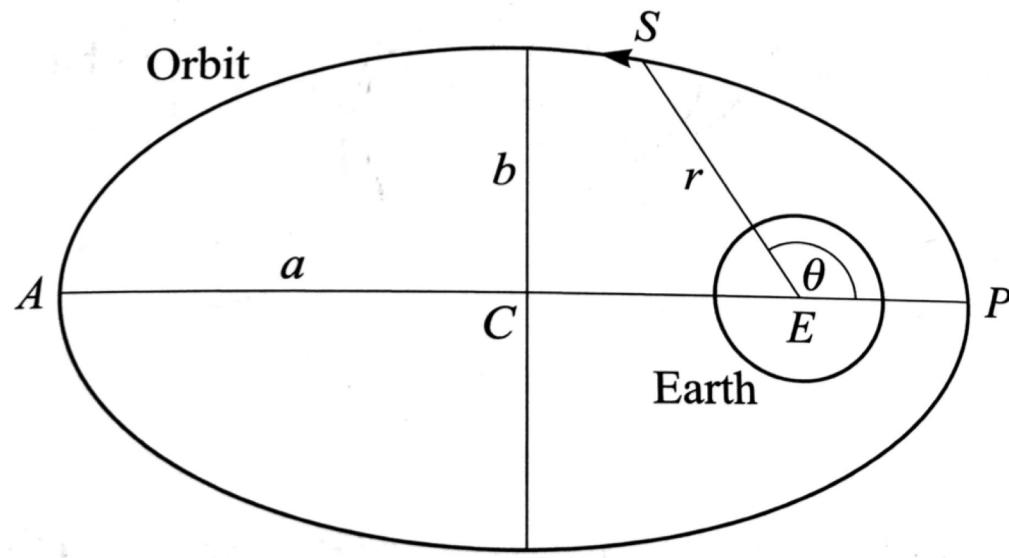
Wikipedia: Johannes
Kepler (1571–1630)

Kepler's Gesetze

1. Die ~~Planeten~~ **Satelliten** bewegen sich auf elliptischen Bahnen. In einem ihrer Brennpunkte steht die Sonne.
2. Ein von der ~~Sonne~~ **Erde** zum ~~Planeten~~ **Satelliten** gezogener Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier ~~Planeten~~ **Satelliten** verhalten sich wie die Kuben (dritten Potenzen) der großen Halbachse der Ellipse.

Quelle: Wikipedia

Orbit Kennzahlen



Nicht eingezeichnet:

Ω : Winkelgeschwindigkeit
($d\theta/dt$)

Periode (=Zeit für einen
Umlauf)

