

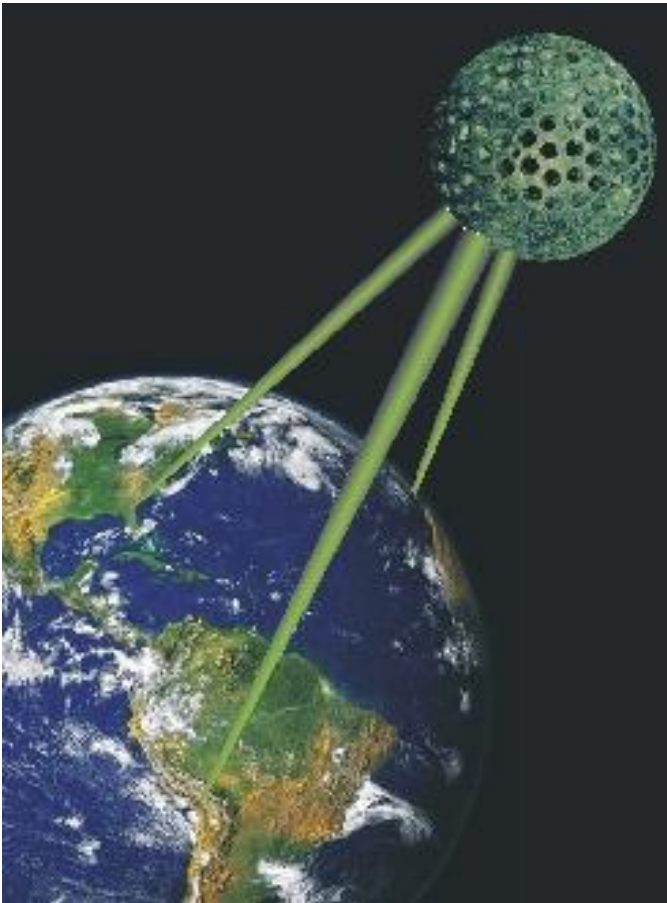
SLR Graz: kHz Satellite Laser Ranging & Co

Georg Kirchner, Daniel Kucharski, Franz Koidl

Institut für Weltraumforschung

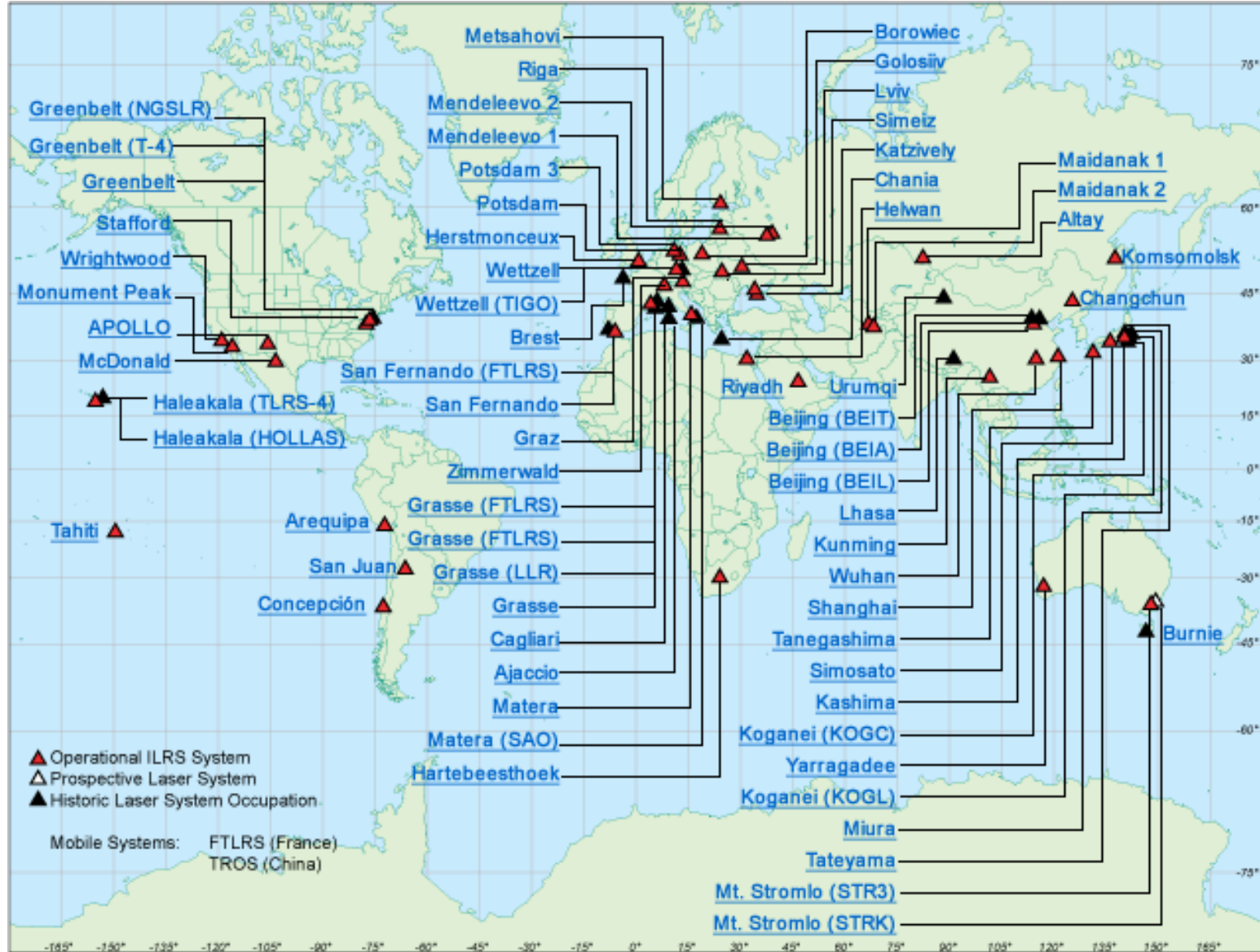
Österreichische Akademie der Wissenschaften

- WAS ist das: ‚Satellite Laser Ranging‘ (SLR): Die Methode ...
- Wer / wo / was ???
- WIE misst man mit (Sub-) Millimeter - Genauigkeit: Technologisches ...
 - Laser, Detektor and Co.
- Weitere Experimente & Ergebnisse in Graz:
 - Spin – Parameter - Bestimmung
 - Polarisations - Experimente
 - Space Debris Tracking
 - (LIDAR, PPM Data Transmission, Seeing Determination etc.)

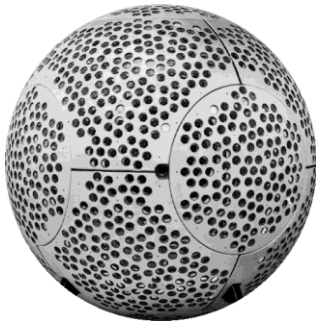


- 10^{14} Photonen (0.4 mJ@532 nm) pro Puls;
- Pulsdauer: 10 ps (etwa 3 mm ...);
- Reflektiert am Satelliten (WENN wir treffen ☺);
- Einzelne Photonen werden in Graz detektiert:
- Laufzeit genau gemessen (ps-Bereich):
- Ergebnis: Distanz auf 2-3 mm genau;
- Vorteile solcher [kHz] Messungen:
 - Absolut; sehr genau; Tag und Nacht;
 - In Graz: 2000 Messungen / s (kHz SLR);
d.h. > 1 Million Messungen / Pass möglich
 - Viele zusätzliche Ergebnisse ...
- Nachteil: Braucht ‚gutes‘ Wetter ...





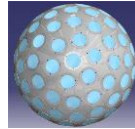
Etalon-I & -II



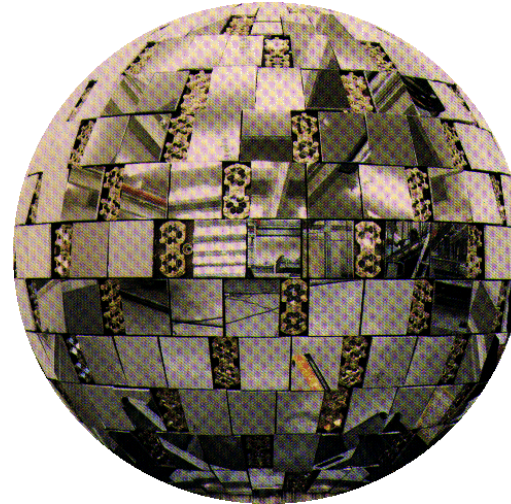
LAGEOS-1



LARES



Ajisai



Starlette



Stella

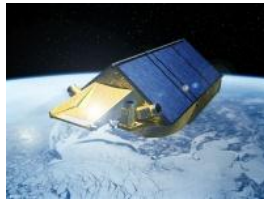


BLITS



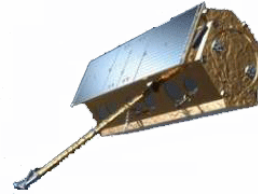
Inclination	64.8°	109.8°	69.5°	50°	50°	98.6°	98.7°
Perigee ht. (km)	19,120	5,860	1,450	1,490	810	800	832
Diameter (cm)	129.4	60	38.1	215	24	24	17
Mass (kg)	1415	407	386.8	685	47.3	47.3	7.5

Cryosat-1



Inclination 92°
 Perigee ht. (km) 720
 Mass (kg) 711

Terra-SAR-X



66°
 1350
 2400

Envisat



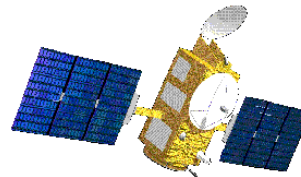
98.5°
 800
 8211

GOCE



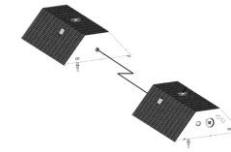
Inclination 96.7°
 Perigee ht. (km) 250
 Mass (kg) 1050

