Lichtkurven von Kleinplaneten und deren Auswertung

Mike Kretlow
ROTAT & SATINO Observatory

Hamburger BAV Treffen
15. November 2016

Lichtkurve eines Asteroiden

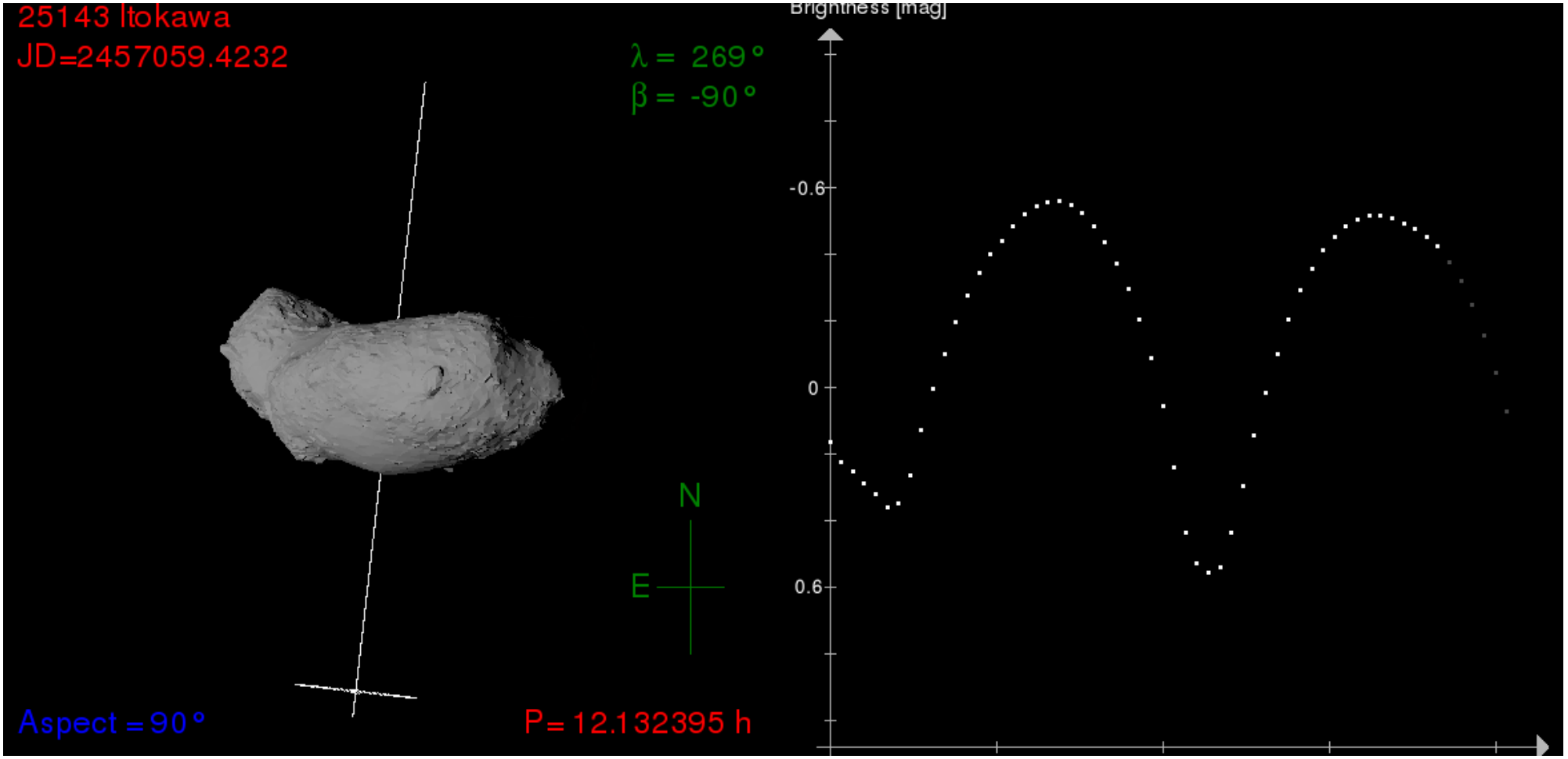


Bild: gaiagosa.eu

Bestimmung dynamischer und physikalischer Parameter

- Dynamische Parameter: Bahnelemente, Dynamik, Evolution, Familien usw.
- Physikalische Parameter: Größe, Masse, Dichte, Form, Rotationsparameter (Dauer, Achse), Evolution, usw.
- (Geo-)Chemische bzw. Physikalisch-chemische Parameter.

Aufgaben und Fragestellungen

Generell: Mehr Daten !

=> Statistik, Theorien & Modelle, Data Mining usw.