S: Satellit

E: Erde

r: Abstand vom Erd-
Mittelpunkt

θ : Orbit Winkel

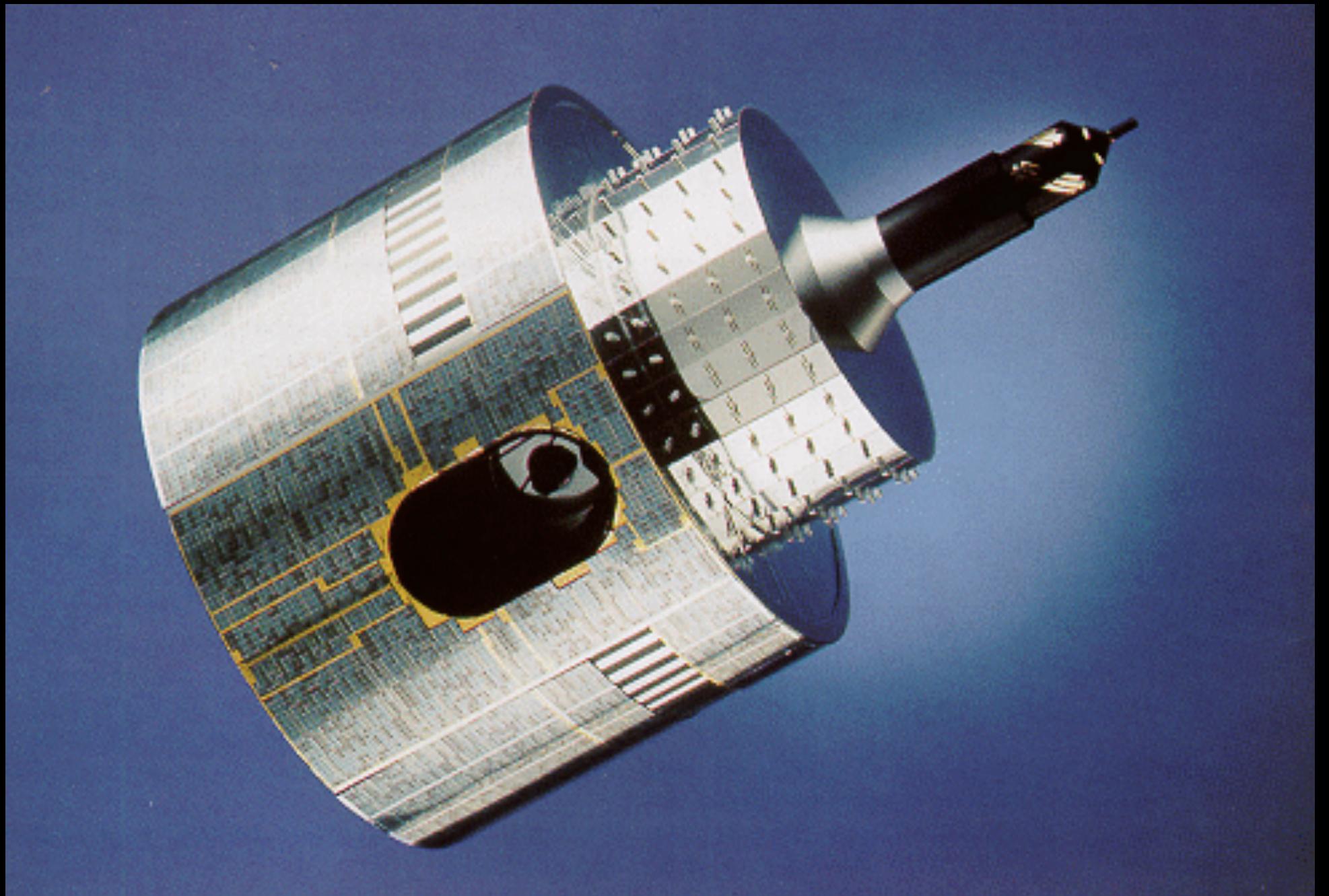
P: Perigeum

A: Apogeum

a,b: Halbachsen der
Ellipse

$\varepsilon = CE/CA$: Exzentrizität

Bild: Rees



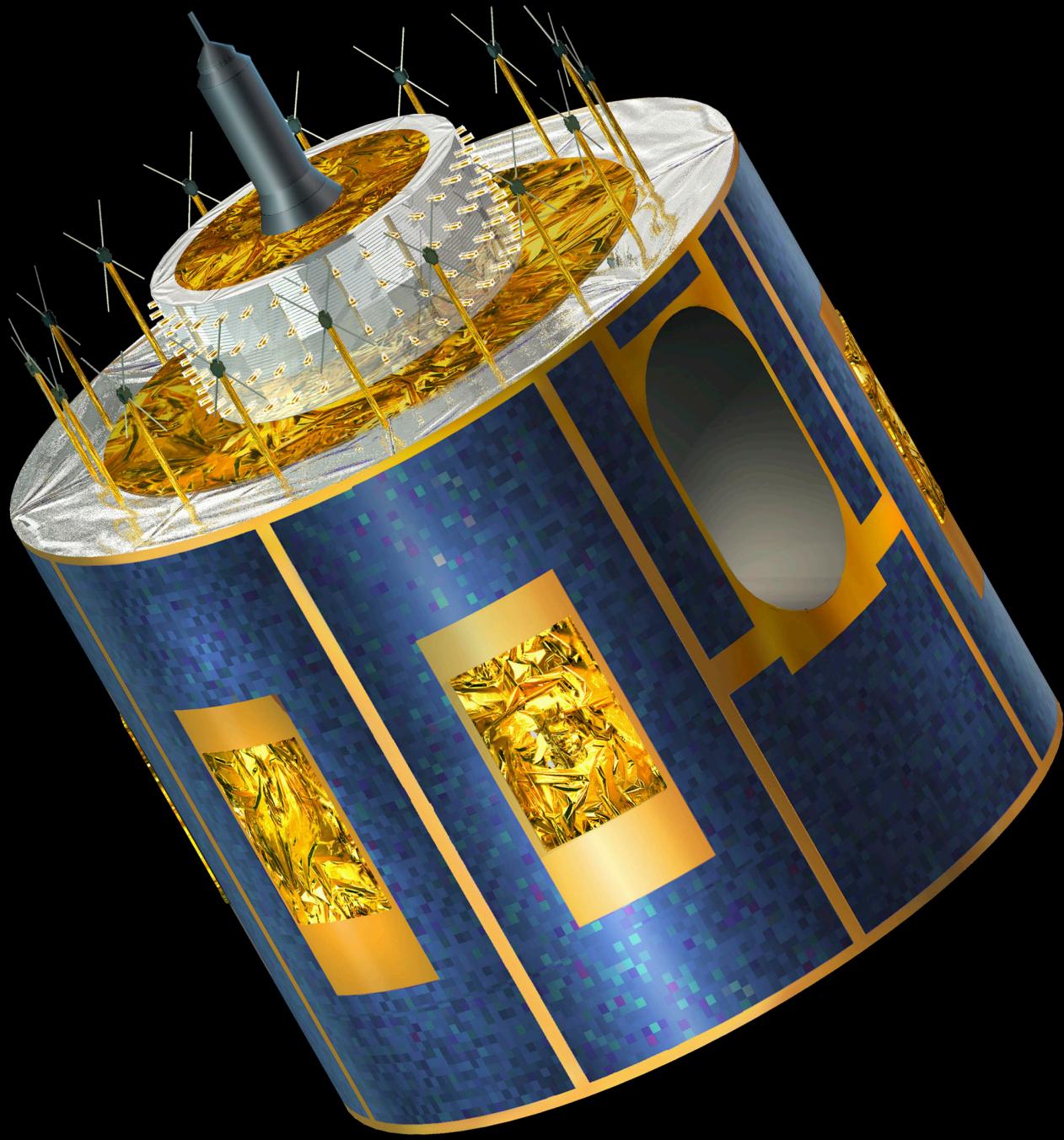
Meteosat First Generation

(Bild: http://ehf.uni-oldenburg.de/meteo/meteo_engl.html)



Übersicht

- ▶ Wie beschreibt man einen Orbit?
- ▶ **Geostationäre Orbits**
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ Orbit Drift
- ▶ Zusammenfassung



Meteosat Second
Generation,
Bildquelle: ESA

Meteosat

Höhe?

~36 000 km über
dem Äquator



Bild: <http://users.castel.nl/~brinb05/meteosat.jpg>

Geostationärer Orbit



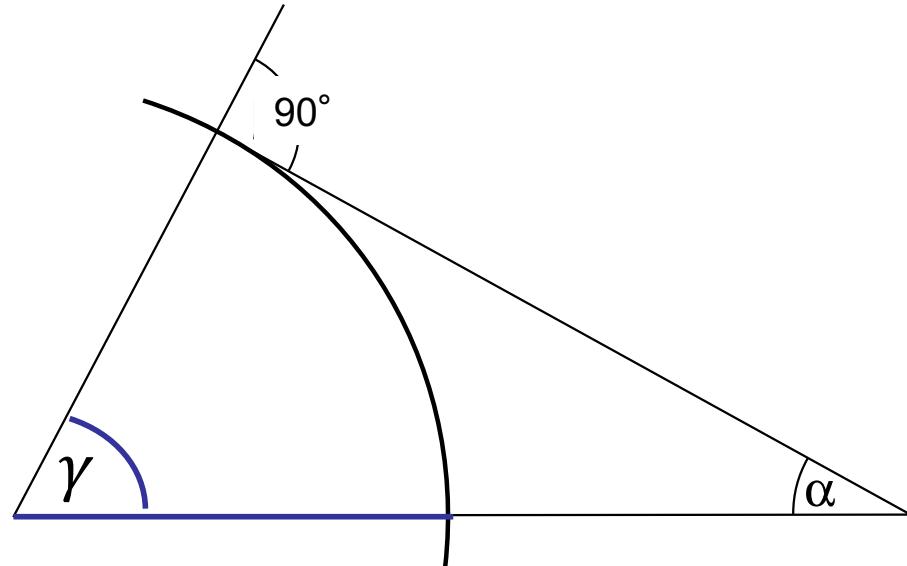
Kepler:

Umlaufzeit² ~ Radius³

Höhe: 35 786 km

Umlaufzeit: 23h 56min

Blickgeometry für geostationäre Sensor



Höchste theoretisch beobachtbare Breite ist γ .

Obwohl der Satellit recht weit weg ist, sieht er nicht die ganze Hemisphere.

GEO Orbit leider nicht für hohe Breiten geeignet.

Bild: Oliver Lemke

Geostationäre Satelliten

Weit über 100, hauptsächlich für Fernsehen und Telekommunikation

Meteorologie:

- ▶ **Meteosat** (Europa)
- ▶ **GOES** (USA)
- ▶ **GMS** (Japan)
- ▶ **INSAT** (Indien)
- ▶ **GOMS** (Russland)



Vorteile/Nachteile?

