
Seminar für Luft- und Raumfahrttechnik
TU Braunschweig

Der NASA Two-Line Elements Objektkatalog

Historie, Handhabung, Theorie und
Vollständigkeit

Sebastian Stabroth

25.06.2002

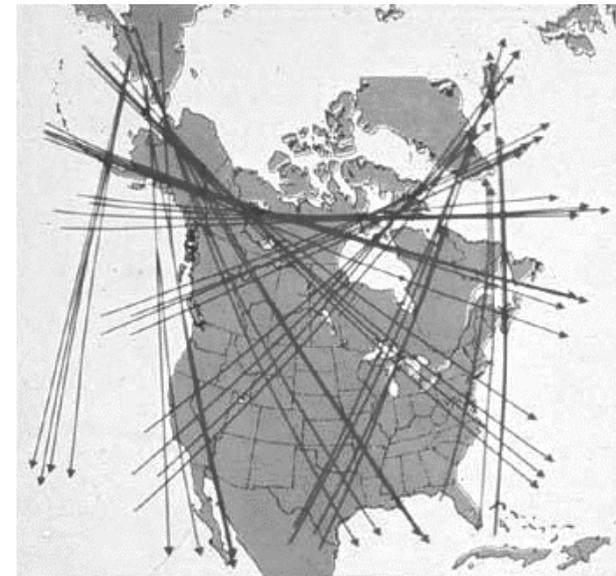


Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, TU Braunschweig

1. **Historie**
 - Weltraumüberwachung
2. **Handhabung**
 - Anwendungen
 - Katalogumfang
3. **Theorie**
 - Bahnstörungen
 - Propagation der Bahnelemente
 - TLE-Bahndatensatz
4. **Vollständigkeit**
 - Lücken im Katalog
5. **Zusammenfassung**



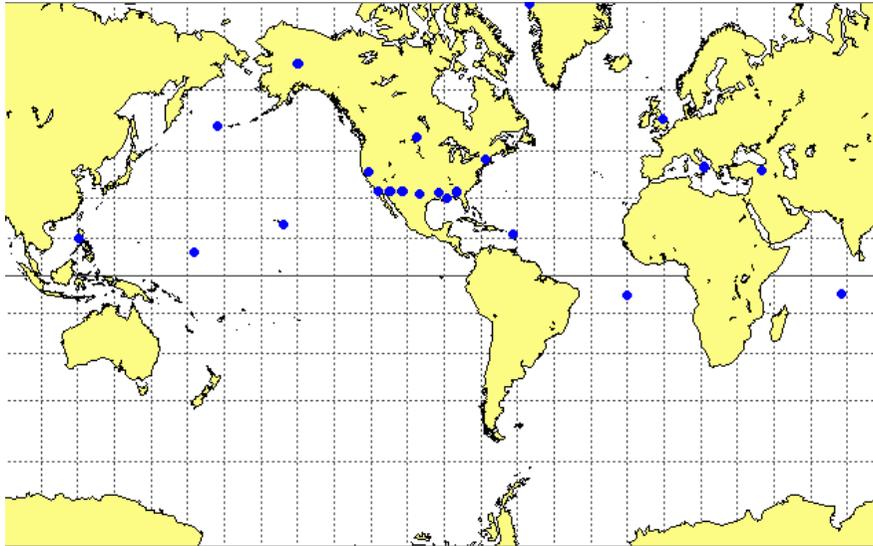
- 1957: Start des ersten künstlichen Satelliten durch die Sowjetunion
- Luft- und Weltraumüberwachung für Nordamerika
- 1958: **NORAD** (North American Aerospace Defense Command)
- ab 1985 **U.S. Space Command** für Weltraumüberwachung verantwortlich



[pinetreeline.org, 2002]

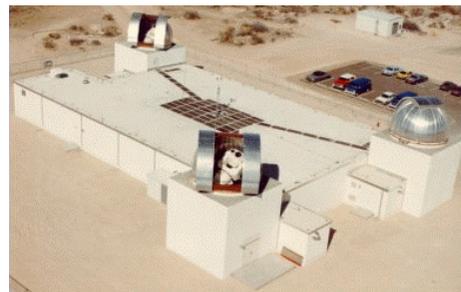
Ursprüngliche Aufgabe:

- Warnung vor anfliegenden Interkontinentalraketen
- ⇒ ständige Vermessung aller Objekte im Erdorbit