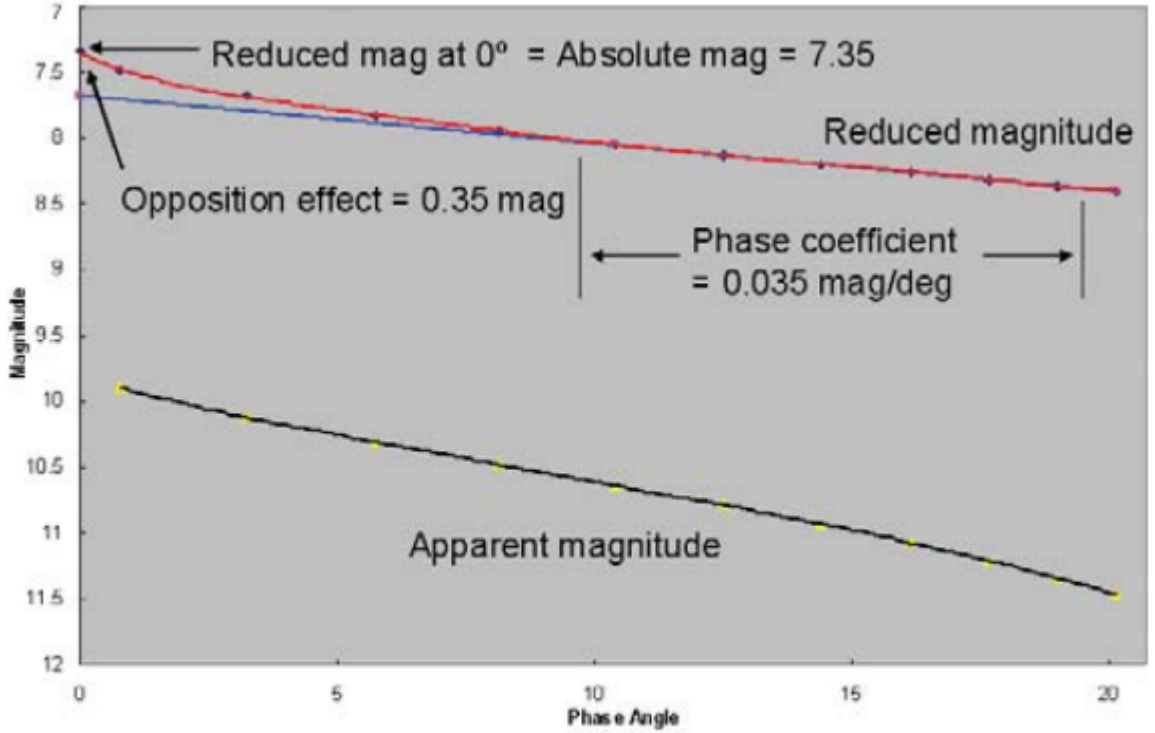
- ~700.000 Asteroiden (ca. 500.000 nummeriert).
- ~15000 Lichtkurven-Parameter (P oder zumindest Amplitude).
- ~1000 Asteroiden mit 3D-Modell, Polorientierung.
- ~150 Doppel-/Mehrfach-Systeme.
- H,G-Parameter (=> absolute Helligkeiten, Gaia!).
  - Interessant für Sternbedeckungen und Durchmesser-schätzungen.
- Phasenkurve (Oppositionseffekt), usw.

Mehr Daten !

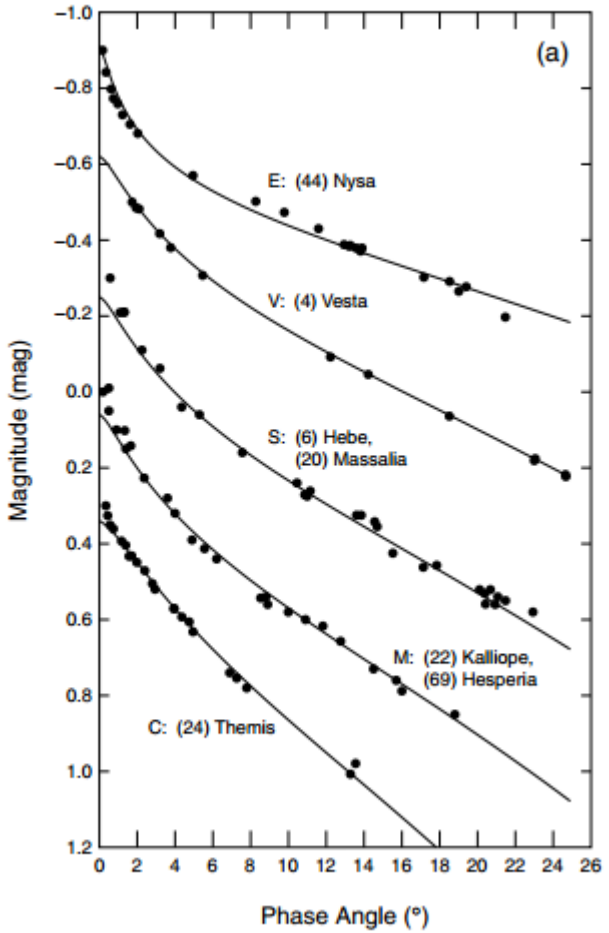
Oppositions-Effekt, (H,G)-Bestimmung, Albedo (Durchmesser)

Neue Arbeiten zum H,G-System: Oszkiewicz und Muinonen et al.