Jason-1



66°
 1336
 500

GRACE

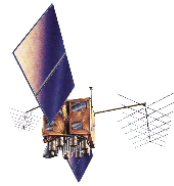


89°
 450
 432/sat

GLONASS



GPS



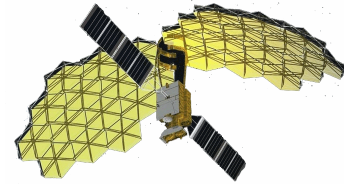
COMPASS



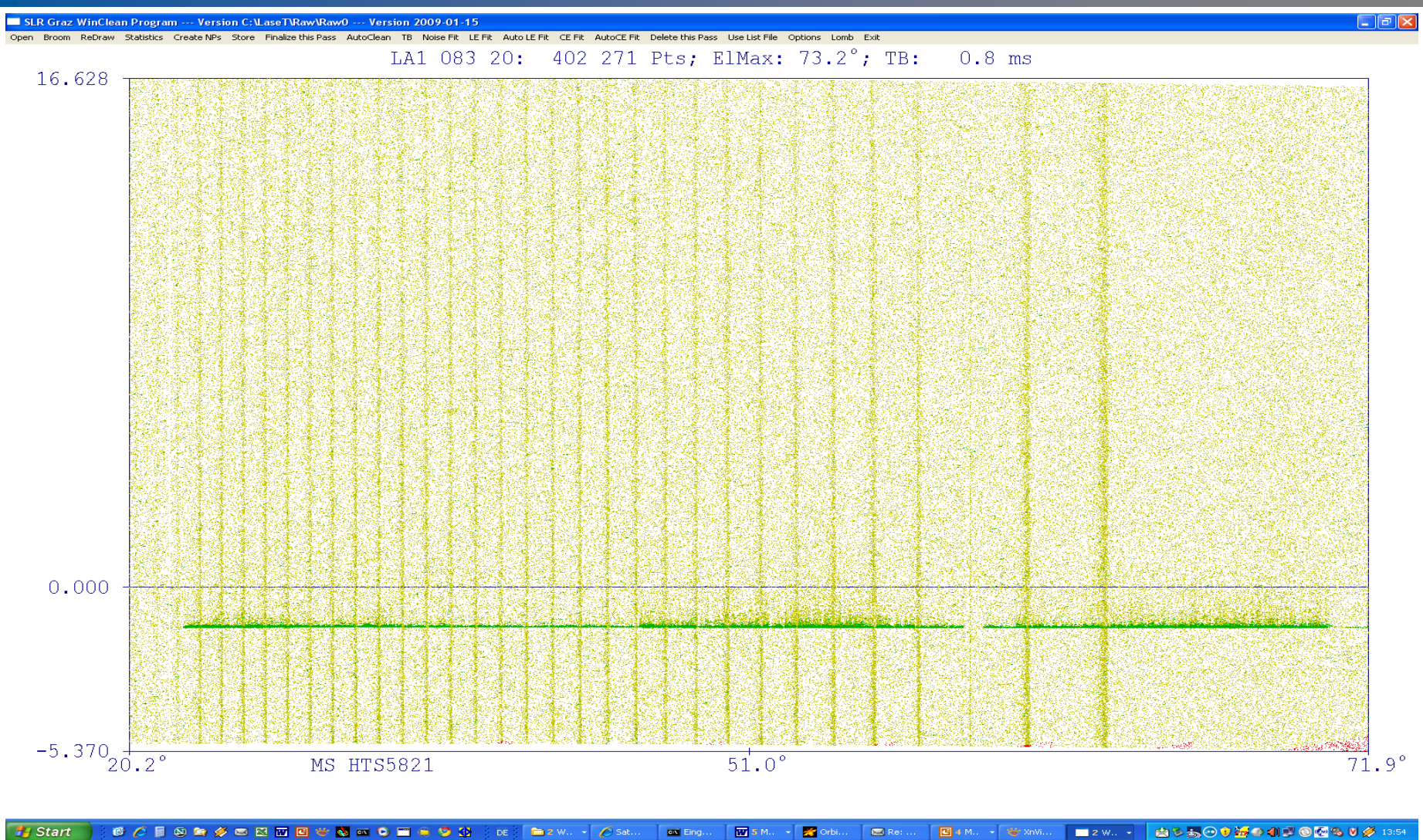
GALILEO



ETS-8

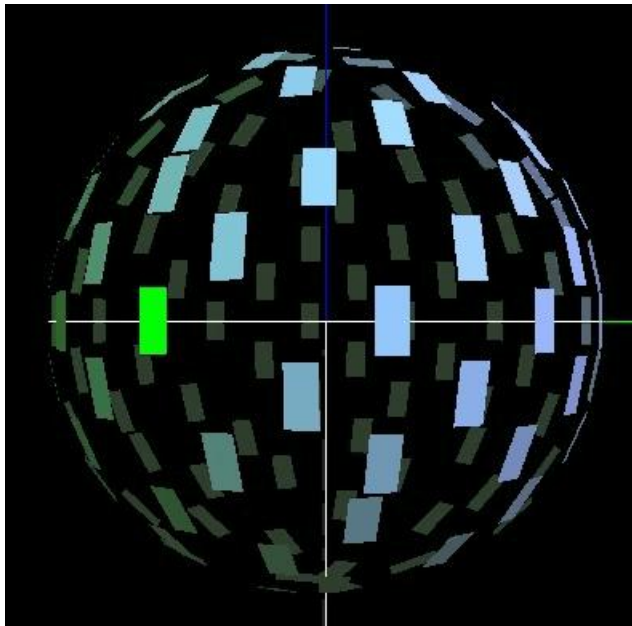


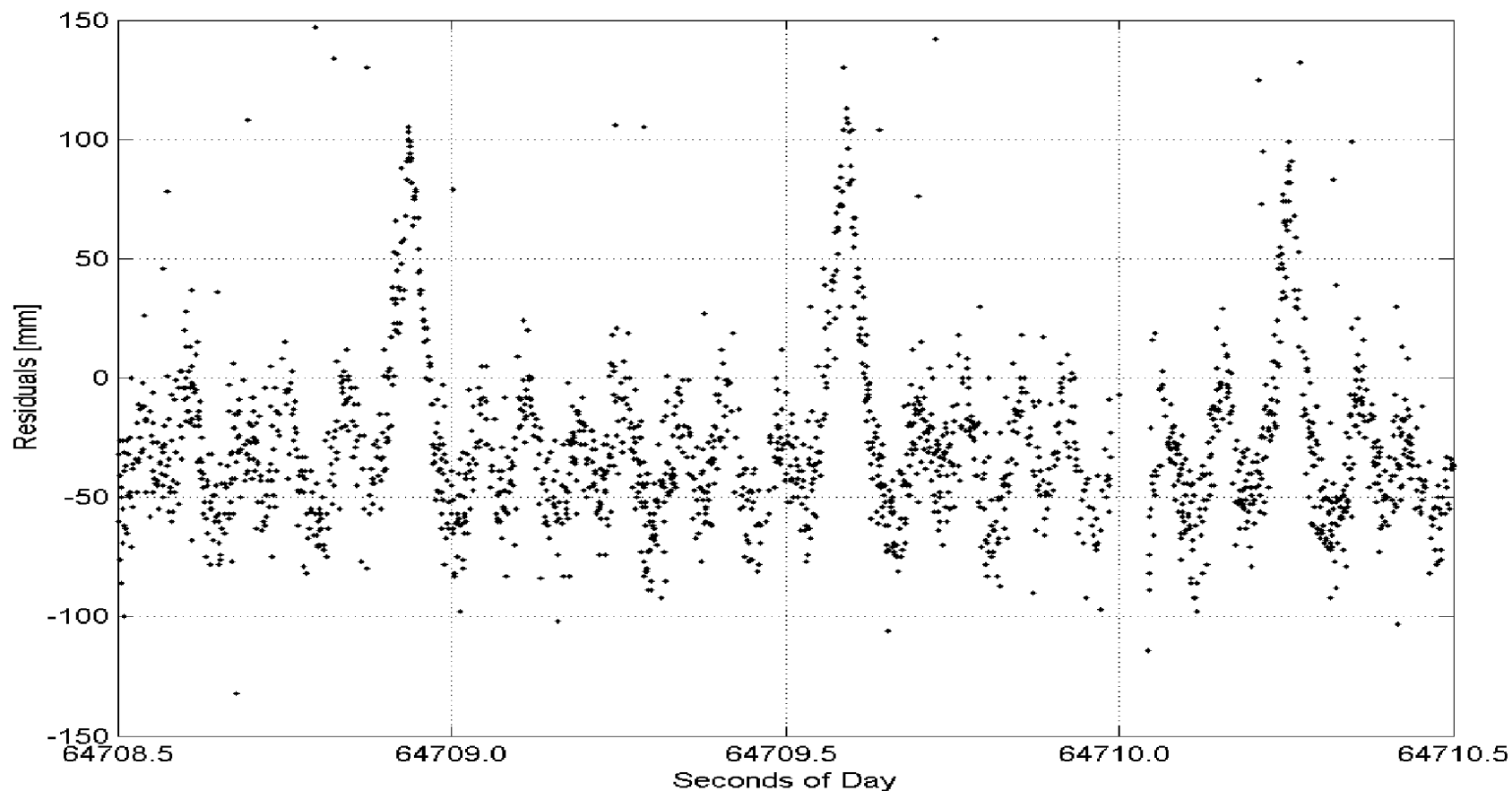
Inclination	64°	55°	55.5°	56°	0°
Perigee ht. (km)	19,140	20,100	21,500	23,920	36,000
Mass (kg)	1,400	930	1,000	600	2800



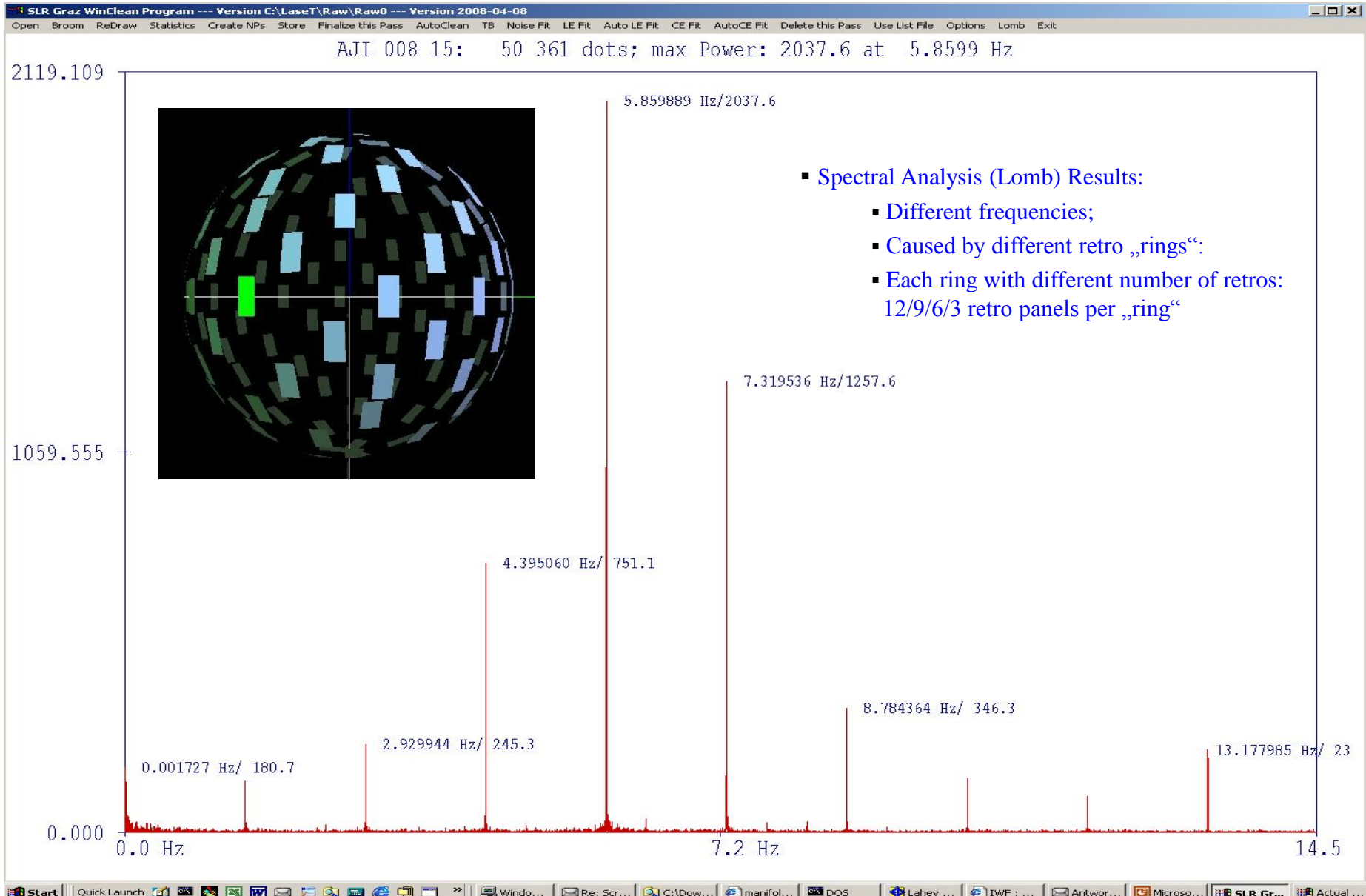
LAGEOS: Overlap Avoidance OFF; ERHÖHTES Rauschen alle „75 km“