GEO Instrumente

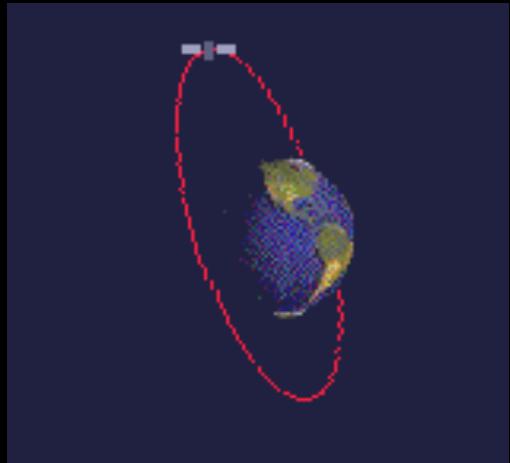
Auf Meteosat Second Generation (MSG)

- ▶ SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)
 - Bilder für die operationelle Wettervorhersage
- ▶ GERB (Geostationary Earth Radiation Budget)
 - Breitbandig, für Strahlungsbudget

Übersicht

- ▶ Wie beschreibt man einen Orbit?
- ▶ Geostationäre Orbits
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ Orbit Drift
- ▶ Zusammenfassung

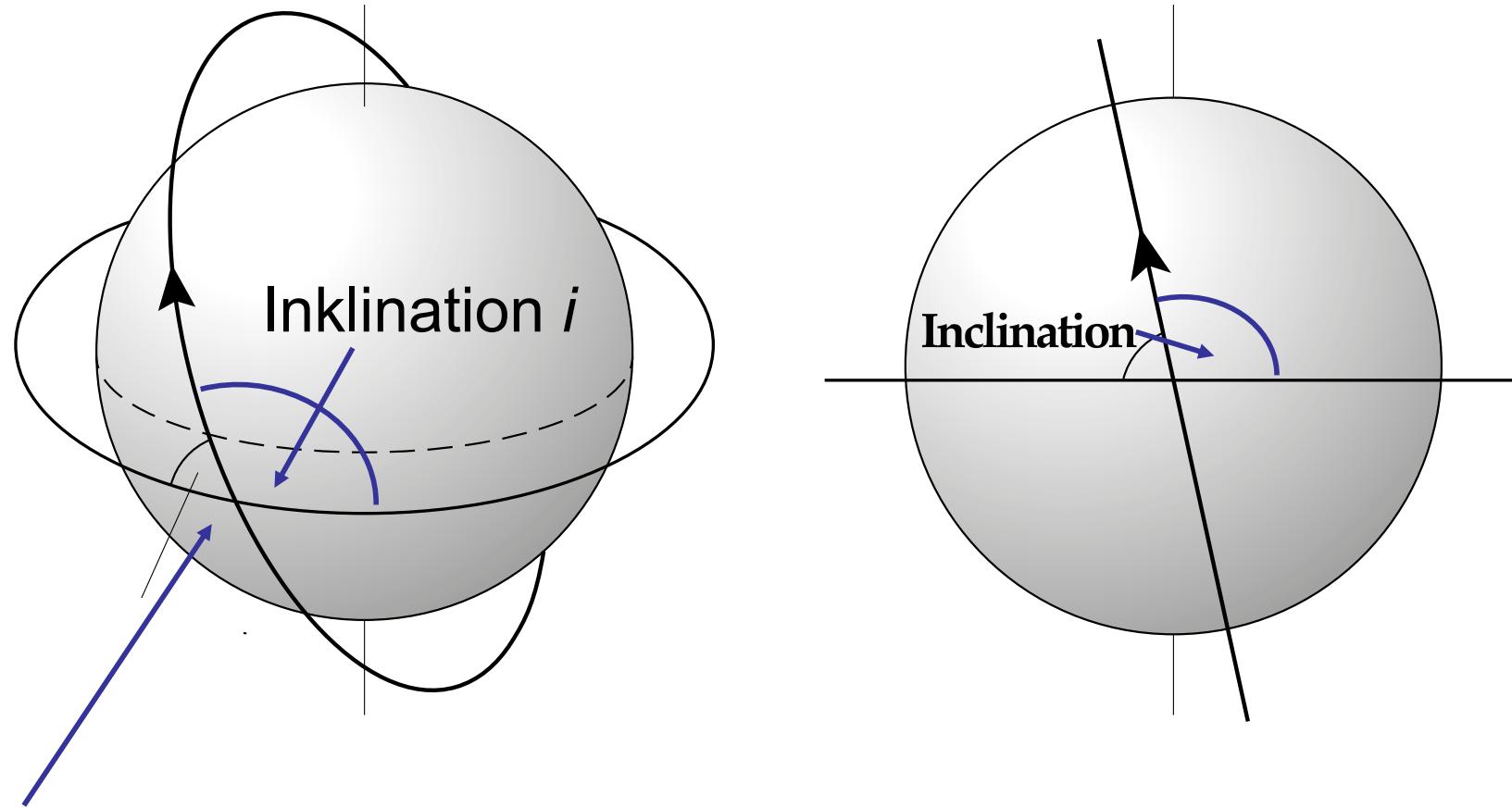
„Low Earth“ Orbits



Höhe: zwischen
Atmosphäre und Van Allen
Gürtel (500-2000 km)