Reduzierte Helligkeit: $H(\alpha) = V - 5 \log (r\,\Delta)$

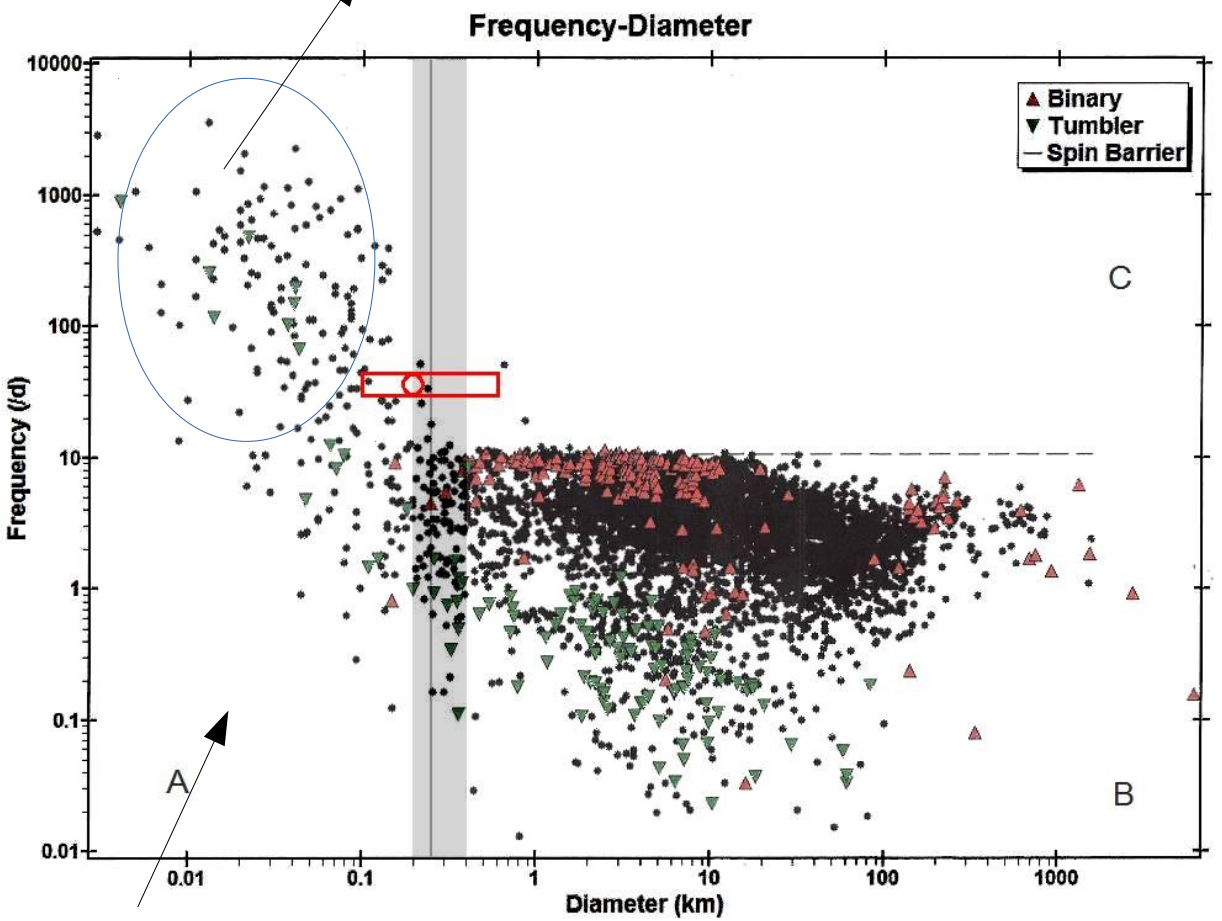


Dymock (2007) *Figure 1. Effect of phase angle on magnitudes.*



Mehr Daten !
Rotationsperioden

Monolitische fast rotator



Warum nicht populiert ?

Grafik: MPC

YORP-Effekt

Allmähliche Veränderung des Rotationszustands kleiner Körper unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung.

- Tritt bei *unregelmässig* geformten (kleinen) Körpern auf.
- Verändert Rotationsache und Periode.
- Spin-up kann zu Doppel- / Mehrfach-Asteroiden führen
- Spin-down kann zu slow rotators und / oder tumblers (keine fixe Rotationsachse) führen.