- AJISAI rotiert mit 0.46 Hz (2012)
- Distanz - Variationen zu den Retros !
- @ 10 Hz: Nur erhöhte Streuung
- @ kHz: Retro-Bewegung wird sichtbar

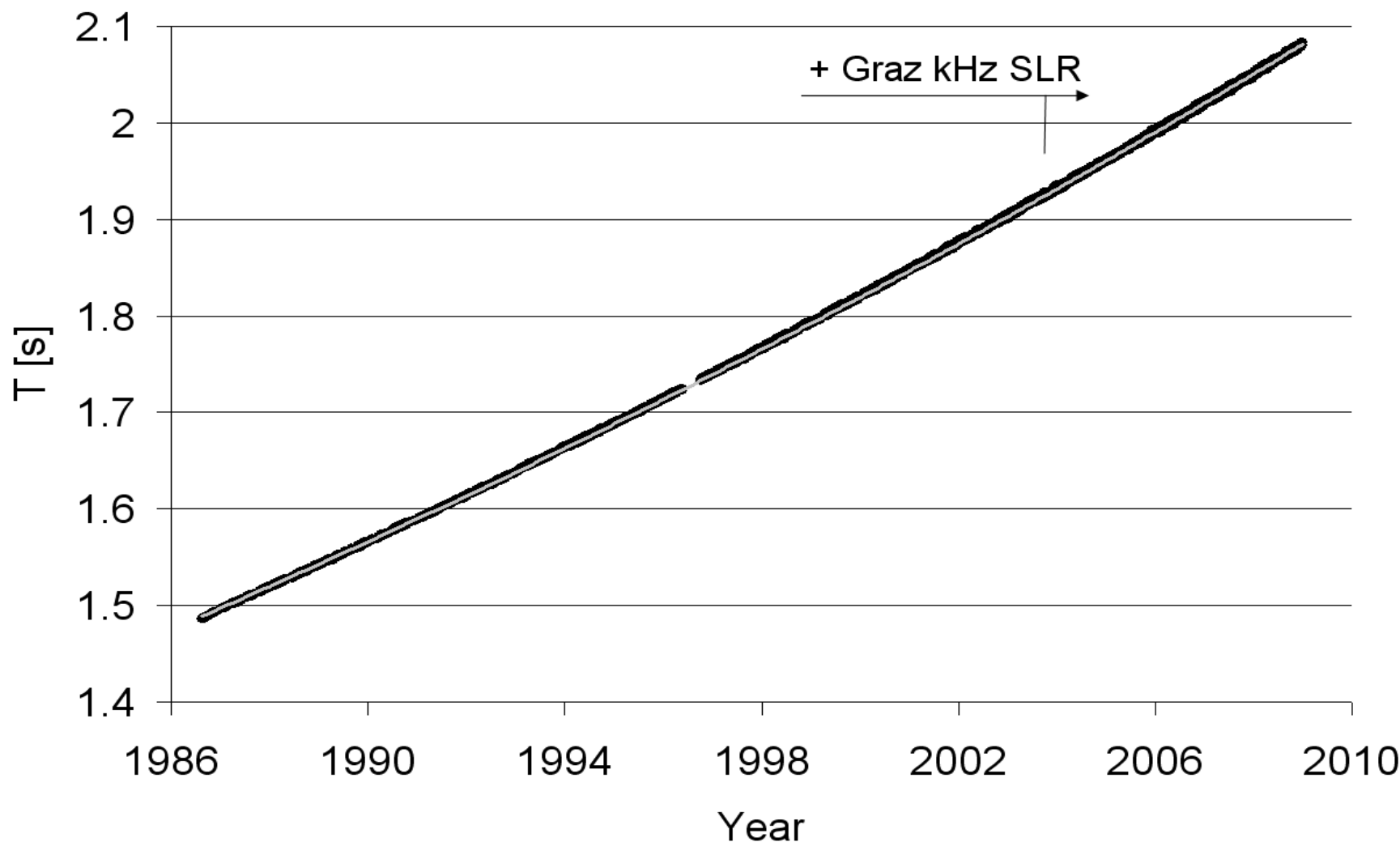




🌍 Periodische Schwingung ==> Spektral-Analyse (Lomb)

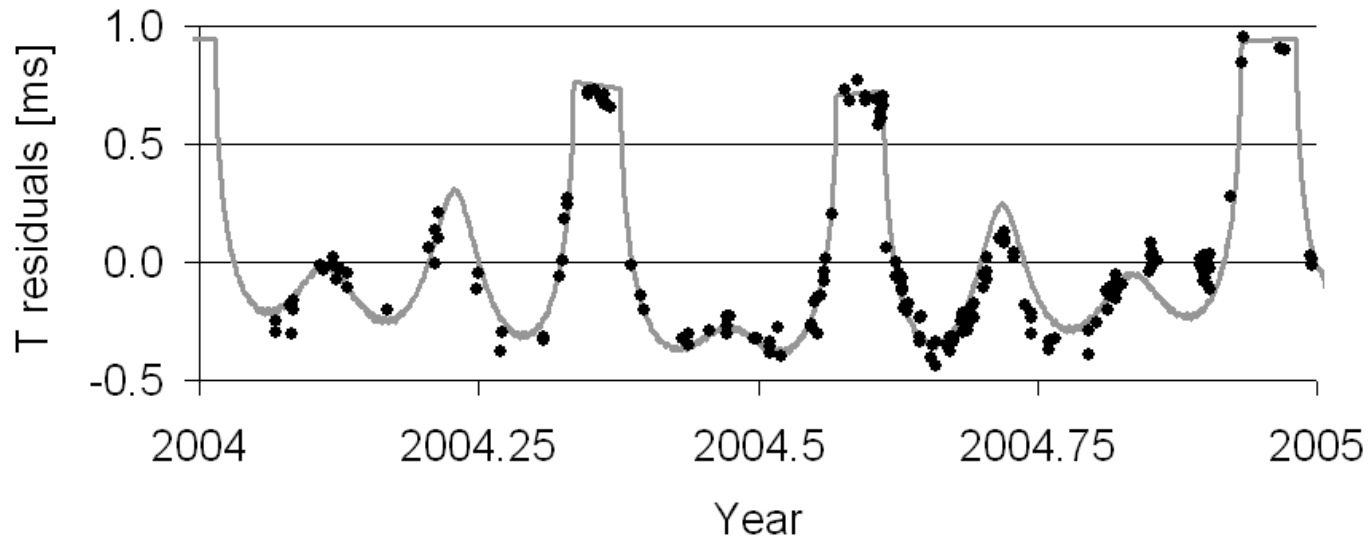


- Spectral Analysis (Lomb) Results:
 - Different frequencies;
 - Caused by different retro „rings“:
 - Each ring with different number of retros: 12/9/6/3 retro panels per „ring“



Erreichte Genauigkeiten: $< 0.1\%$ (alle SLR Stationen – meist 10 Hz);

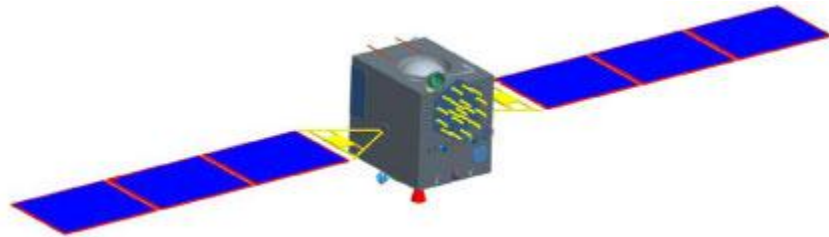
$< 0.004\%$: Graz kHz SLR Daten



Graue Linie: Normalisierte Sonnen-Einstrahlung (1.0: Orbit komplett in Sonne)

Punkte: Gemessene Abweichung von der ‚normalen‘ Spin-Verlangsamung

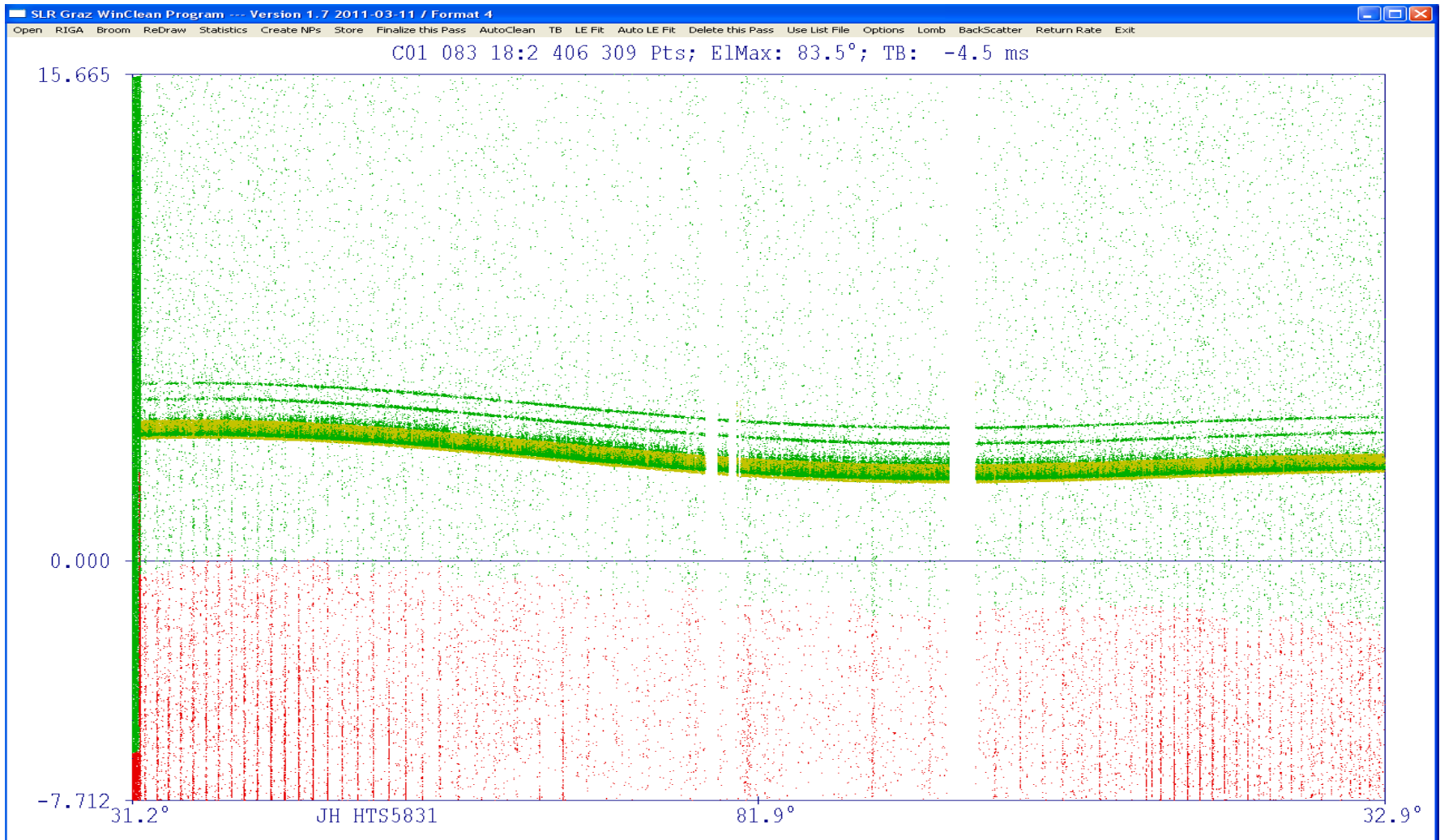
Die Spin-Verlangsamung ist nicht konstant, sondern wird – minimal – beeinflusst von der Gesamt-Sonneneinstrahlung (TSI: Total Sun Irradiance; Yarkovsky und Yarkovsky-Schach Effects)