Umlaufzeit: 90-130
Minuten

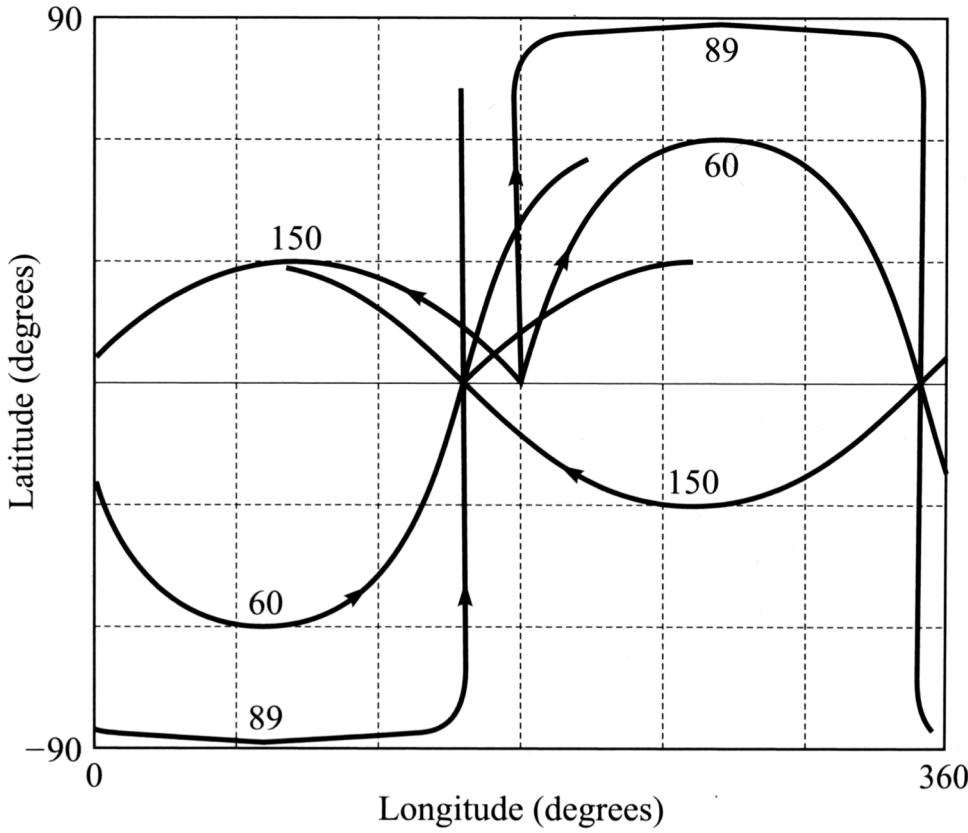
Noch zwei Orbit Kennzahlen



„Ascending Node“ =
Querung des Equators
in Nordrichtung

i = Inklination
 $i < 90^\circ$ Prograder Orbit
 $i > 90^\circ$ Retrograder Orbit

Orbit-Bahnen



- ▶ Engl.: Subsatellite
Tracks = Bewegung
des Fußpunkts des
Satelliten über die
Erde.
- ▶ Die Zahl gibt jeweils
die Inklination an.
- ▶ Man beachte, wie der
Punkt der
Äquatorquerung
immer nach Westen
wandert.

Bild: Rees

Sonnensynchrone Orbits

Gedankenexperiment:

Ein Satellit mit konstanter kreisförmiger Umlaufbahn mit Periode P kreuzt den Äquator nordwärts um 0:00 Lokalzeit. Zu welcher Lokalzeit kreuzt er das nächste Mal?

- ▶ Nach Zeit P .

Wie weit hat sich die Erde inzwischen weitergedreht?

- ▶ Um $\Omega_e * P$

Was bedeutet das?

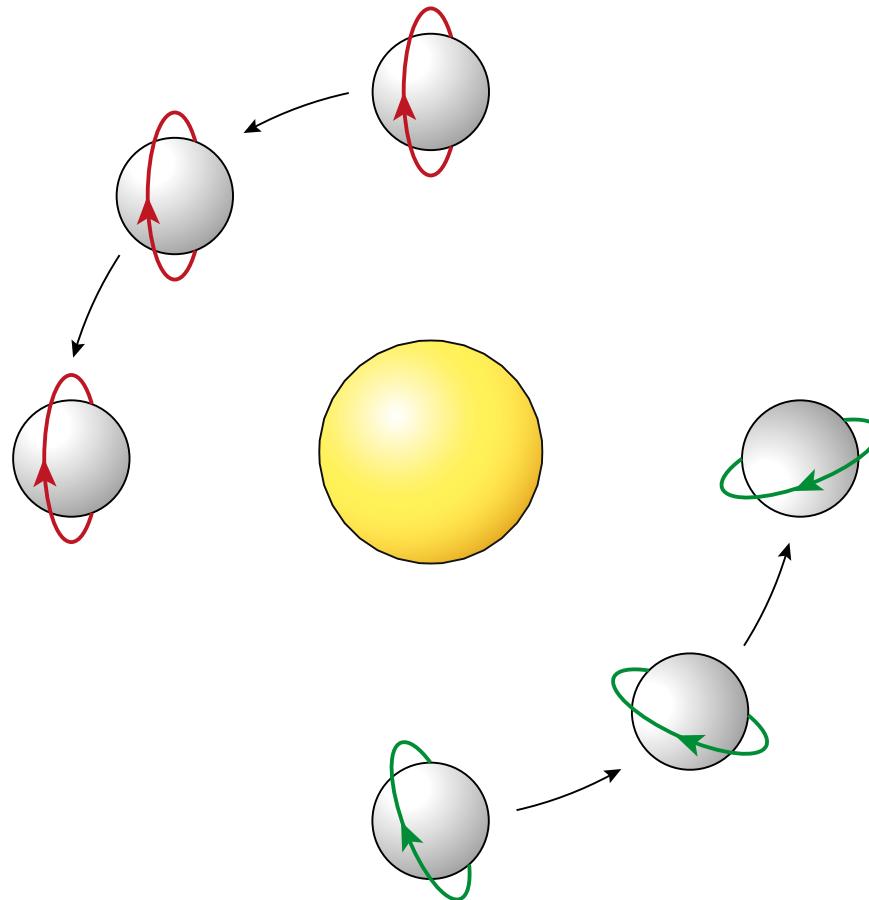
- ▶ Wäre $\Omega_e = 2\pi/24h$, dann wäre der weitergedrehte Winkel $2\pi/24h * P$. Das entspricht einer Änderung in der Lokalzeit von $2\pi/24h * P * 24h/2\pi = P$. Da gleichzeitig absolut die Zeit P vergangen ist, würde der Satellit wieder um 0:00 Lokalzeit kreuzen.

Was ist der Haken an dieser Rechnung?

- ▶ Die Erde umkreist die Sonne, daher
 $\Omega_e = 2\pi/(23 h 56 min)$ (Nenner = ein Tag Sternzeit)