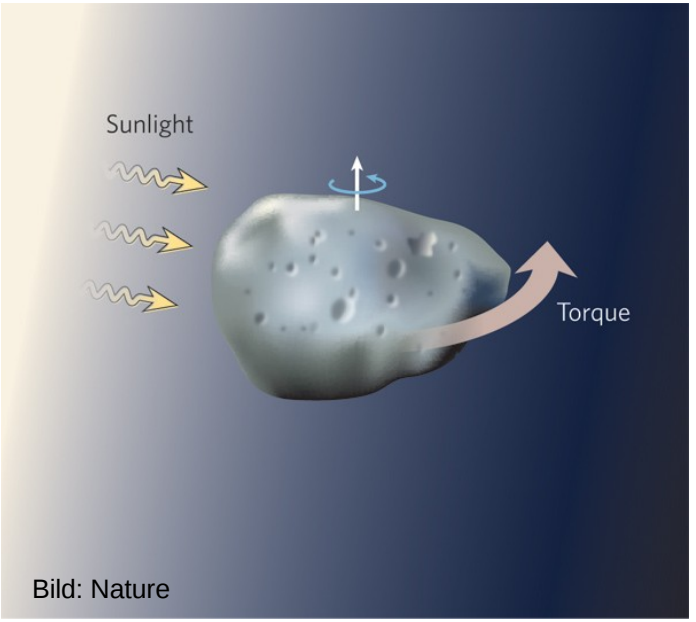


Bild: Nature

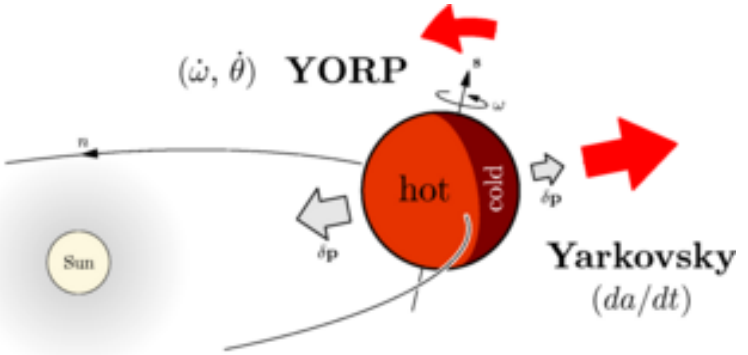
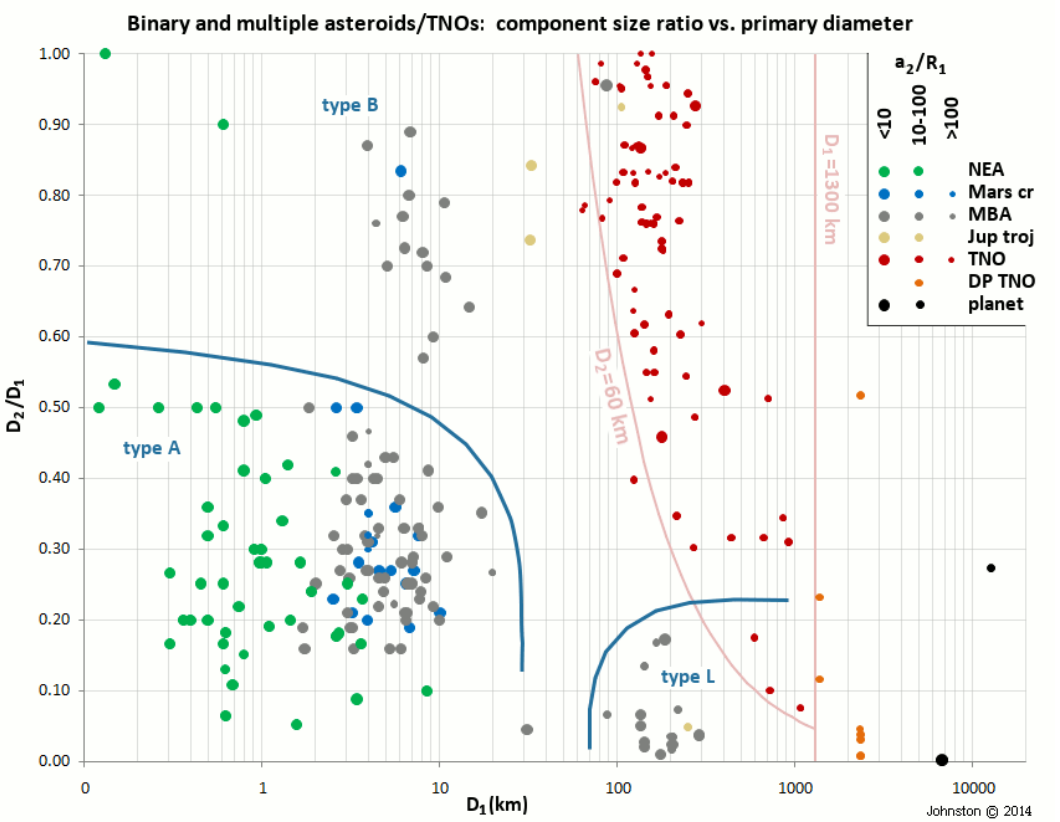


Bild: Miroslav Broz

Mehr Daten!
Asteroiden-Systeme:
Doppel-Asteroiden, Monde etc.

Techniken um Asteroiden-Systeme zu entdecken

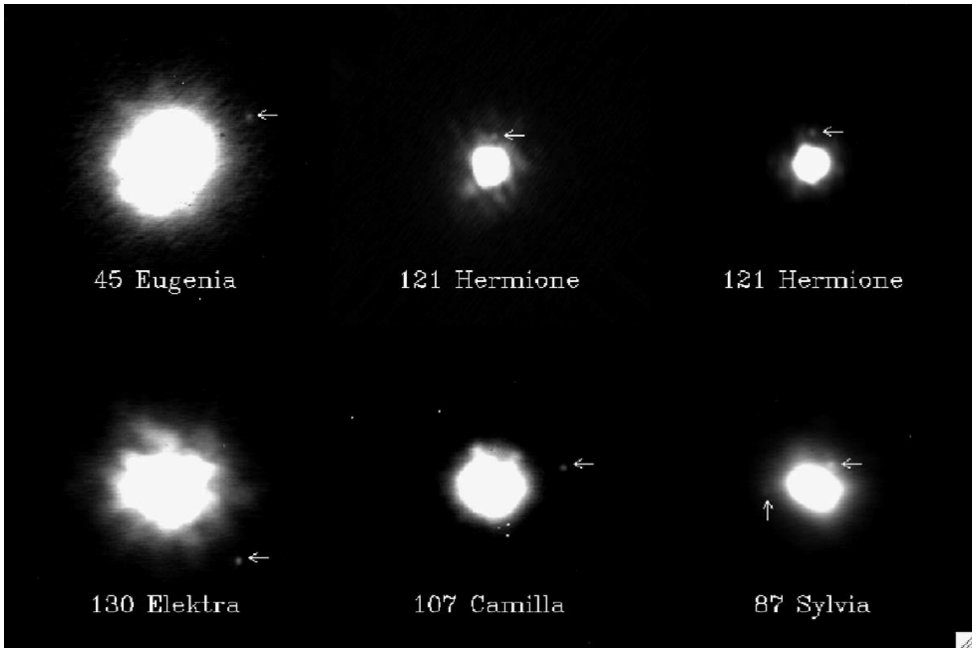
- Adaptive Optik
- Photometrie (Lichtkurven)
- Radar



Grafik: johnstonsarchive.net

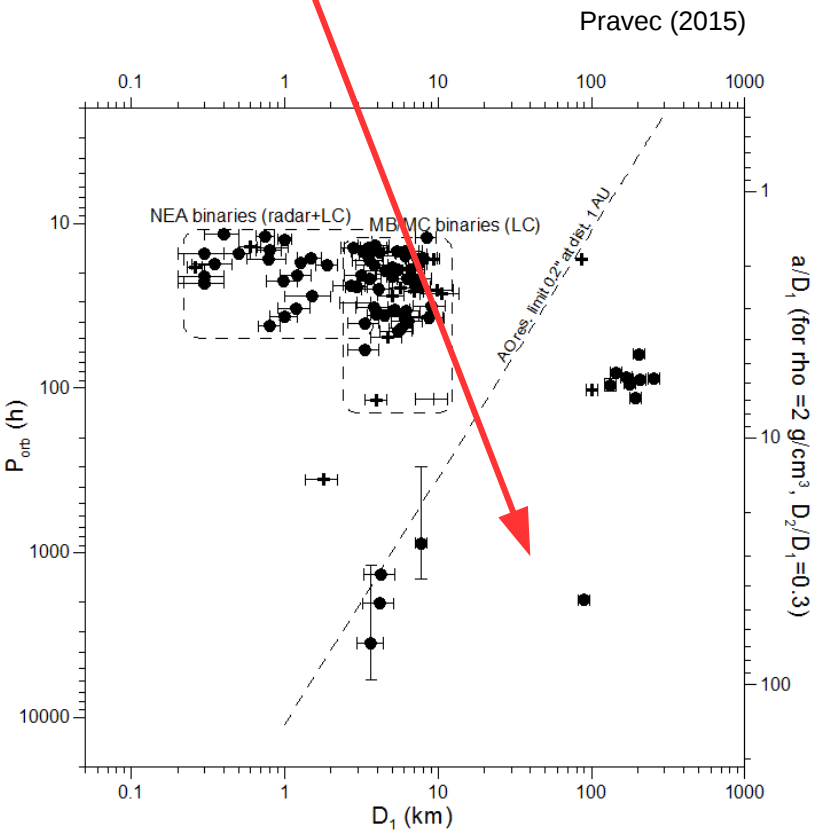
Adaptive Optik

Typische Auflösung ~0.2 arcs => Limitiert auf weite / große Systeme
(0.2 arcs ~150 km in 1 AE)