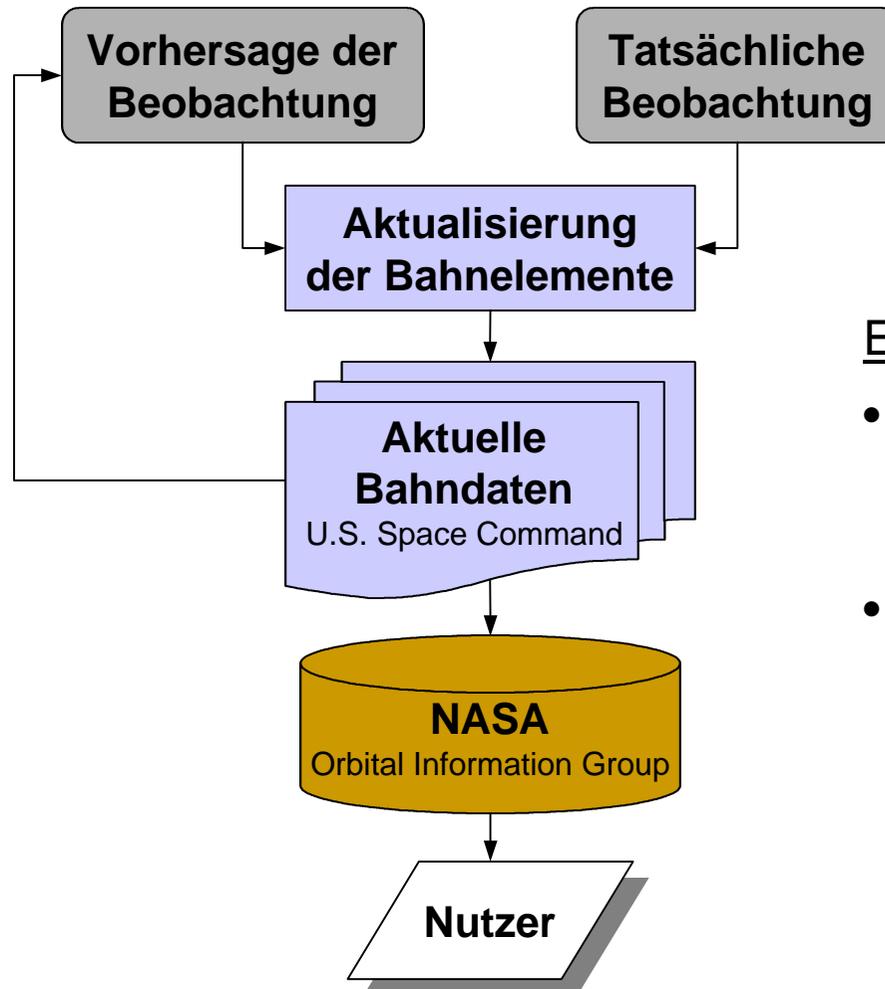


Space Surveillance Network (SSN)

- weltweites Sensor-Netzwerk
 - konventionelle Radarsysteme
 - phased-array Radarsysteme
 - elektro-optische Teleskope
 - weltraumgestützter Sensor
- über 100 000 Beobachtungen täglich
- Verarbeitung der Messdaten im Cheyenne Mountain bei Colorado Springs, USA



[celestrak.com, 2002]