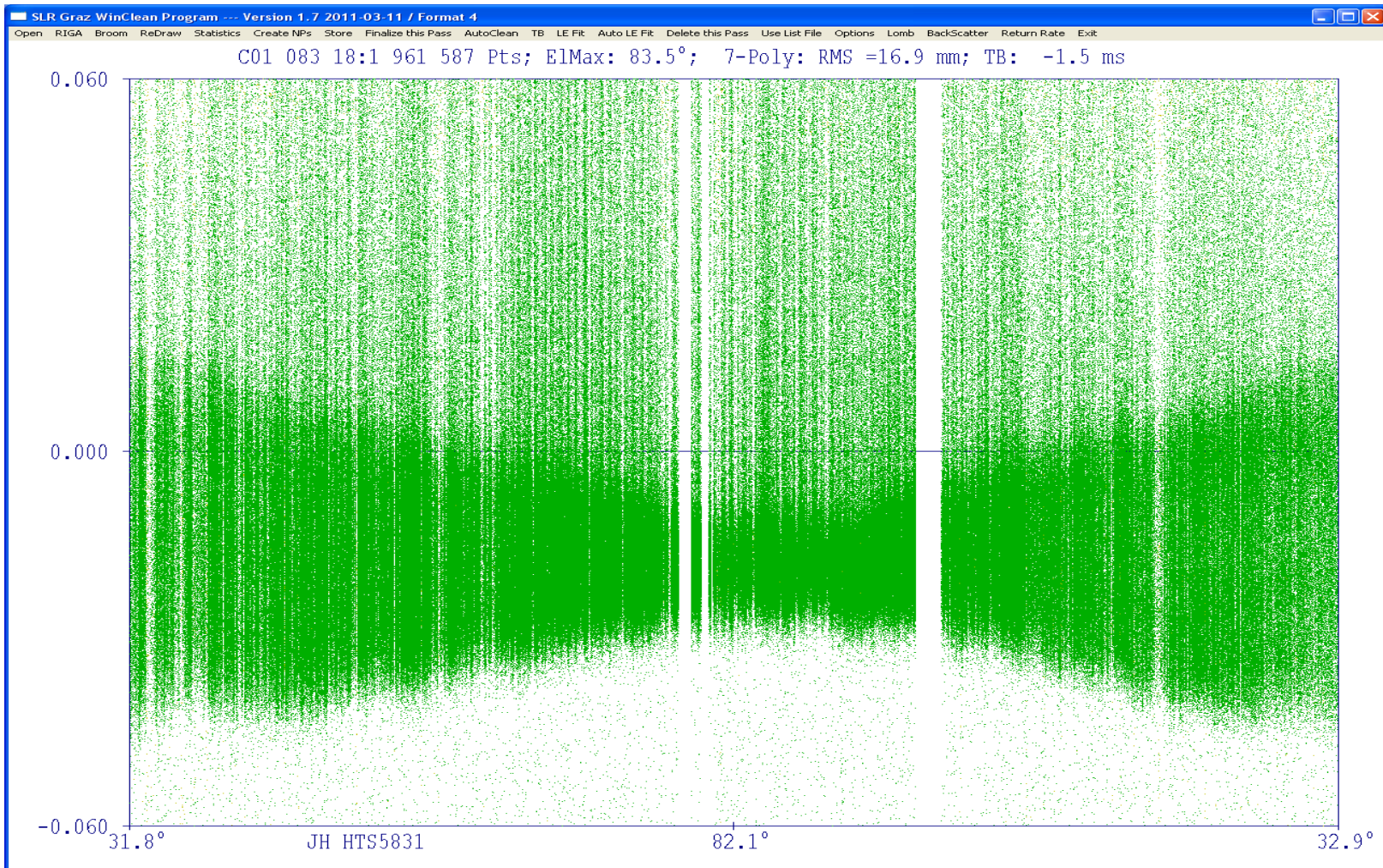
- Name: Compass – M1
- Sponsor: Chinese Defense Ministry
- Launch: April 2007
- Perigee: 21500 km
- Inclination: 55.5°
- Weight: 2200 kg

- Compass – M1: The retro panel
- 42 CCR, each 33 mm diameter
- Fused Silica, UNCOATED
- 2.5 kg