Marchis et al. (2007)

Pravec (2015)



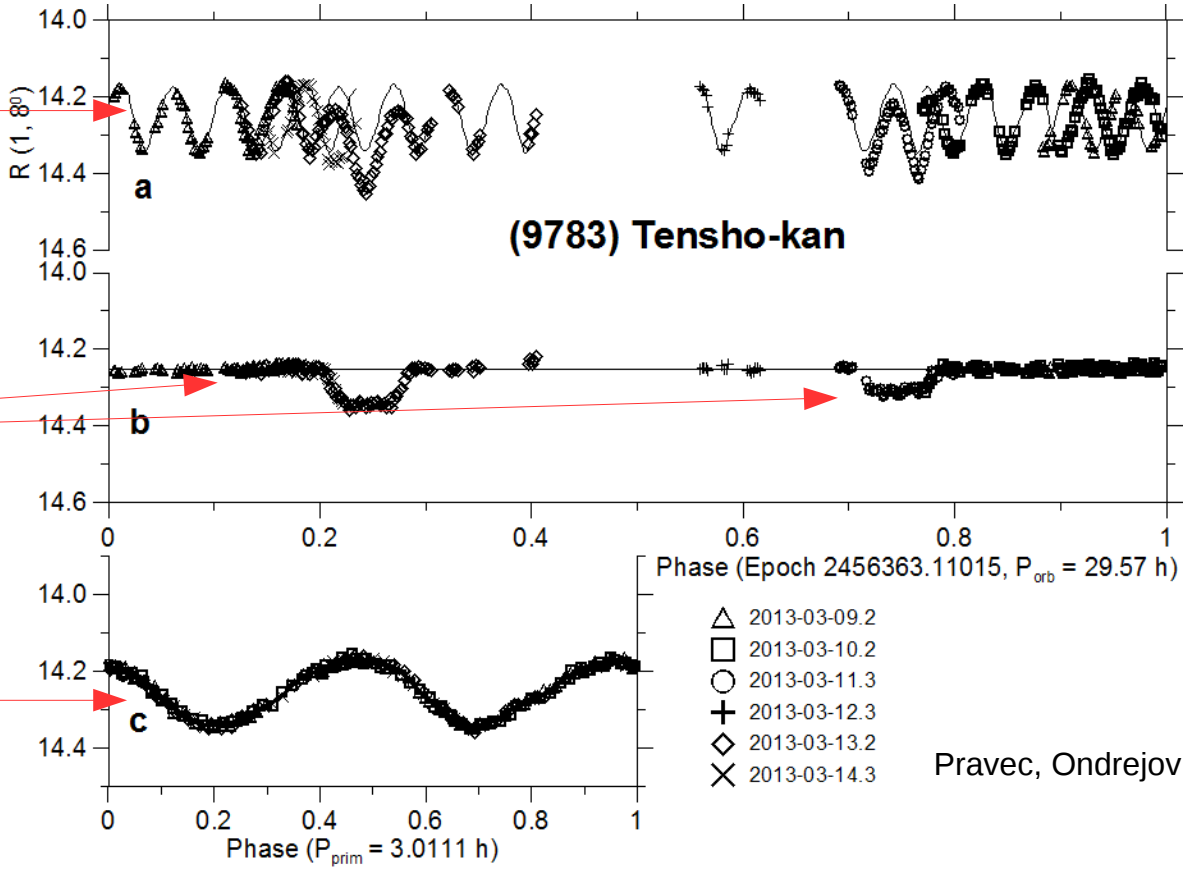
Photometrische Beobachtung eines Doppel-Asteroiden

Gesamt-Lichtkurve

Entfaltung:

Finsternisse u. Bedeckungen

Lichtkurve des Hauptkörpers



Pravec, Ondrejov

3D-Modelle (Shape) und Rotationsachse aus LC-Inversion

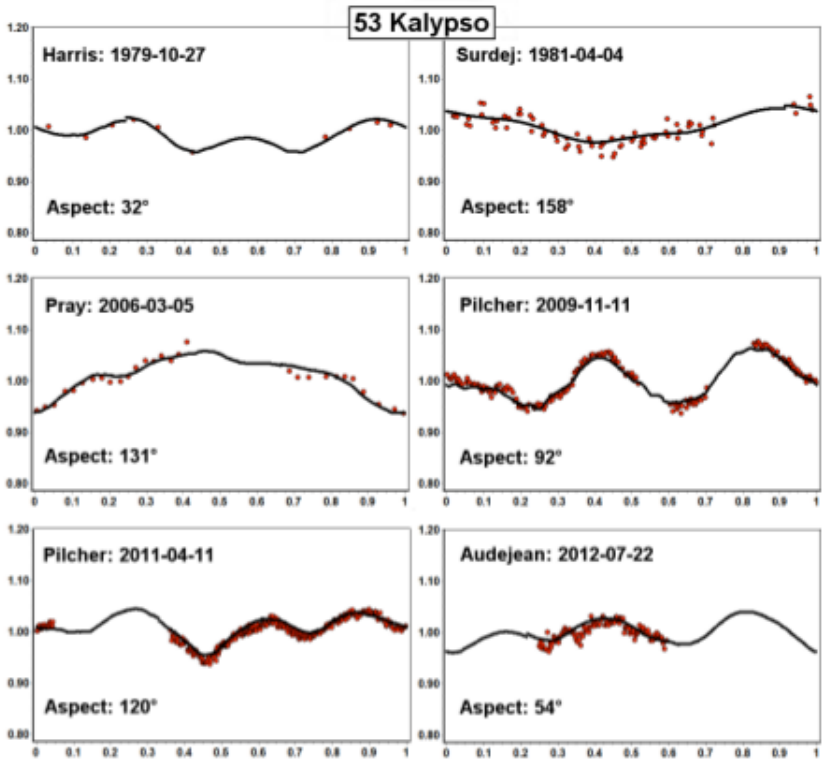


Figure 7. Model fit (black line) versus observed lightcurves (red points). Note the wide variety of lightcurve shapes.

Ref. Minor Planet Bulletin 43 (2016)

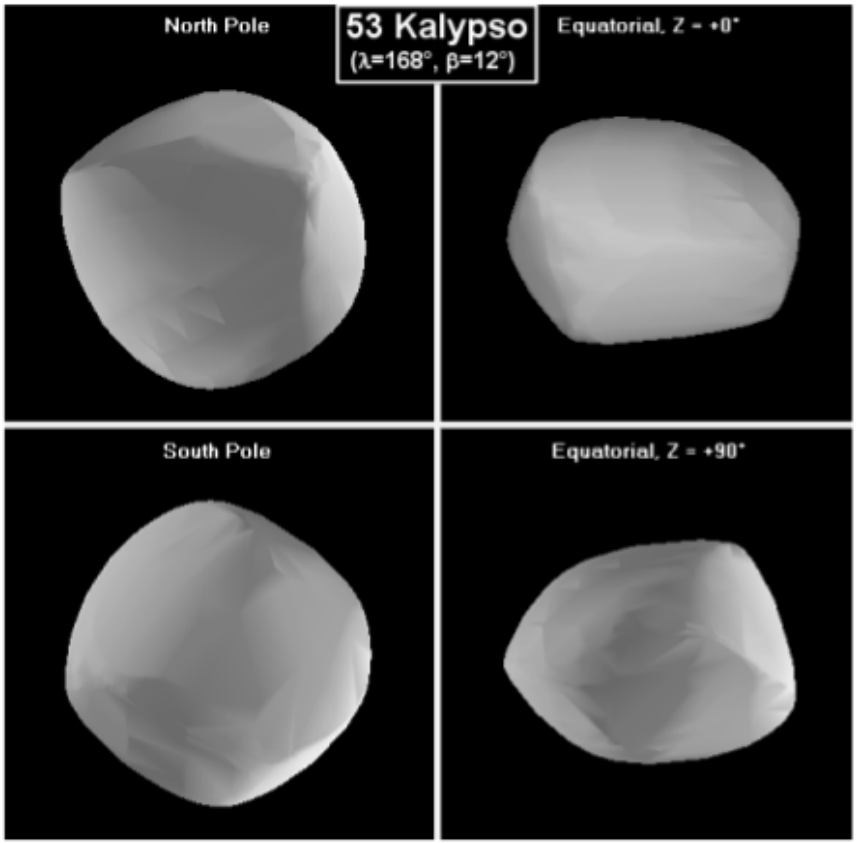
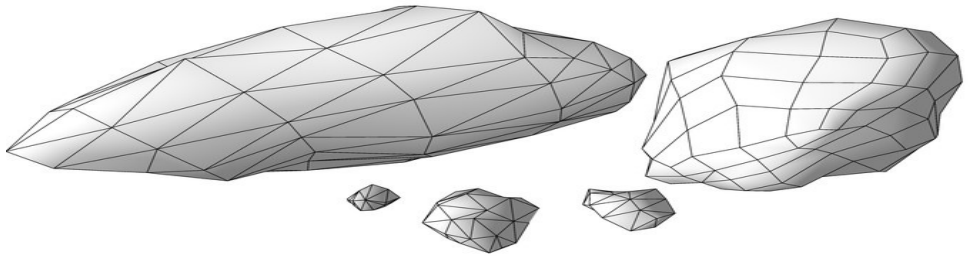
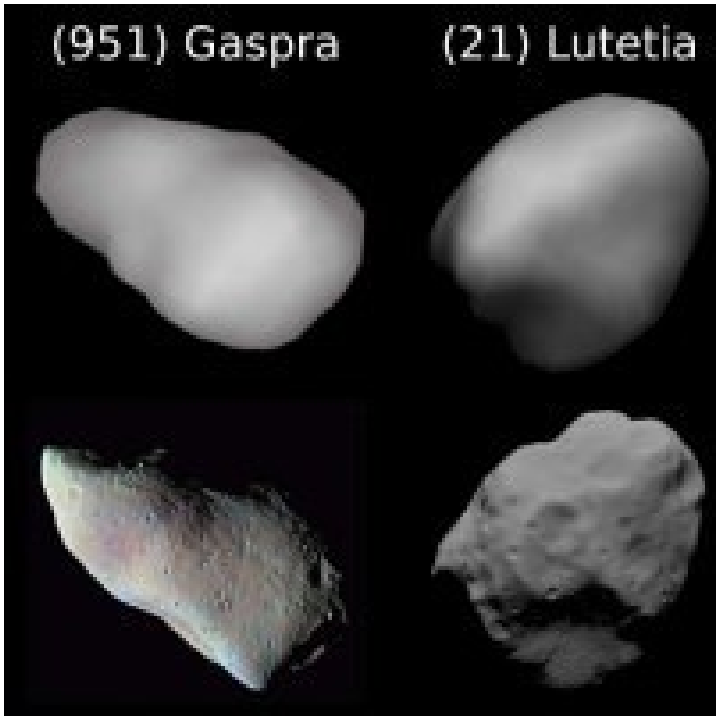


Figure 6. The shape model for 53 Kalypso (λ = 168°, β = 12°).