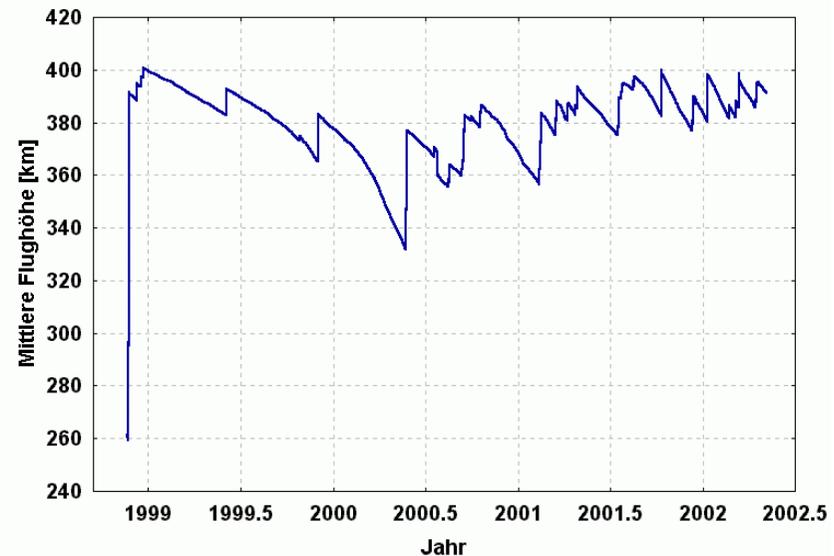
Einschränkungen

- detektierbare Objektgröße:
 - $d > 10 \text{ cm}$ in LEO
 - $d > 1 \text{ m}$ in GEO
- Überwachung der Objekte nicht kontinuierlich möglich
⇒ geografische Verteilung, Anzahl und Verfügbarkeit der Sensoren