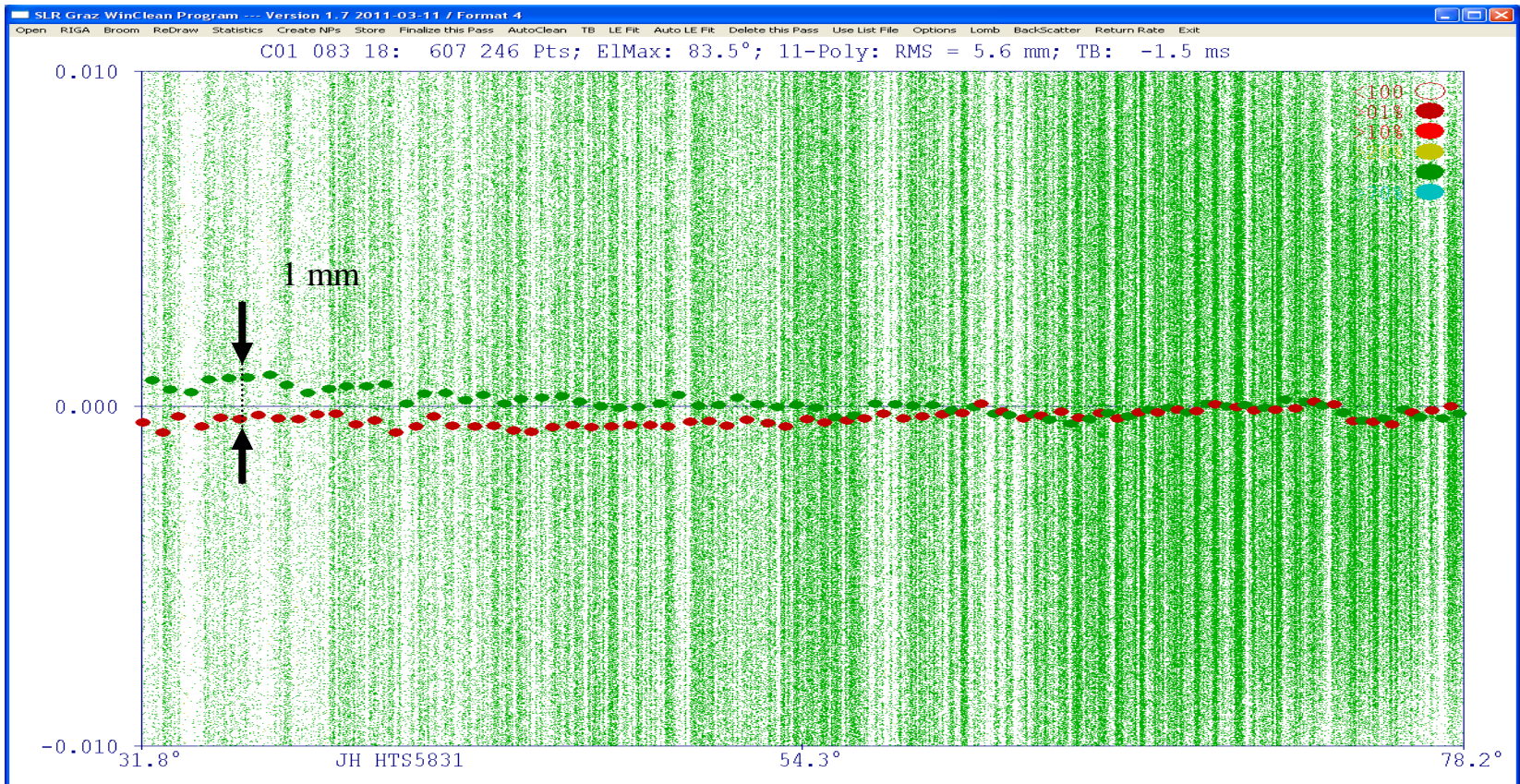




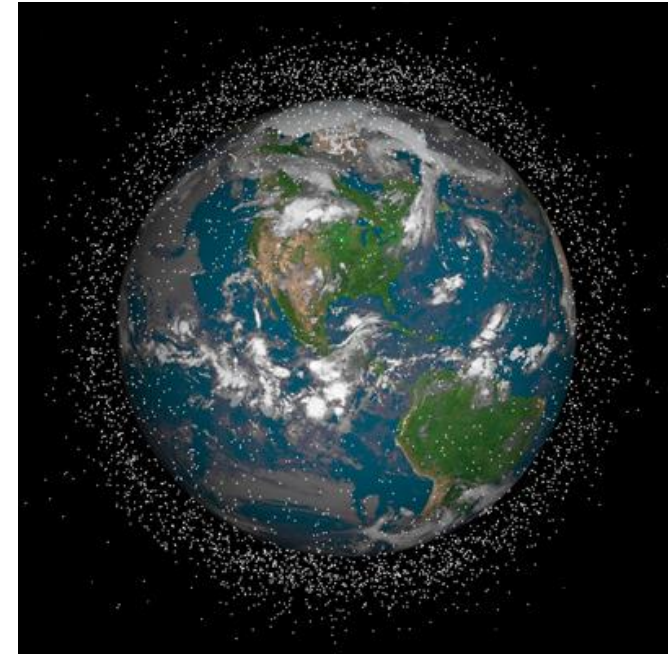
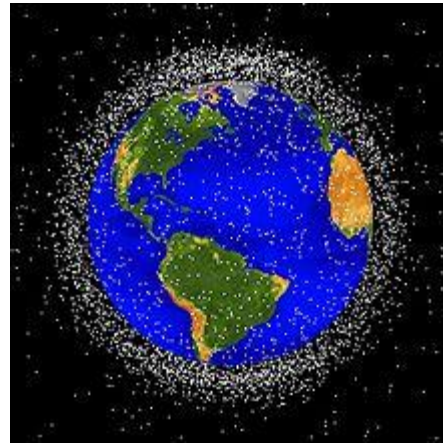
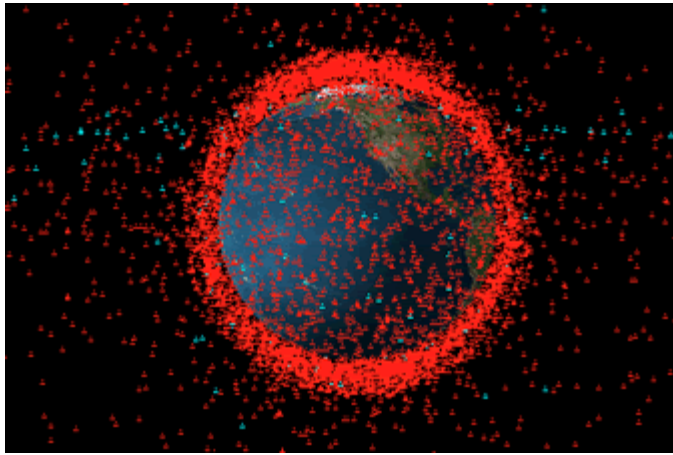
- Etwa 4 Stunden eines Compass-M1 Passes gemessen; max Elevation: 83.5°
- < 3% ‚post train‘ (durch minimale Restpulse des Lasers / regenerativer Verstärker)
- Trotz ‚Overlap Avoidance‘: Noch immer – geringfügige – Overlaps sichtbar



- Hauptspur klar erkennbar;
- Die Geometrie des Retro-Reflektor-Panels wird erkennbar
- Trotz Single-Photon-Echos: Knapp 2 Millionen gültige Echos....



- **Grüne NPs: UNGERADE Minuten, POL Ebene quer zum Orbit;**
- **Rote NPs: GERADE Minuten; POL Ebene entlang des Orbits**
- Der Effekt verschwindet bei höheren Elevationen; er kann bis zu etwa **200 µm** gemessen werden (!);
- Das entspricht der maximalen Auflösung der Grazer SLR-Anlage
- Der Effekt tritt nur bei **UNBESCHICHTETEN** Retros auf (bei allen neueren Satelliten)
- Lösung: Von linearer auf zirkuläre Polarisierung umsteigen (in Graz durch $\lambda/4$ Plättchen)



Wo immer der Mensch hin
kommt:

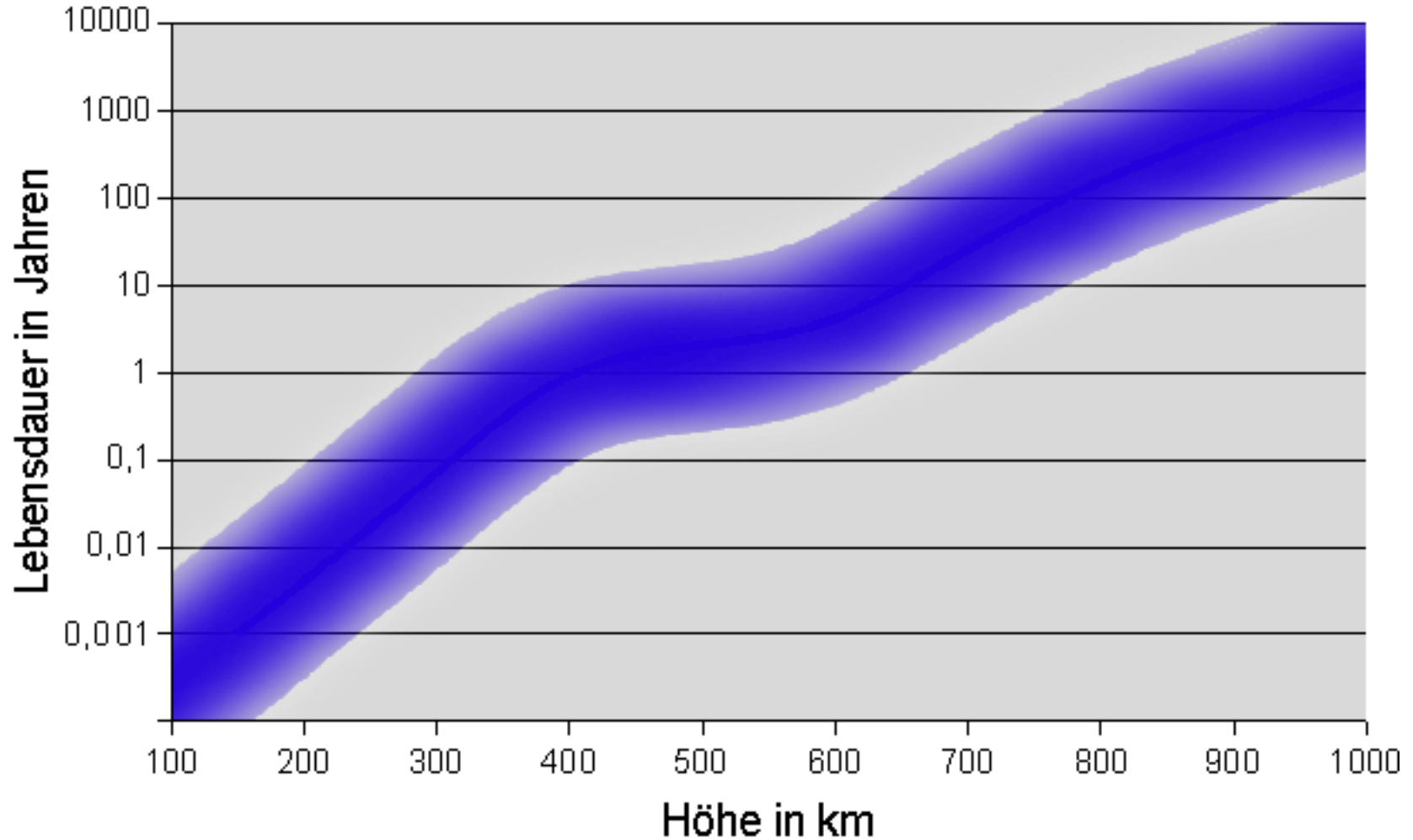
Er hinterläßt immer eine
Menge Müll ☹ ☹ ☹

Ein paar Zahlen: Es gibt

- Etwa **1000** aktive Satelliten derzeit im Orbit
- Mehr als **1000** alte / nicht mehr operationelle Satelliten
- Etwa **25.000** Schrott-Teile werden regelmäßig mit RADAR vermessen
- Etwa **500.000** kleine (> 1 cm) Schrott-Teile (geschätzt)

Die logische Konsequenz: Mehrere Satelliten wurden bereits von solchen Schrott-Teilen getroffen / beschädigt / oder komplett zerstört; Beispiele:

- ENVISAT (2012) (?); Corot (2011), OICET (2005), JASON-1 (2002), etc. etc.
- Iridium 33 / Cosmos 2251 (2009); China Fengyun 1C: Absichtlich (!)
- In den interessantesten Umlaufbahnen (800 km, Erdbeobachtungen) befinden sich auch die meisten Schrott-Teile; und diese Umlaufbahnen sind auch ziemlich stabil: Es dauert Jahrzehnte bis Jahrhunderte bis zum Wiedereintritt in die Atmosphäre ☹



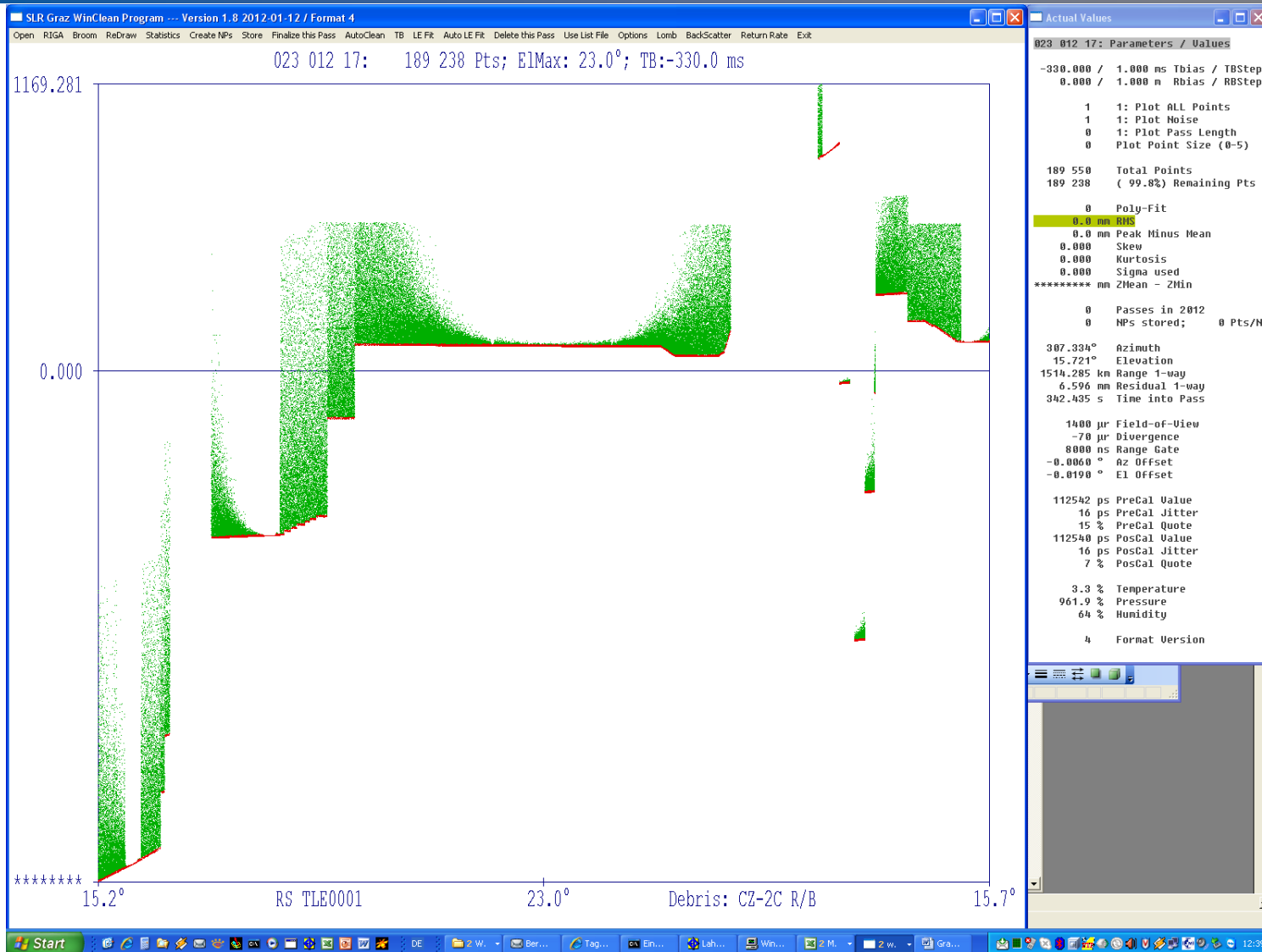
Source: Wikipedia

Erste Laser-Entfernungsmessungen zu Weltraumschrott durch die Grazer Laser Station: Jänner 2012