Entwicklung der Orbitebene im Lauf eines Jahres

Konstanter
Orbit

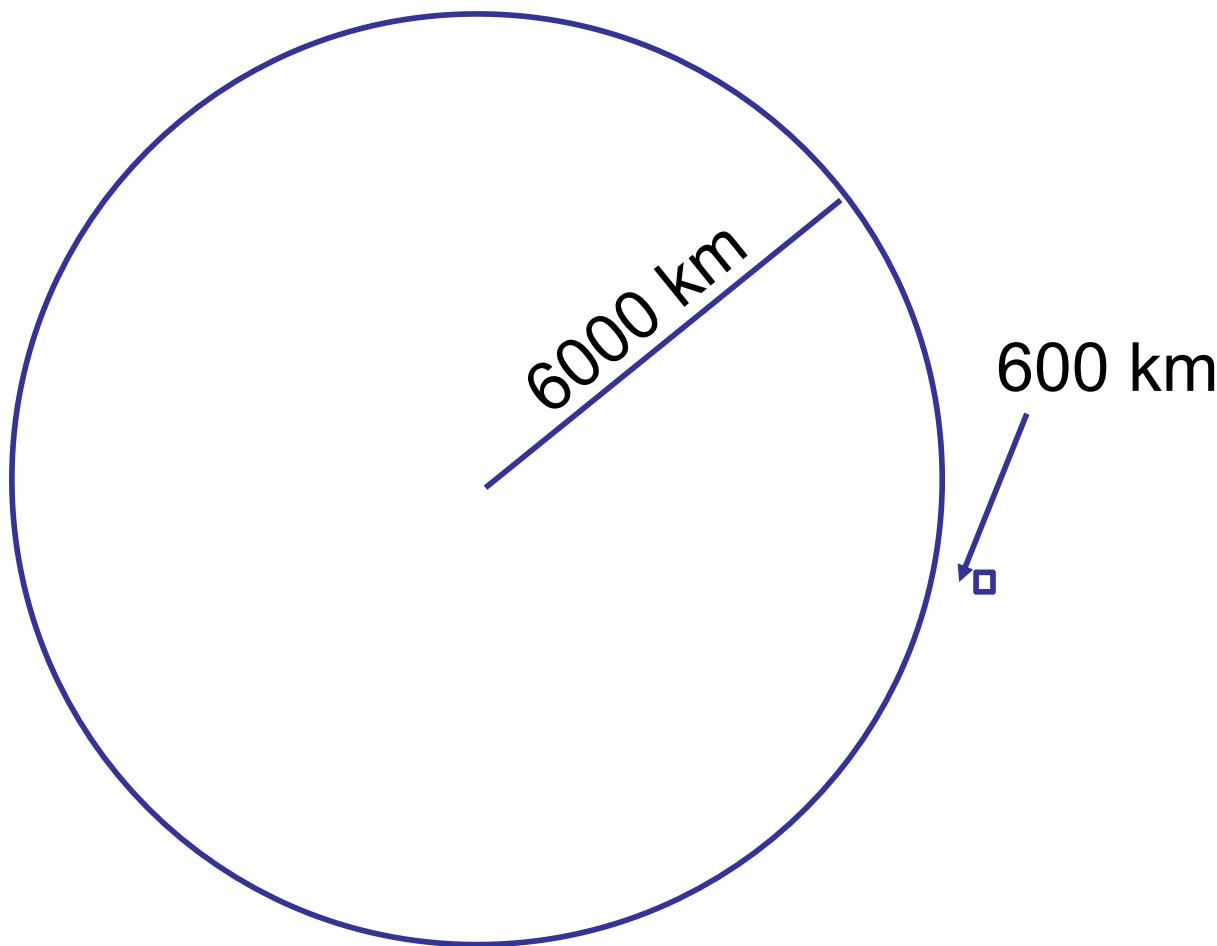


Sonnensyn-
chroner Orbit

Um sonnensynchron zu sein, muss die Orbitebene sich drehen („Präzession“).

Geht das?

Größenverhältnisse beim LEO



- ▶ Kann man die Erde hier wirklich noch als Punktmasse behandeln?

Gravitationspotential der Erde

Kein reines Zentralpotential, sondern abhängig von Abstand und Breitengrad, wegen der oblaten Form der Erde. Auswirkungen:

- ▶ Umlaufperiode ändert sich.
- ▶ Orbit-Ebene dreht sich (Präzession, Term kommt vom Kreisel)

$$\Omega_p = \frac{-\gamma \cos i}{(\frac{a}{a_e})^{7/2}}$$

a : Abstand vom Erdmittelpunkt

a_e : Erdradius am Äquator

γ : Konstante ($2,01280 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)

i : Orbit-Inklination

Sonnensynchrone durch Orbit Präzession

- ▶ Wir können die Präzessionsbewegung, die von der nicht-sphärischen Form der Erde herrührt, nutzen, um einen sonnensynchronen Orbit zu konstruieren
- ▶ Präzessionsgeschwindigkeit \neq Rotationsgeschwindigkeit der Erde um die Sonne
- ▶ Nur möglich für retrograde Orbits ($i > 90^\circ$)
- ▶ Inklination und Höhe müssen dann genau zusammen passen

$$\Omega_p = \frac{-\gamma \cos i}{(\frac{a}{a_e})^{7/2}}$$

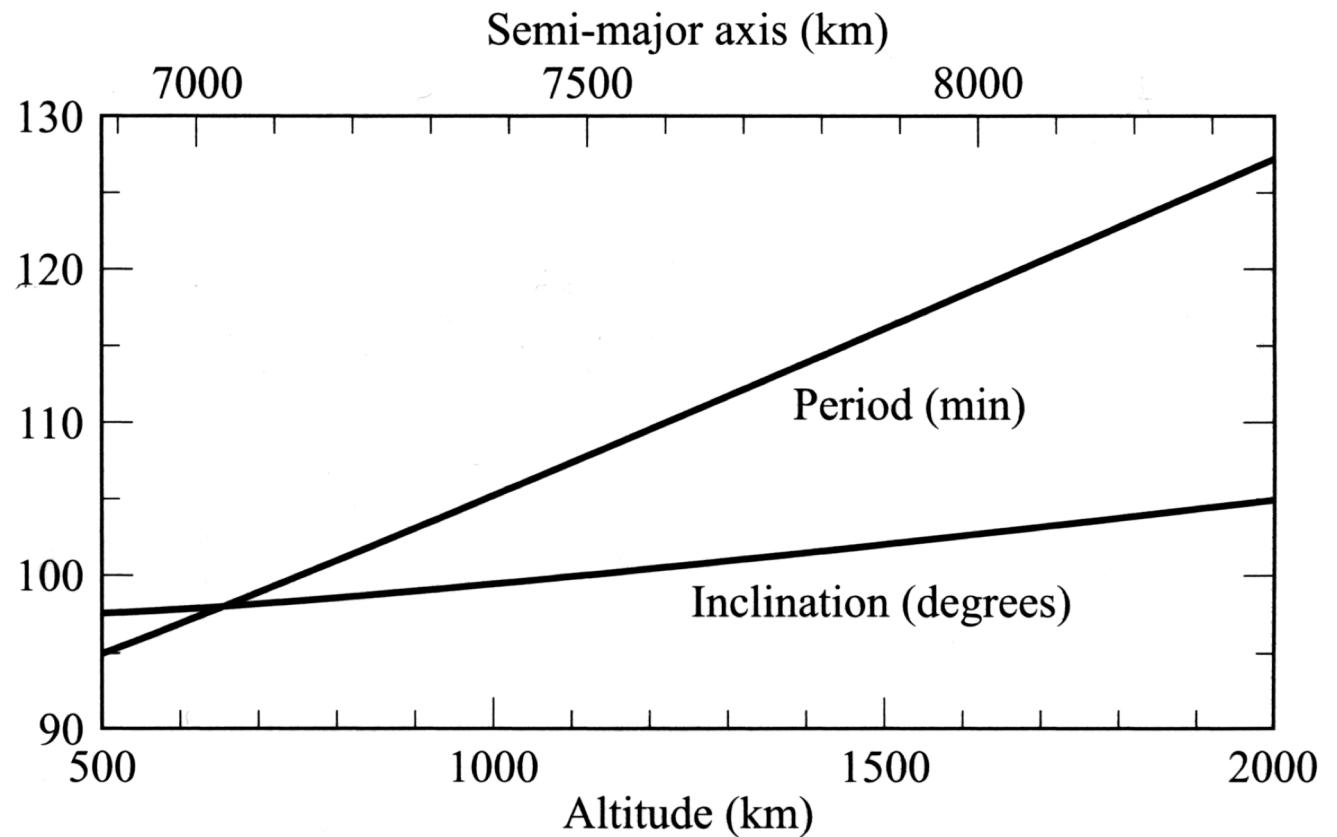


Bild: Rees
25

Bezeichnung sonnensynchroner Orbits

- ▶ Oft gibt man die Lokalzeit an, in der der Satellit den Äquator Richtung Norden überquert. (Engl. local time ascending node.)
- ▶ Lokalzeit für andere Breiten ist ebenfalls konstant und kann einfach berechnet werden. Bild unten ist nur ein Beispiel für einen bestimmten Satelliten.