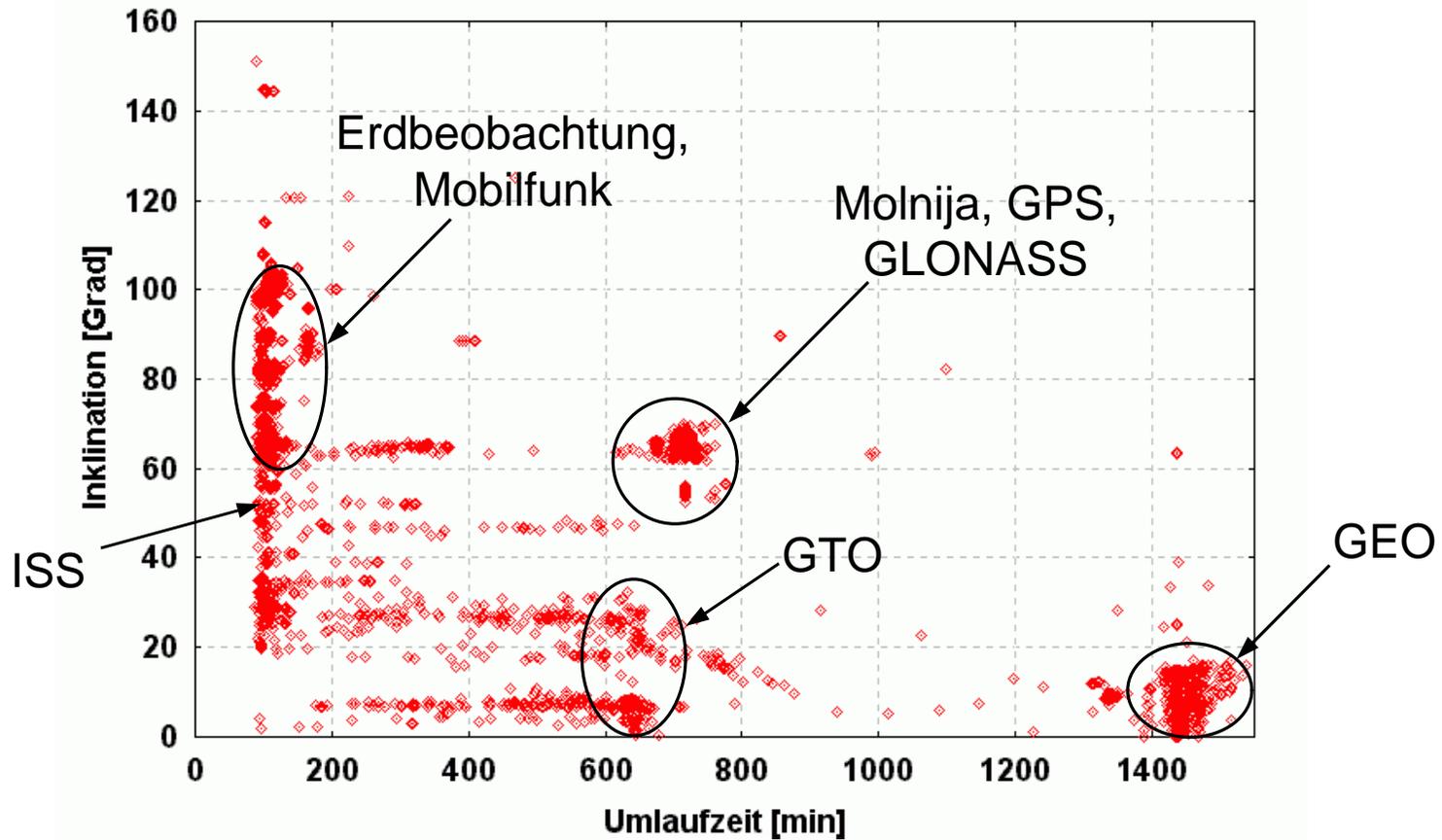
Objektkatalog

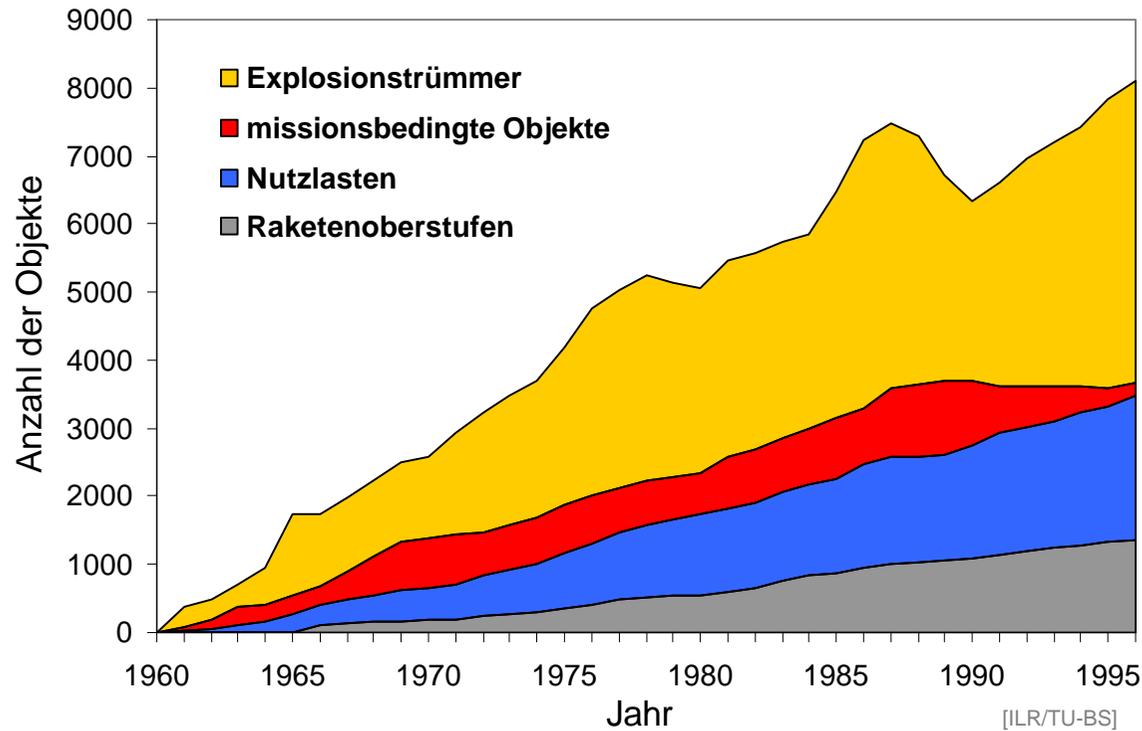
- wichtigste Datenquelle über Weltraumschrott
- aktuelle und historische Bahndaten
- Warnungen vor zurückstürzenden Objekten
- Warnungen vor Kollisionen mit Weltraumschrott
- „Satellite Situation Report“ mit zusätzlichen Informationen

z.B. Verlauf der Bahnhöhe der ISS



Darstellung der Objekte im Erdorbit
(Bahndaten vom 30. April 2002)