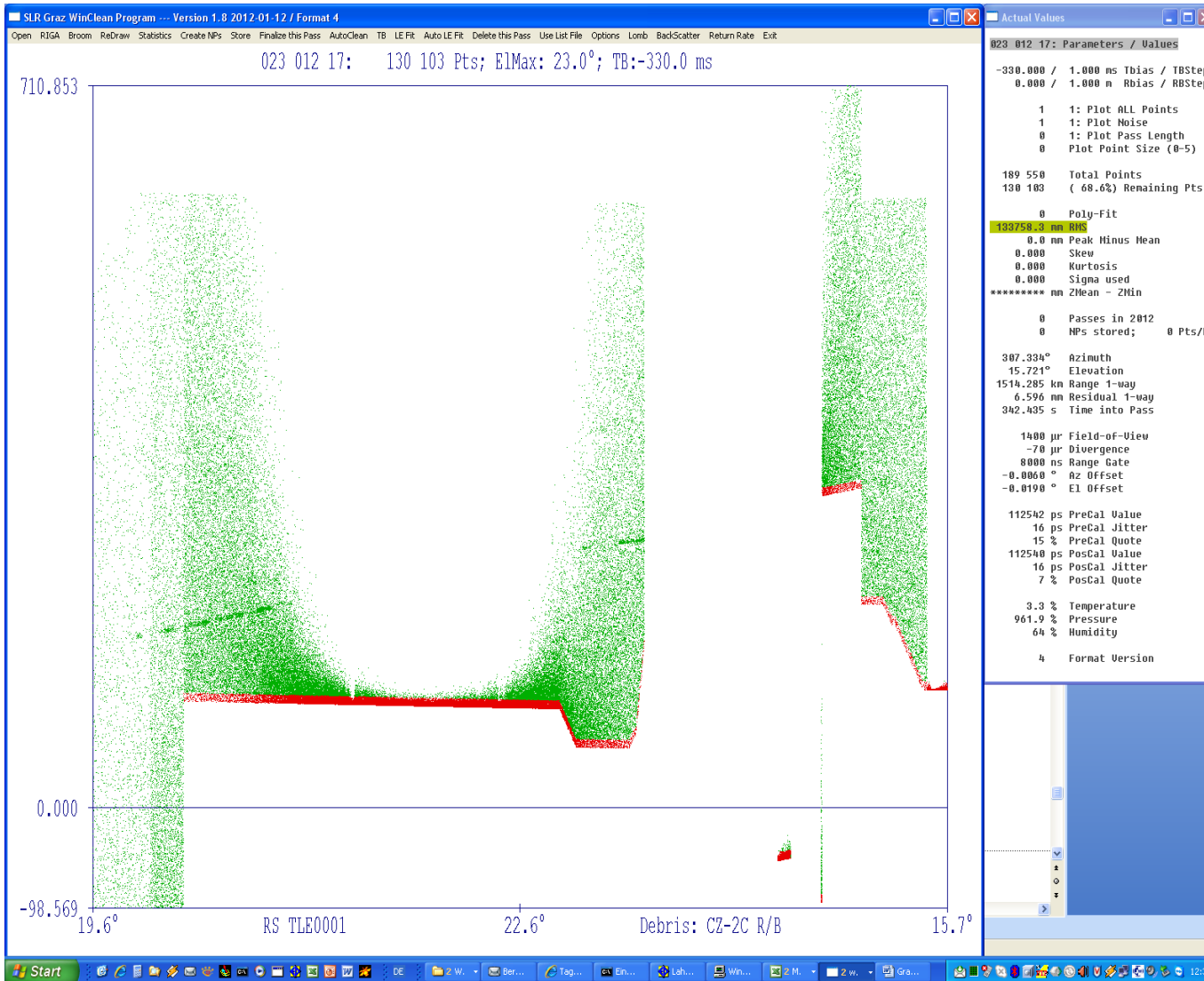
Stärkerer Laser: 25 mJ / 1 kHz / 10 ns (für Space Debris)
(Graz Laser: 0.4 mJ / 2 kHz / 0.01 ns (für SLR Satelliten))

- Laser: Leihweise vom DLR Stuttgart (Kooperation)
- 85 Durchgänge von 43 Objekten vermessen
- Entfernungen von 600 km bis > 2500 km
- Genauigkeit: ~ 0.7 m bei den meisten Messungen
- Messungen sind sehr schwierig: Nur Einzelphotonen, sehr ungenaue Bahnelemente etc
- Durchgeführte Verbesserungen: Neue Detektor-Einheiten gebaut:
 - Geringere Dunkelzählrate (von 400 kHz auf < 10 kHz)
 - Bessere Detektor - Elektronik („Active Quenching“)
 - Größere Detektorfläche (500 μm statt 200 μm)
- Pläne: Verbesserte Orbit-Vorherberechnungen: Damit Messungen nicht mehr eingeschränkt sind auf beleuchtete Objekte





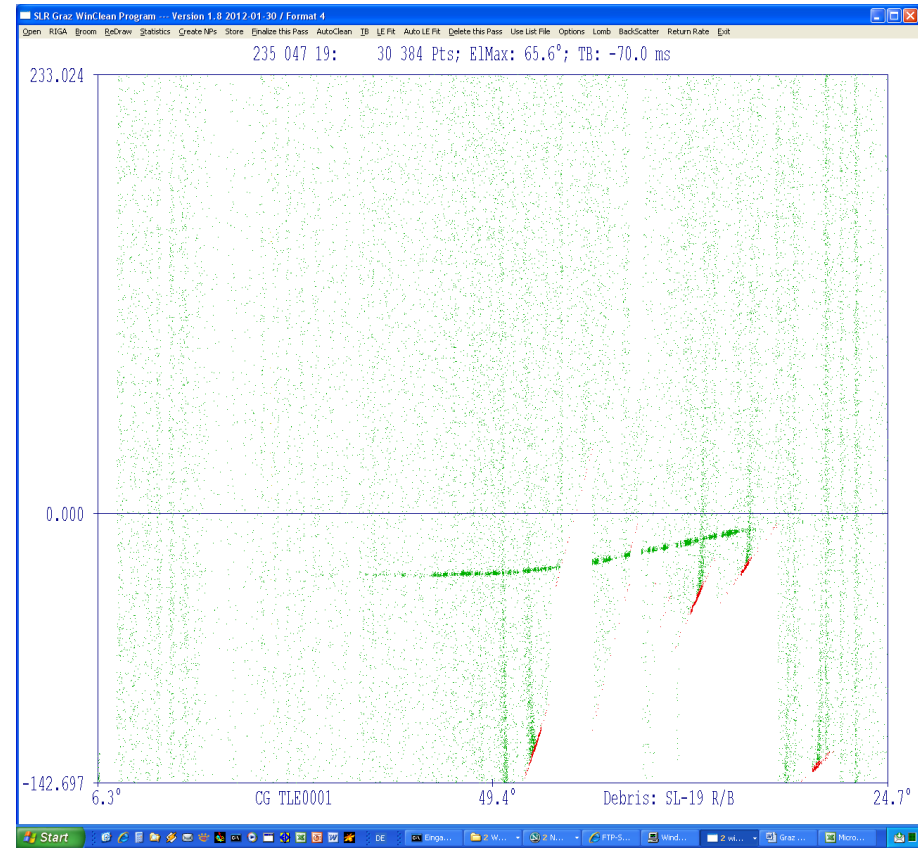
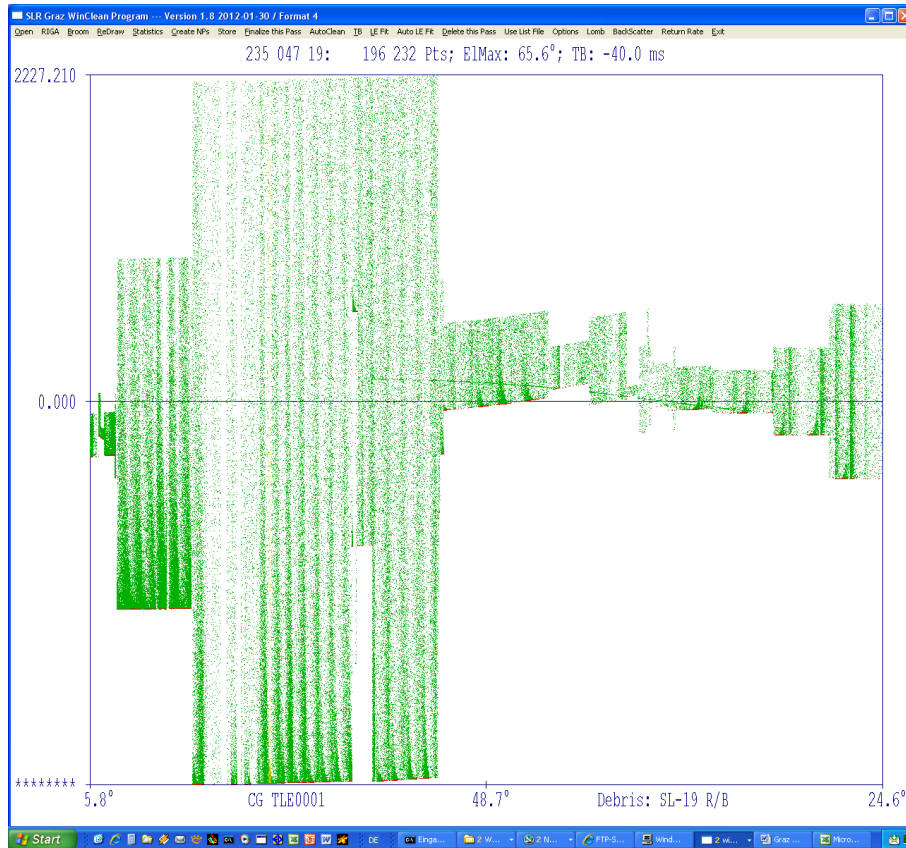
- Ein erster erfolgreicher Pass; Aber: WO sind die Echos von der Raketenoberfläche ???