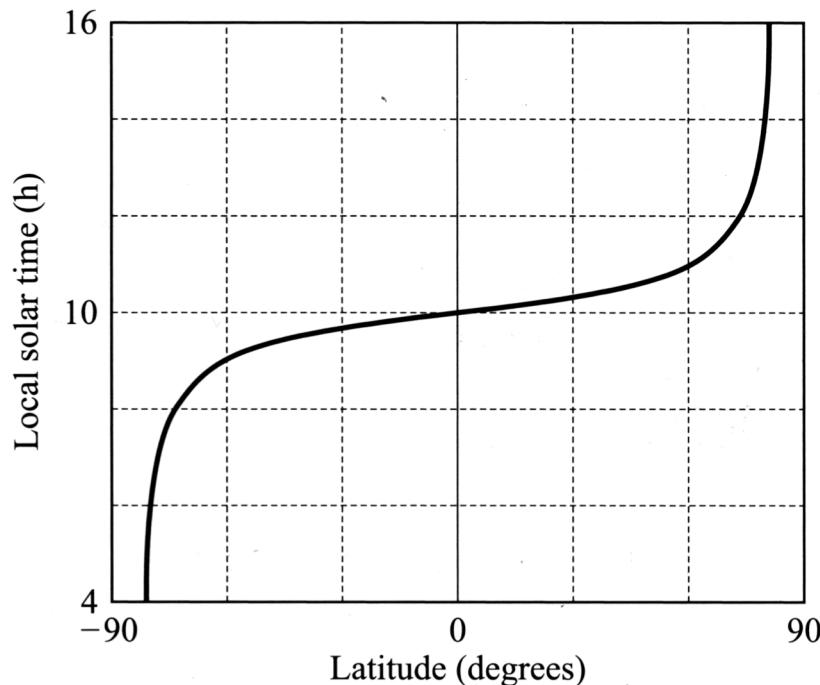


Bild: Rees
26

Beispiele für Satelliten in polaren sonnensynchronen Orbits

- ▶ **Terra und Aqua** (amerikanisch)
 - ▶ MODIS
- ▶ **Envisat** (europäisch)
 - ▶ SCIAMACHY
 - ▶ MIPAS
- ▶ **NOAA 15, NOAA 16, NOAA 17** (amerikanisch)
Metop A, Metop B (europäisch)
 - ▶ AMSU/MHS
 - ▶ HIRS
 - ▶ AVHRR