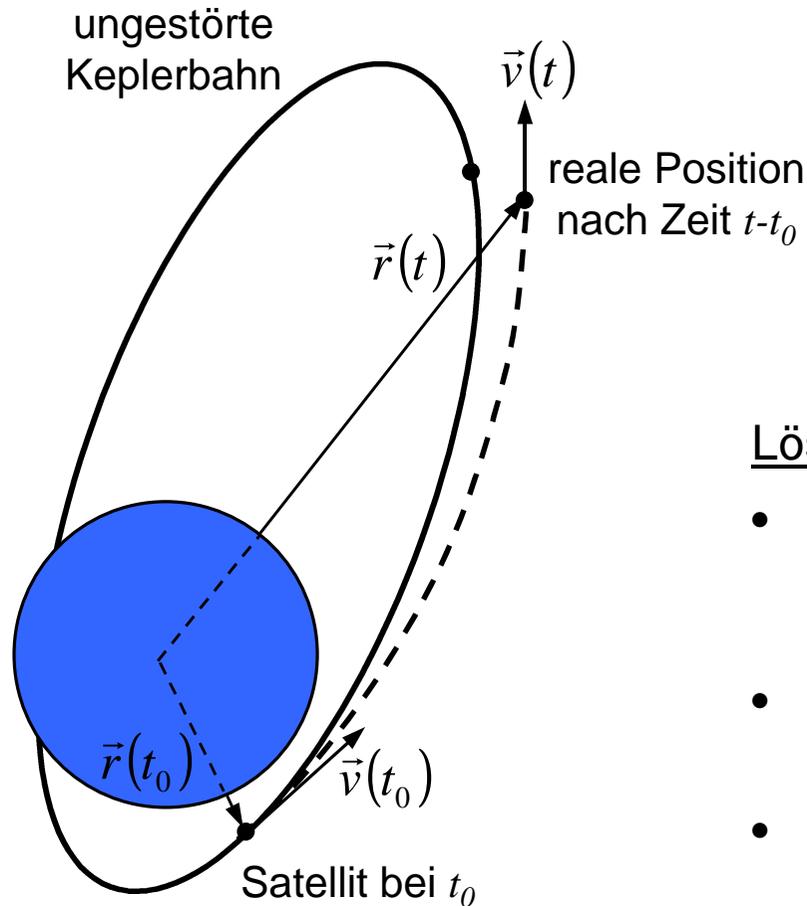




Katalogumfang am 30. April 2002

Objekte im Orbit			zurückgestürzte Objekte		
Nutzlasten	Schrott	Summe	Nutzlasten	Schrott	Summe
2876	6206	9082	2628	15704	18332
Gesamtsumme: 27414					





Abweichungen von Keplerbahn durch Störkräfte

⇒ zeitlich variierende Bahnelemente

Lösungsverfahren

- **numerische Integration**
 - hohe Genauigkeit
 - hoher Rechenaufwand
- **analytisch**
 - geringe Rechenzeit
- **semi-analytisch**
 - Langzeitbahnvorhersage

SGP (Simplified General Perturbations)

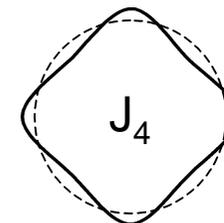
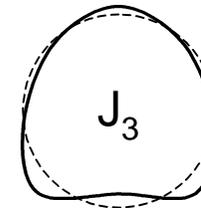
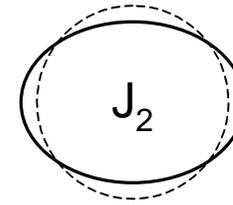
- 1966 entwickelt
- stark vereinfachte analytische Störungstheorie

SGP4

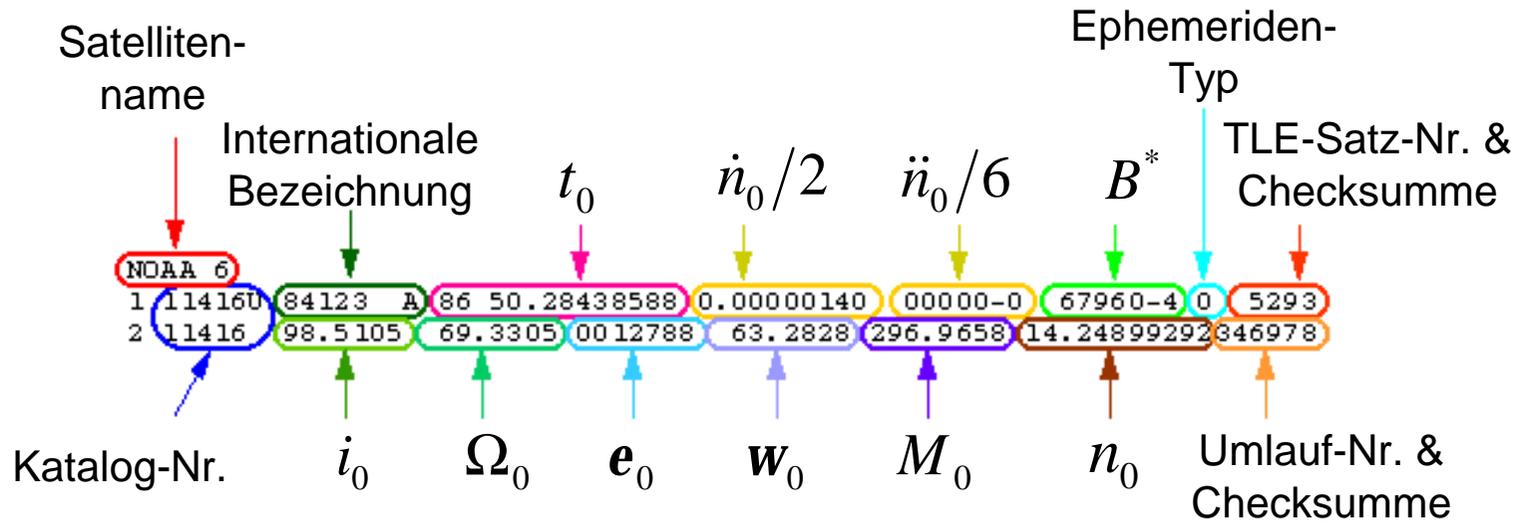
- 1970 entwickelt
- Grundlage: Theorie von Brouwer (1959)
- Berücksichtigung von:
 - zonale harmonische Terme (J_2, J_3, J_4)
 - atm. Widerstand (statische Atmosphäre)