Asteroiden 3D-Modelle (Polygon-Mesh)





Polygon (Dreieck)-Mesh

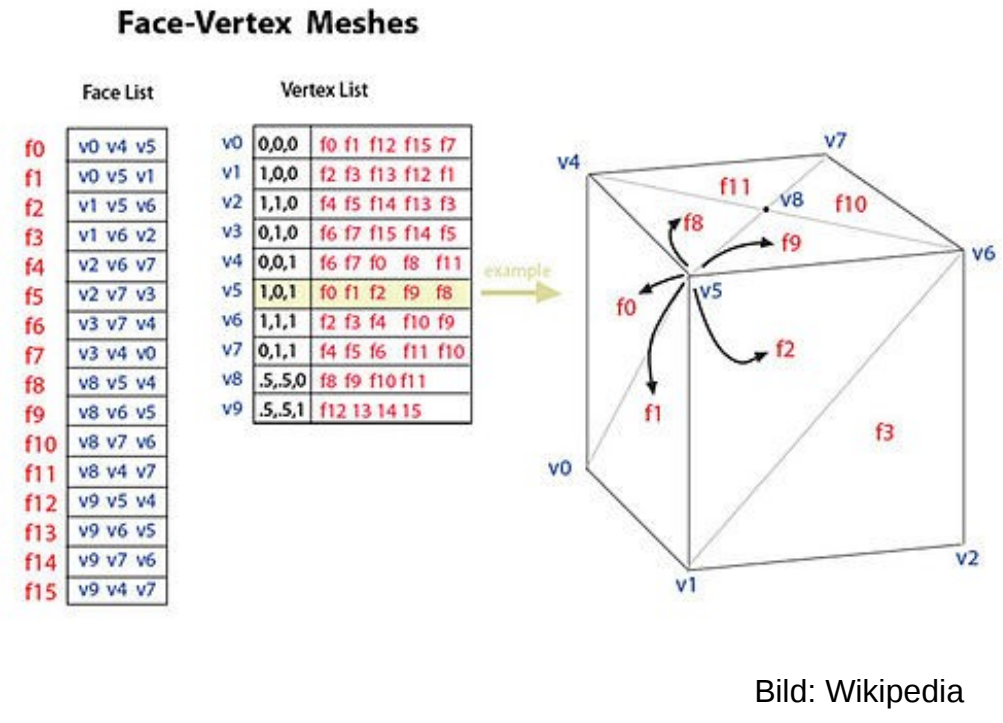
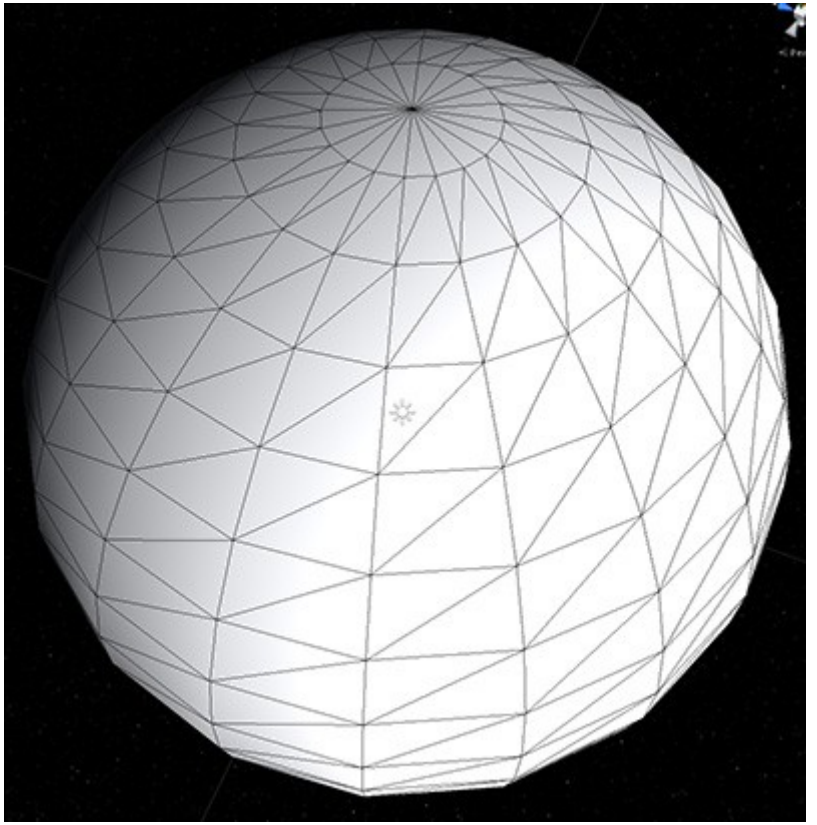


Bild: Wikipedia



Berechne Licht Ein- und Ausfall nach einem passenden Gesetz (Lommel-Seeliger) für jedes Facet und summiere über alle Facets (und das alles als Zeitreihe entsprechend der Rotation)