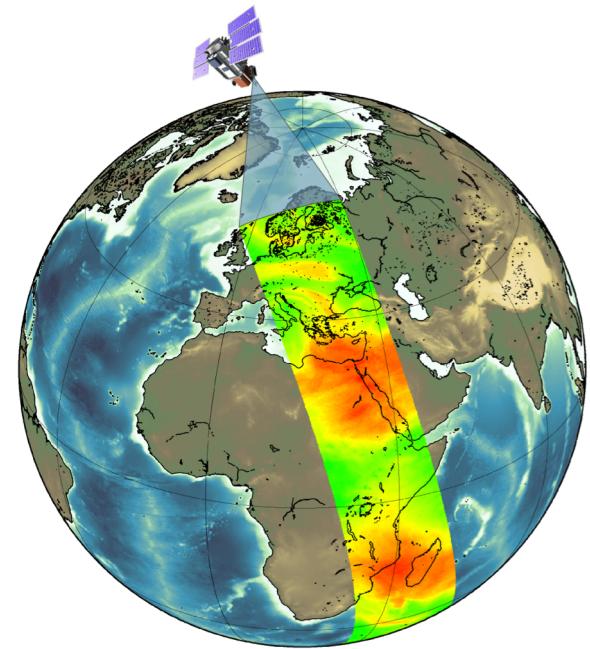


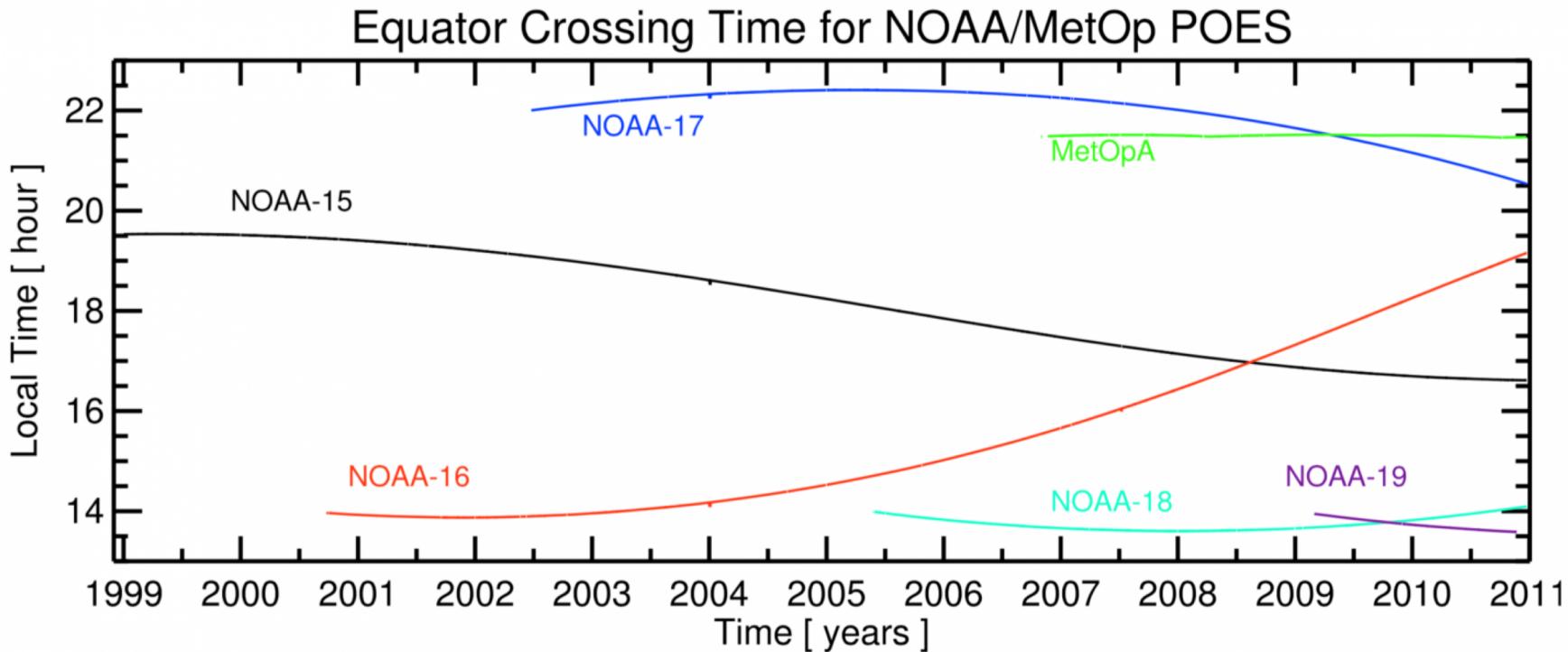
Bild: Oliver Lemke

Übersicht

- ▶ Wie beschreibt man einen Orbit?
- ▶ Geostationäre Orbits
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ **Orbit Drift**
- ▶ Zusammenfassung

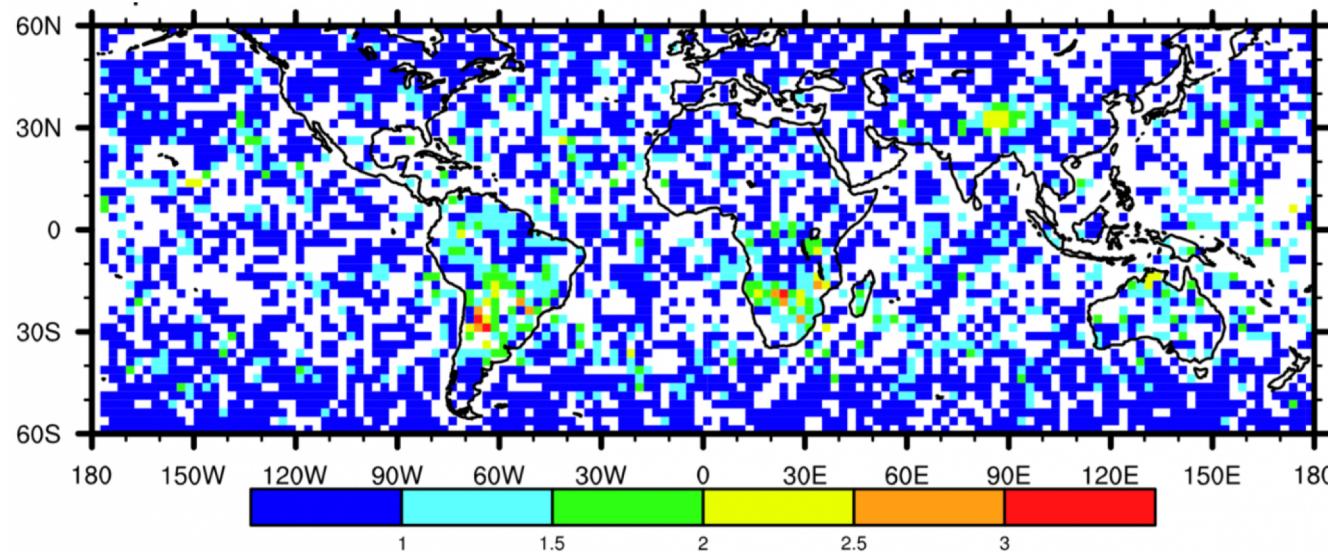
Orbit Drift

- Die „Equator crossing time“ kann sich im Verlauf einer Satellitenmission ändern. (= Orbit Drift)

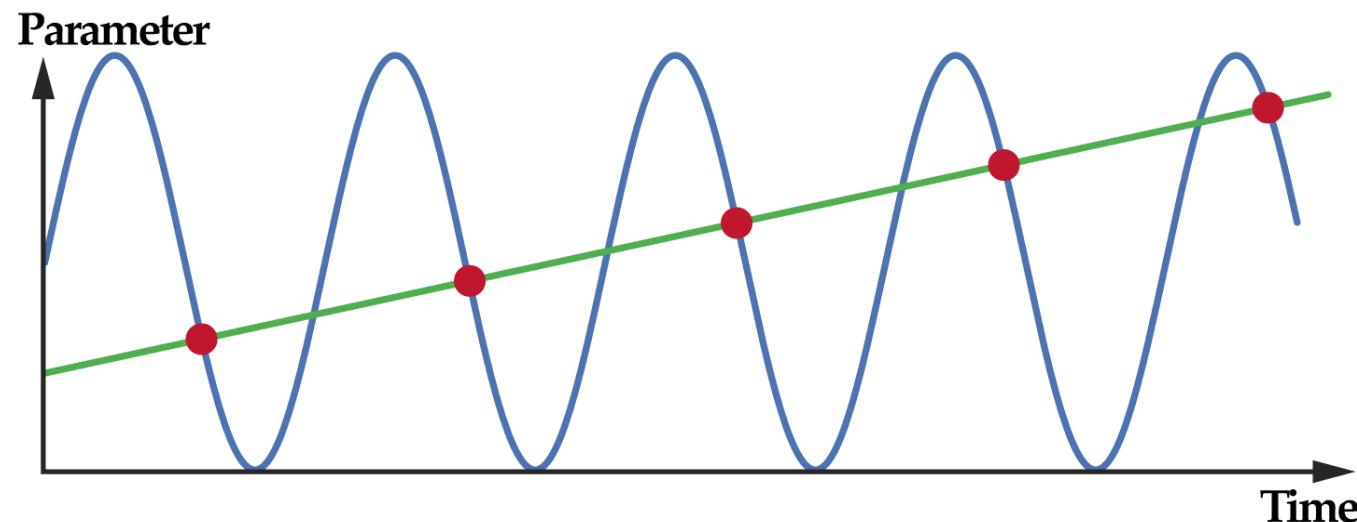


John, V. O., G. Holl, S. A. Buehler, B. Candy, R. W. Saunders, and D. E. Parker (2012), Understanding inter-satellite biases of microwave humidity sounders using global simultaneous nadir overpasses, *J. Geophys. Res.*, 117(D2), D02305, doi:10.1029/2011JD016349.