SDP4

- 1979 entwickelt
- Erweiterung von SGP4 für erdferne Satelliten:
 - Resonanzeffekte auf geosynchronen und semi-synchronen Bahnen
 - lunare und solare Gravitationsstörung

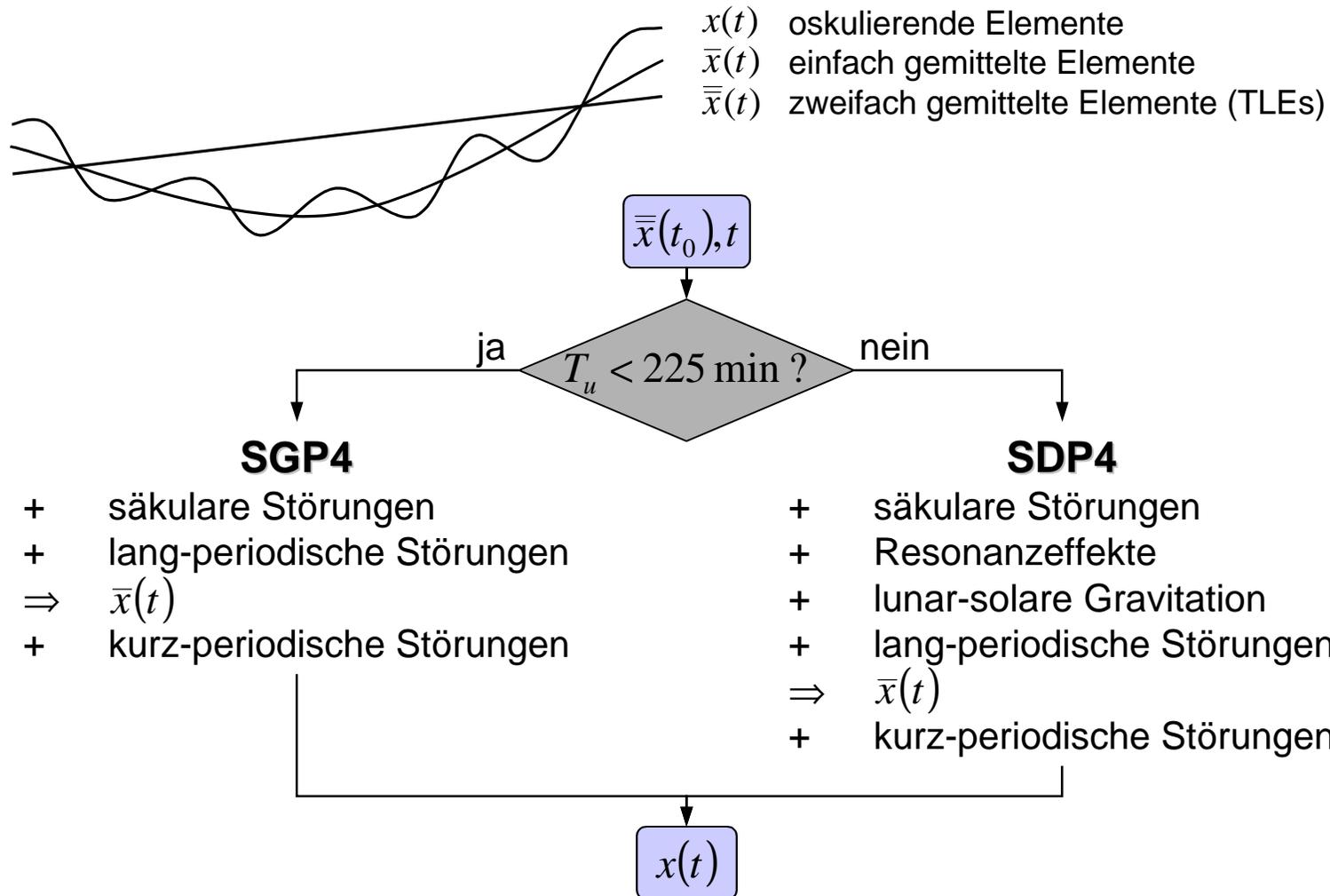


⇒ Generierung der Bahndatensätze mit SGP4 & SDP4

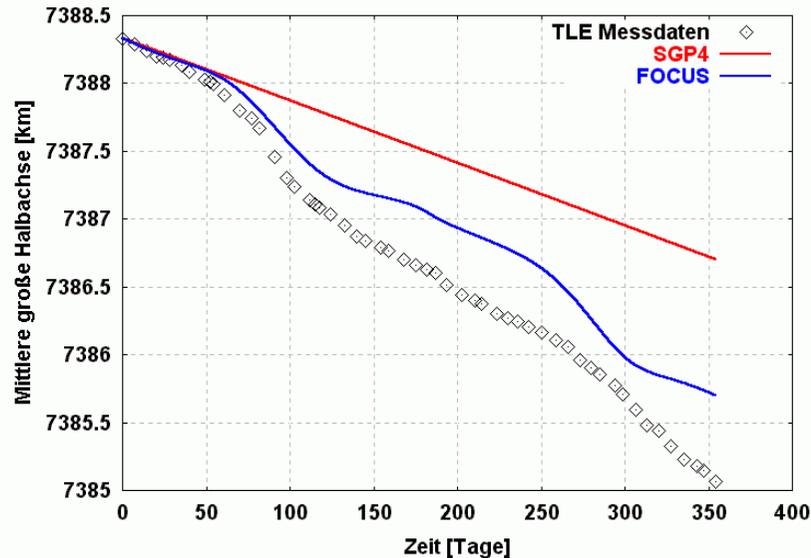


- t_0 ... Epoche