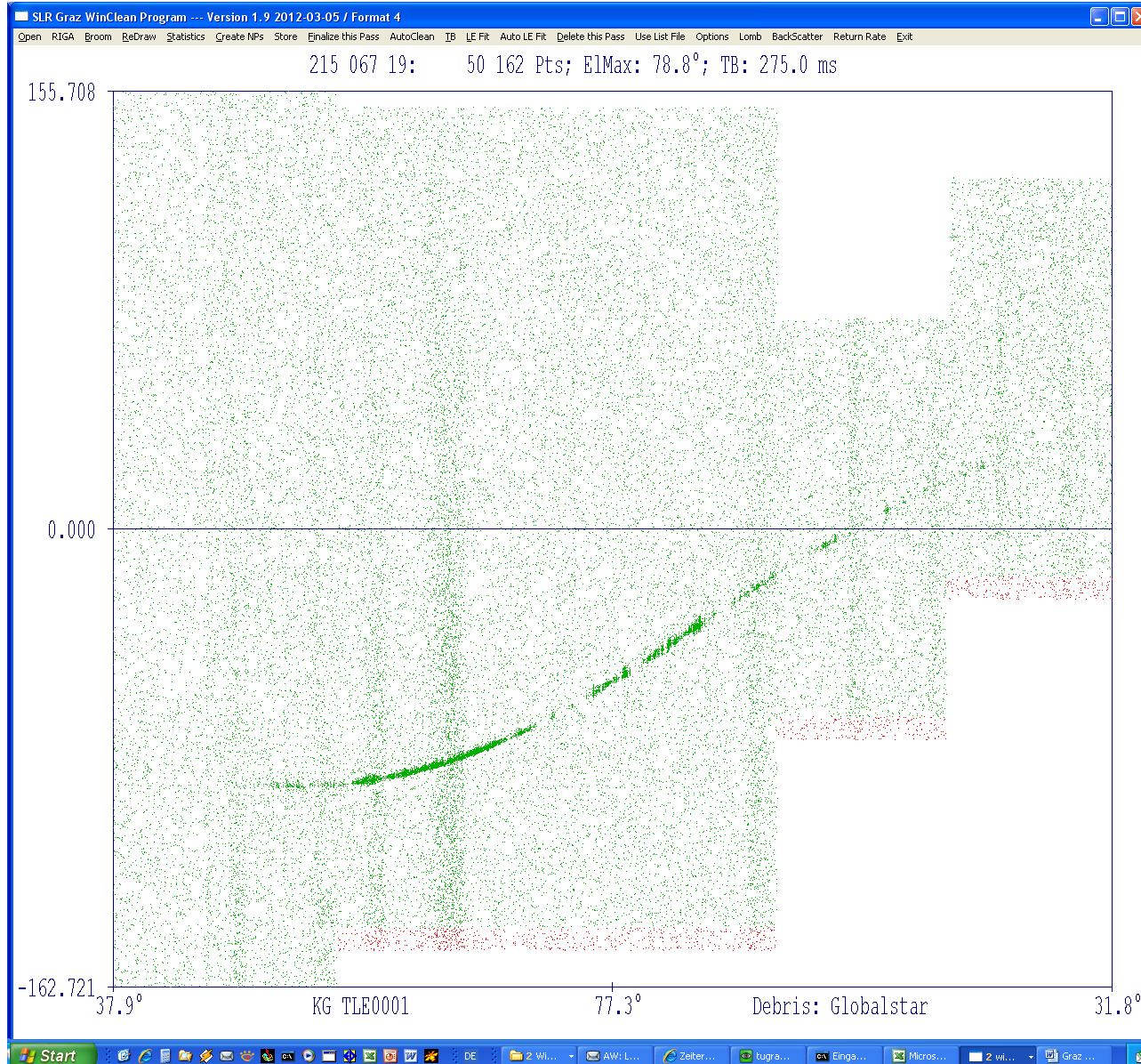
CZ-2C-R/B:

- Rocket Body
- RCS: 12 m²
- Start 2004;
- In 600 km Orbit

■ Spur nun sichtbar; Entfernung etwa 1400 km; ein erster Erfolg ...



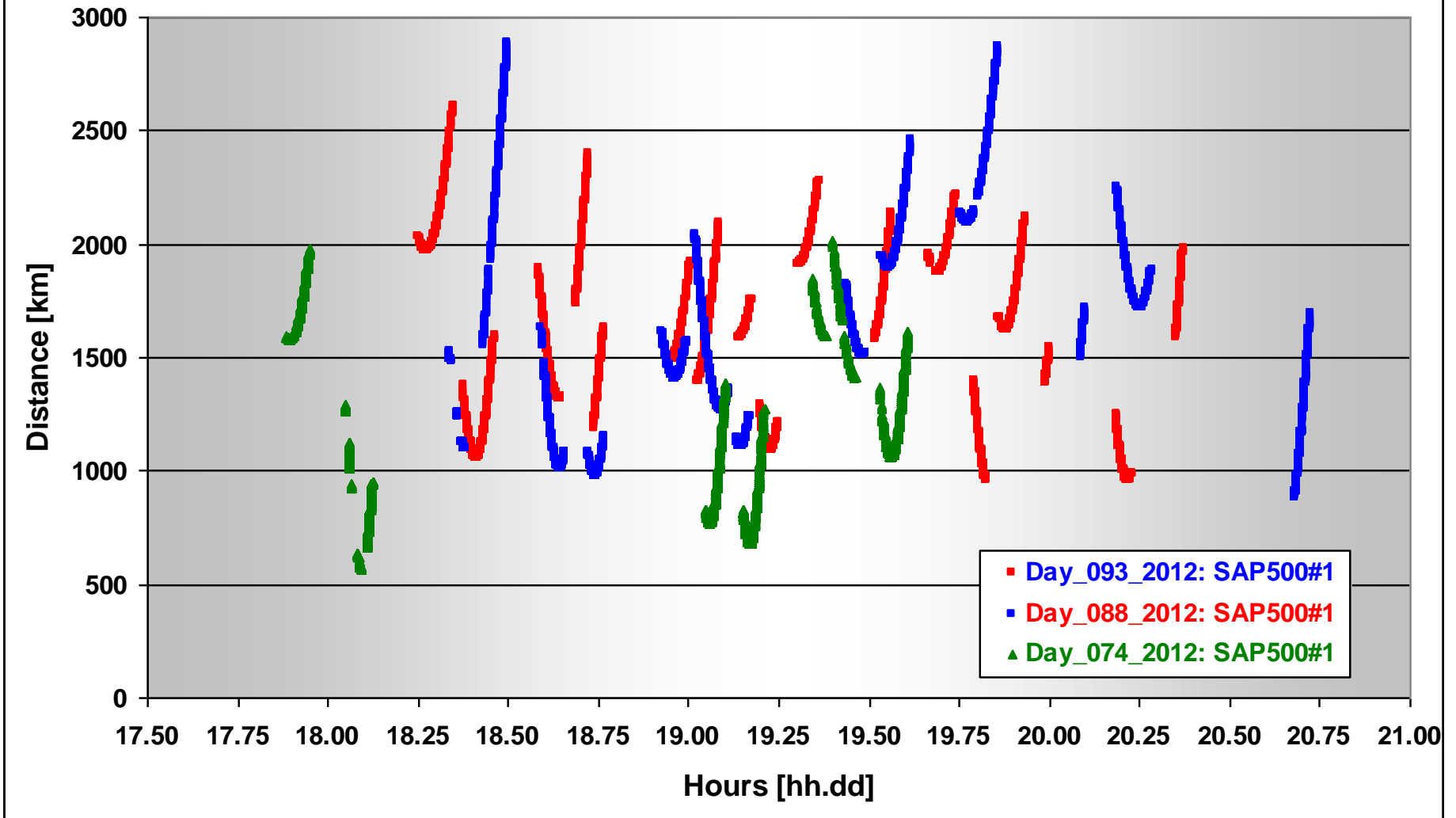
Letzte Stufe einer relativ kleinen Rakete; RCS (Radar Cross Section) etwa 2 m²
 2500 km bis 1700 km Entfernung; TB: -66 ms; RB: -60 m: Relativ gute
 Bahndaten für Schrott-Teile; zum Vergleich: Bahndaten für SLR Satelliten sind
 etwa 1–2 Größenordnungen genauer ...

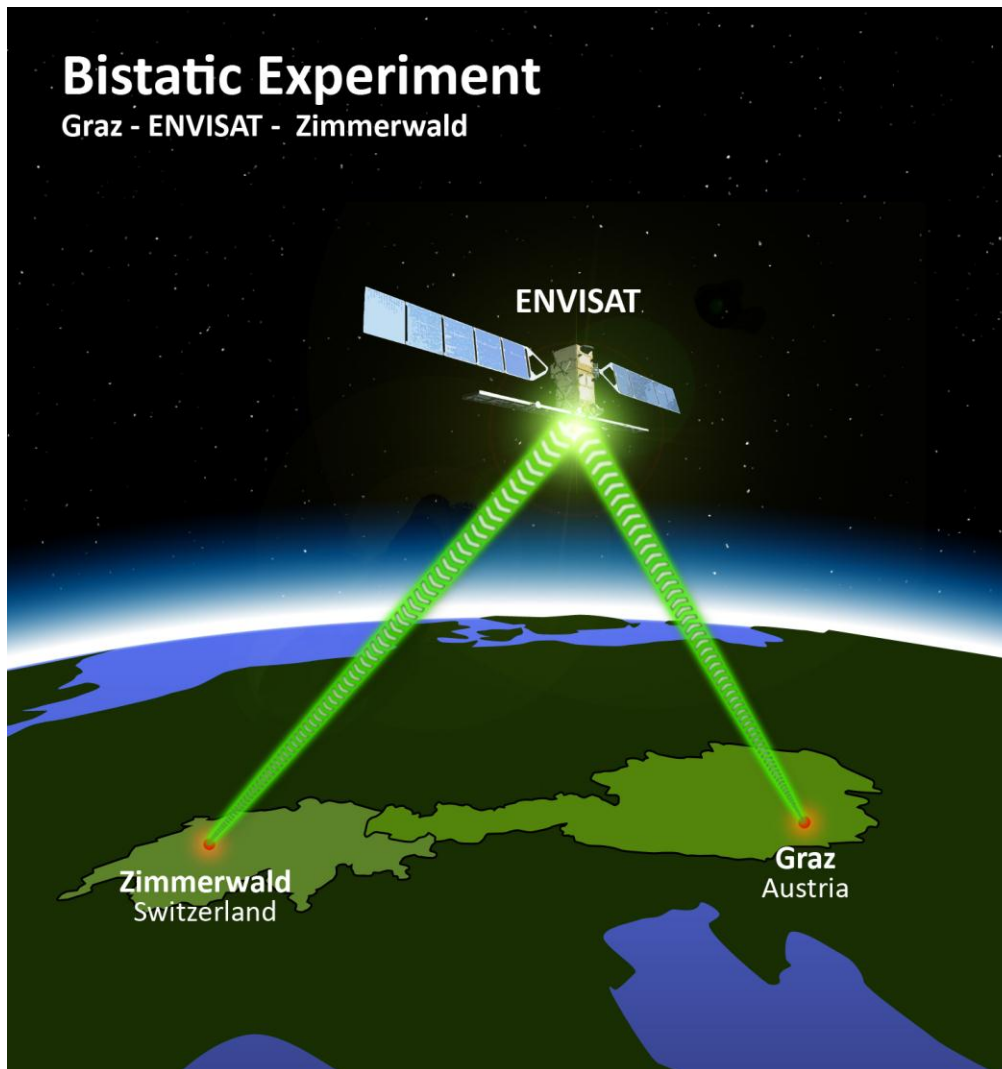


Globalstar

- Alter Satellit
- RCS: 2 m²
- Gestartet 1998;
- In 1516 km Orbit
- > 6000 gültige Echos
- 1850 -2050 km Entfernung
- Ganzer Pass gemessen:
ermöglicht verbesserte
Bahndaten-Berechnungen