Alias-Effekte durch Tagesgänge



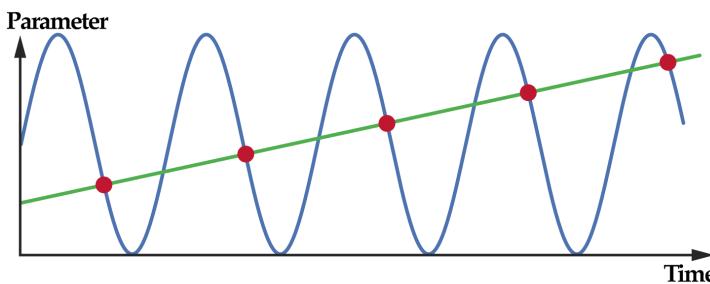
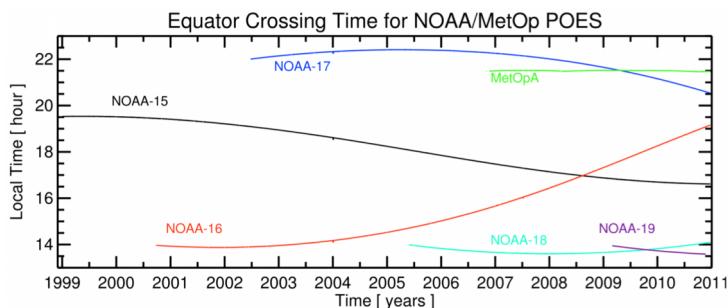
Tagesgang in der Feuchte der oberen Troposphäre (Kottayil, A., V. O. John, and S. A. Buehler (2013), Correcting diurnal cycle aliasing in satellite microwave humidity sounder measurements, *J. Geophys. Res.*, 118(1), 101–113, doi:10.1029/2012JD018545.)



Aliasing-Efekt (Bild Oliver Lemke)

Alias-Effekte durch Tagesgänge - Erklärungen

- ▶ Wenn der Orbit nicht aktiv (mit Steuerraketen, die Treibstoff brauchen) stabil gehalten wird, ändert sich die Lokalzeit langsam im Lauf der Jahre.
- ▶ Wenn sich die Lokalzeit ändert, messe ich zu verschiedenen Phasen des Tagesgangs.
- ▶ Dadurch können scheinbare Trends entstehen.
- ▶ Orbit Drift ist für die Klimaforschung mit Satellitensensoren ein großes Problem!
- ▶ Ausführlichere Erklärung in einem Blog-Post von mir:
<http://www.fiduceo.eu/content/orbit-drift-and-diurnal-cycle-aliasing>

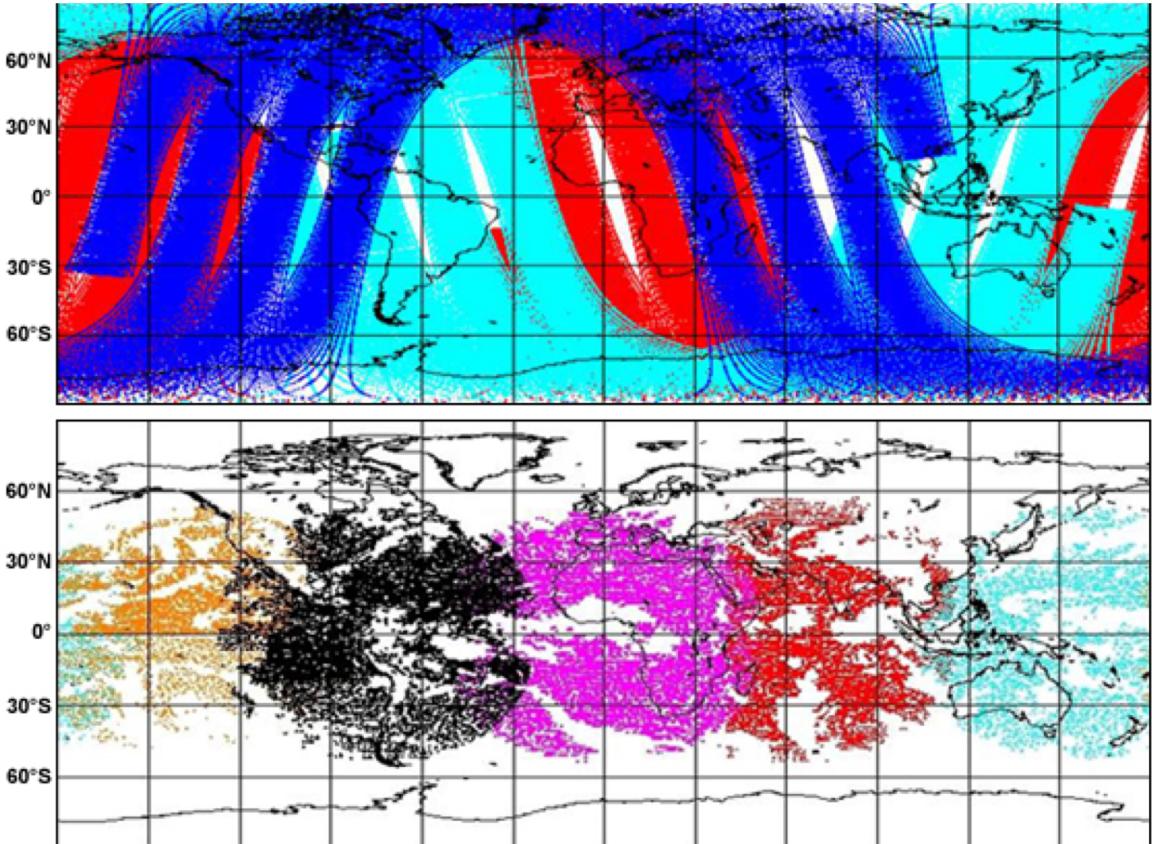


Übersicht

- ▶ Wie beschreibt man einen Orbit?
- ▶ Geostationäre Orbits
- ▶ „Low Earth“ Orbits
- ▶ Orbit Drift
- ▶ **Zusammenfassung**

Vergleich LEO / GEO

- ▶ LEO = Low Earth Orbit
Beispiel: Metop
Sonnensynchron
Orbithöhe: ~300-800 km
- ▶ GEO = Geostationär
Beispiel: Meteosat
Erdsynchron
Orbithöhe: 35 786 km



- ▶ Mikrowelle bisher nur auf LEO
- ▶ GEO bietet hohe zeitliche Auflösung
- ▶ LEO bietet globale Abdeckung zweimal am Tag

Datenabdeckung
Oben LEO
Unten GEO
Bild: EUMETSAT

(http://www.eumetsat.int/eps_webcast/eps/print.htm#s1p5)

Zusammenfassung

- ▶ LEO und GEO Instrumente ergänzen sich hervorragend
- ▶ Wir haben so viele Satellitendaten wie noch nie, und ständig kommen noch neue spannende Missionen dazu (als nächstes EarthCARE, in 2019)
- ▶ Aktuelle Forschung:
 - ▶ Kombination der verschiedenen Instrumente für die Forschung (erfordert konsistente Strahlungstransfermodelle)
 - ▶ Nutzbarmachung alter Daten für die Klimaforschung
 - ▶ Kombination von Messungen und Klimamodellierung

Leseempfehlung

- ▶ Kidder and Vonder Haar, Satellite Meteorology
- ▶ Rees Physical Principles of Remote Sensing, Cambridge (für Orbit)