- n_0 ... Umläufe pro Tag (SGP)
- B^* ... „Widerstands“-Koeffizient (SGP4 & SDP4)
- i_0 ... Inklination
- Ω_0 ... Rektaszension des aufsteigenden Knotens
- e_0 ... Exzentrizität
- w_0 ... Argument des Perigäums
- M_0 ... Mittlere Anomalie

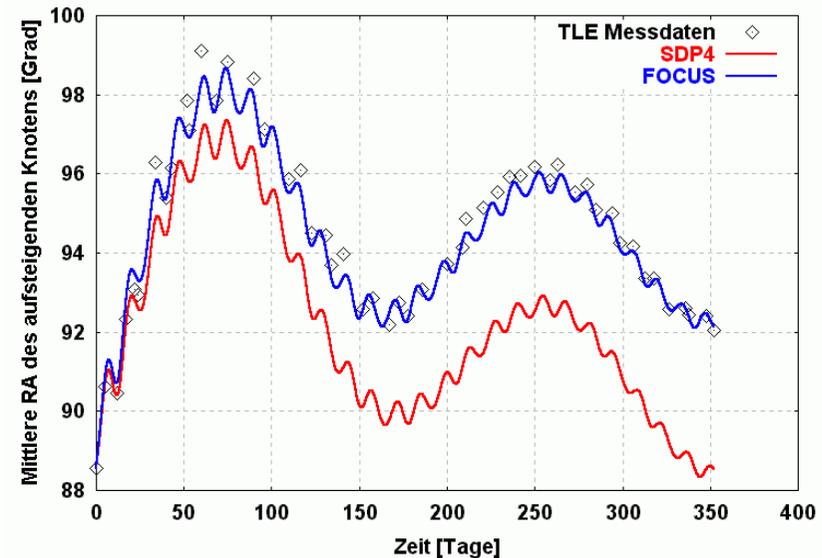




Erdnahes Objekt
(Variation der großen Halbachse)