SLR Graz Debris Ranging: Day 93/88/74_2012: Pass Switching



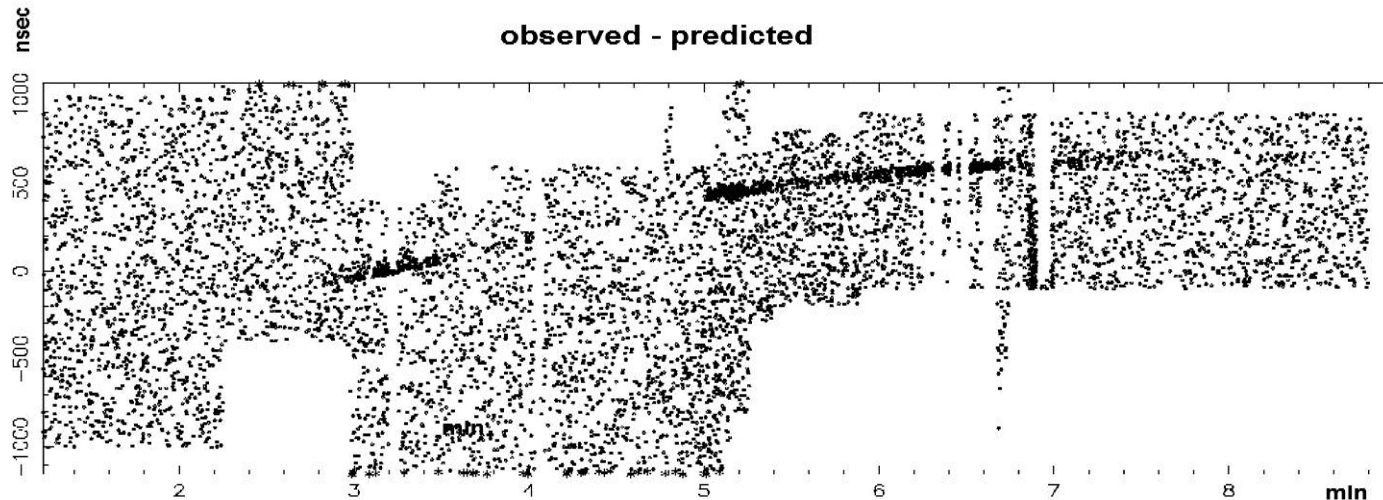


‚Bistatic Experiment‘

- Graz schießt mit starkem Laser auf ENVISAT
- SLR Station Zimmerwald / Schweiz:
 - Synchronisiert zur Grazer SLR Station
 - Grazer Photonen in Zimmerwald detektiert
 - (reflektiert vom Satellitenkörper)
- Beide Entfernungen nun bekannt (mit sub-m):
 - a) Graz – ENVISAT
 - b) ENVISAT – Zimmerwald
- Ermöglicht genauere Bahnbestimmung
- Wegen der diffusen Reflektion:
 - Möglichkeit für zusätzlich SLR Stationen
 - Erlaubt einfache Triangulation ...
 - Genauere Orbitbestimmung

Bistatic Experiment Graz–ENVISAT–Zimmerwald

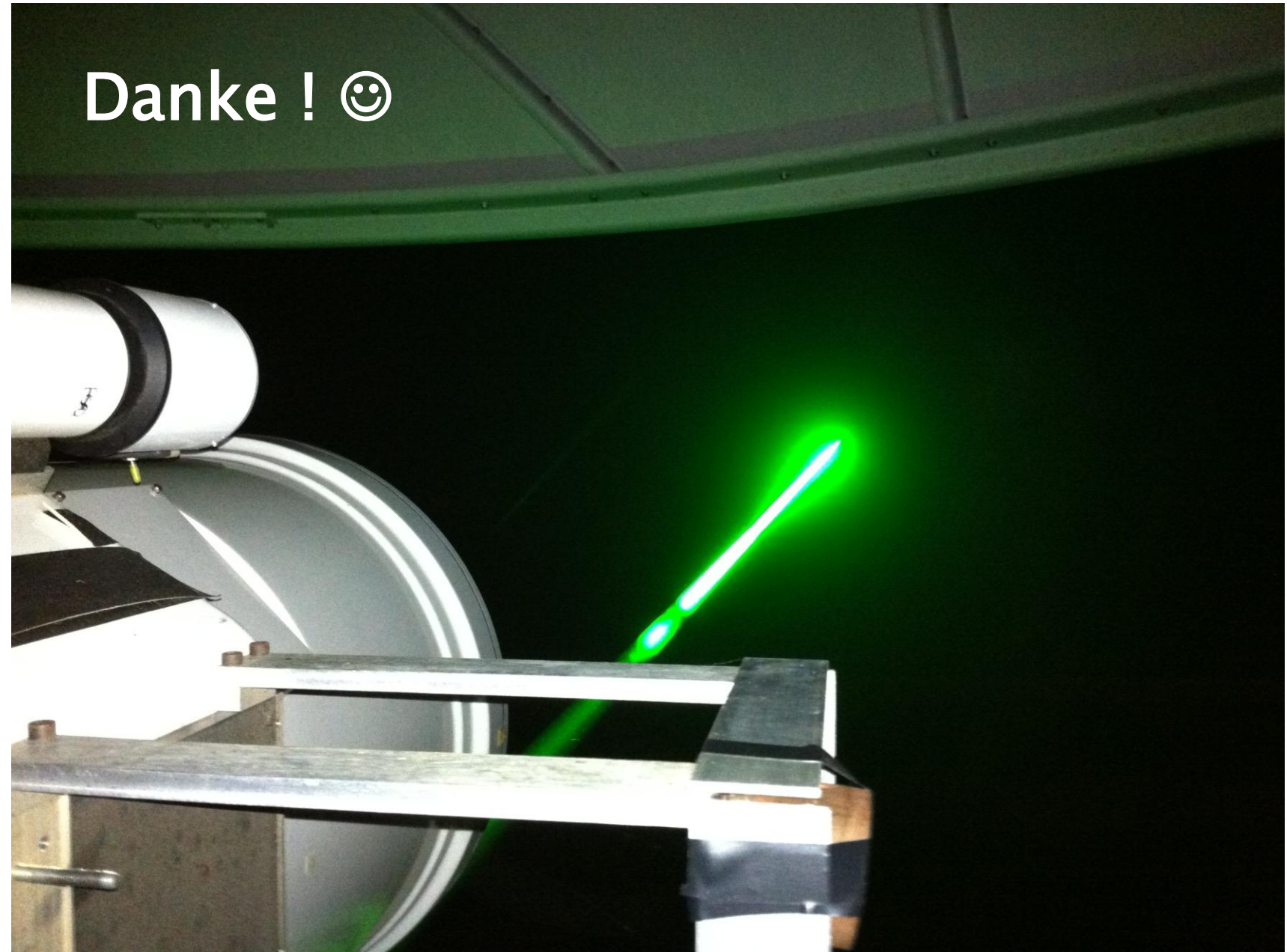
Envisat 28 March 2012, 20:40 – 20:50 UT: Returns measured at Zimmerwald

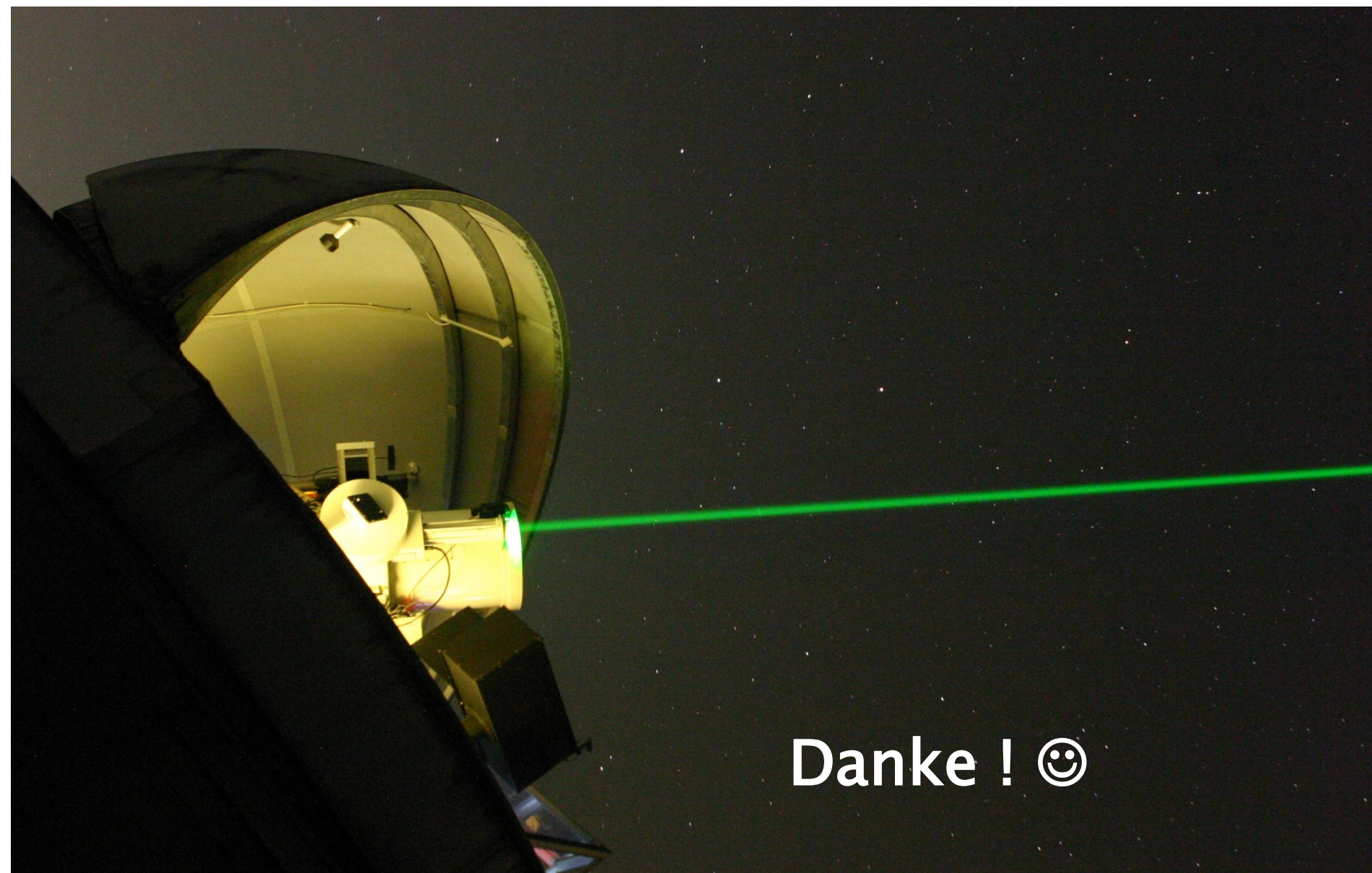


Georg Kirchner, Franz Koldi, Martin Ploner, Johannes Utzinger 28.03.2012

„Grazer“ Photonen in Zimmerwald detektiert
(und natürlich auch in Graz 😊)

Danke ! 😊





Danke ! 😊