Geosynchrones Objekt
(Variation des aufsteigenden Knotens)



Optimaler Einsatzbereich von SGP4 & SDP4

- Propagation von Objektbahnen aus Messungen - mit teilweise unbekanntem Massen und Durchmessern (z.B. Trümmer)
- Genauigkeit ausreichend, um nächste Akquisition per Radar oder Teleskop vorherzusagen

Abweichung in Bezug zur operationellen Bahnbestimmung

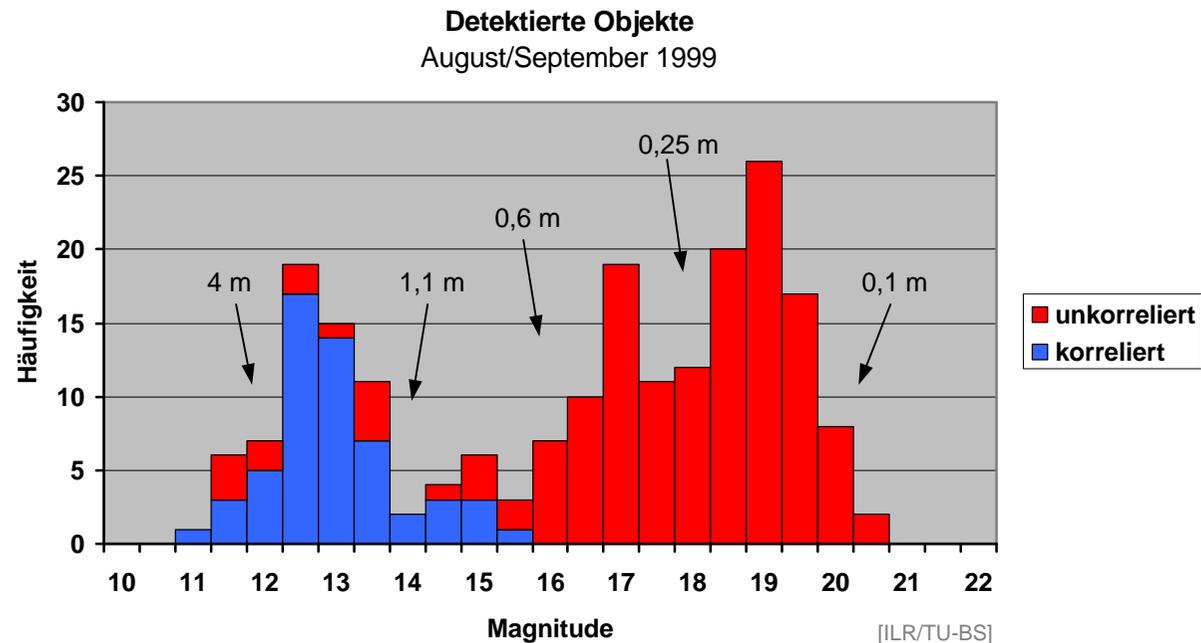
- wenige Kilometer zur Epoche
 - z.B. ENVISAT: $1,1 \text{ km} \times 0,4 \text{ km} \times 0,4 \text{ km}$
(transversale, radiale, normale Positionsrichtung)
- Vorhersagefehler bis zu 100 km (transversal) pro Tag

Katalog-Aktualisierung

- $\approx 50\%$ der Objekte innerhalb 24 h
- $\approx 90\%$ der Objekte innerhalb einer Woche
- höhere Aktualisierungsfrequenz bei Objekten von besonderem Interesse

Beobachtungskampagne der ESA

- Entdeckung einer großen Anzahl neuer Schrottobjekte in GEO
- unbekannte Objekte auch im Bereich bekannter Objekte größerer Durchmesser



Objektkatalog

- wichtigste Datenquelle über Weltraumschrott
- Aktualisierung der Bahndatensätze
- Bahnpropagation zur Positionsbestimmung

Ausblick:

- ständige Erfassung kleinerer Objekte
- dadurch starkes Anwachsen der Kataloggröße
- höhere Anforderungen an Genauigkeit