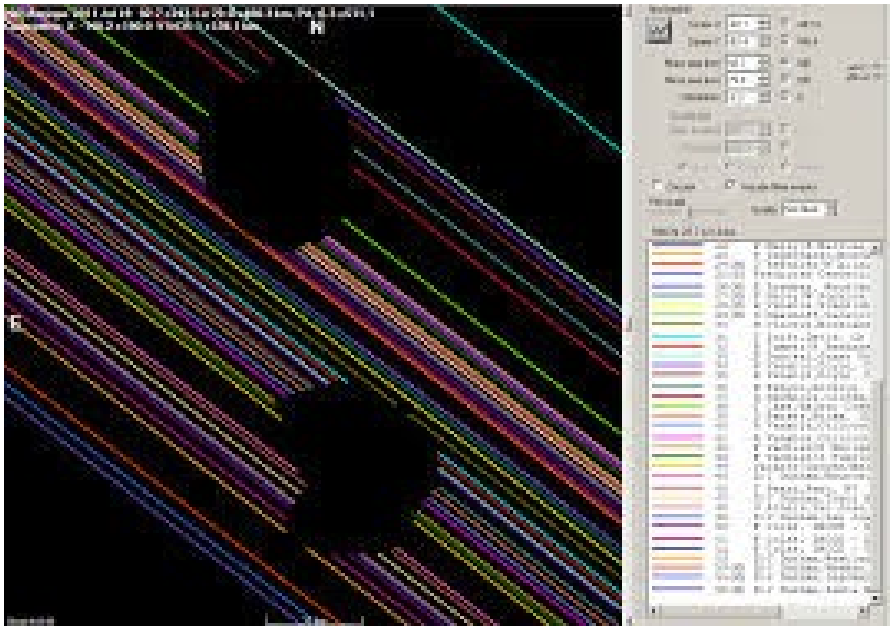
=> synthetische Lichtkurve, z.B. als Vorhersage für Beobachtungen, Sternbedeckungen etc.

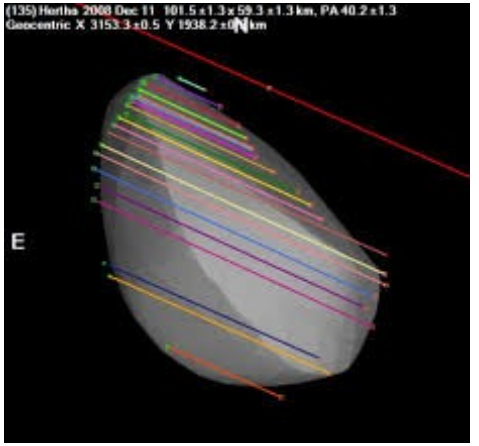
Demo 3D-Modell, LCgen

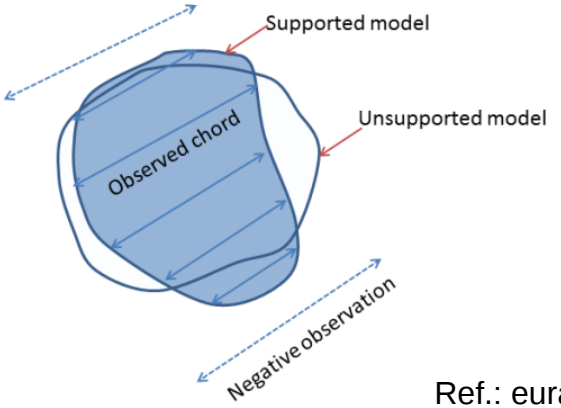
- Python-Skript zur Anzeige von 3D-Modellen (.obj)
  - Inzwischen existieren auch diverse Webseiten zur Visualisierung.
    - http://space.frieger.com/asteroids/
    - http://isam.astro.amu.edu.pl
    - etc.
- Python-Skript zur Generierung von (synthetischen) Lichtkurven aus 3D-Modellen (d.h. Umkehrung der LC-Inversion).

Kombinierung von LC’s und Sternbedeckungen

3D-Modelle aus Inversion: keine Größen.
Bedeckung liefert dies hochauflösend !





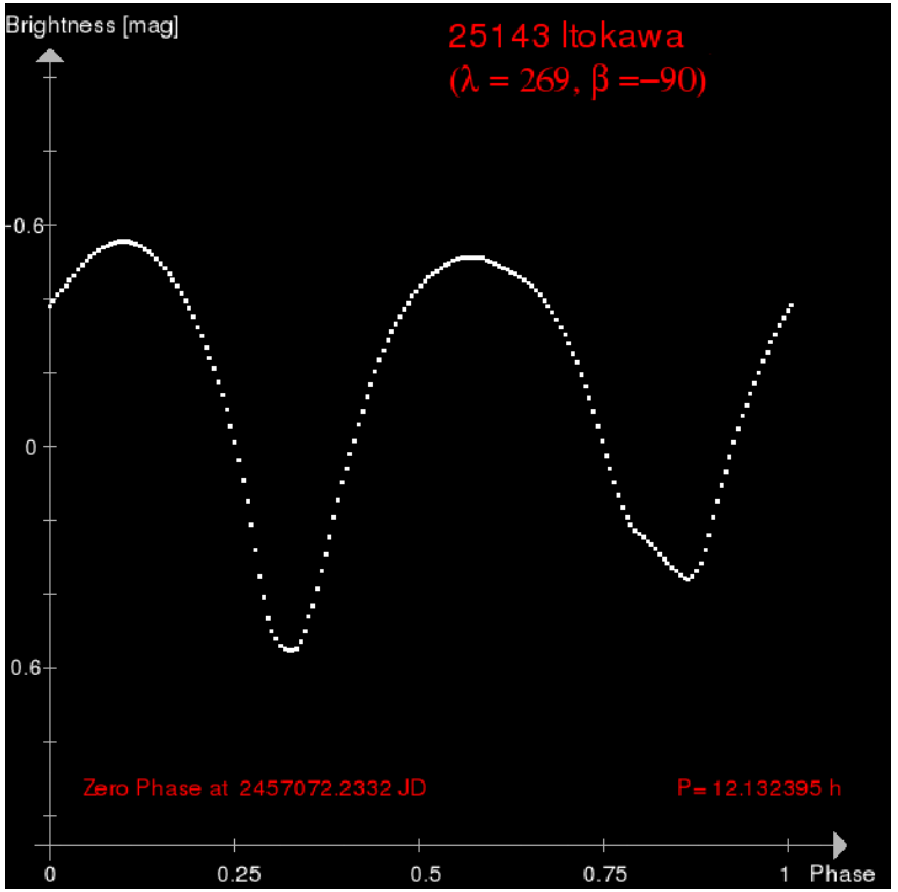


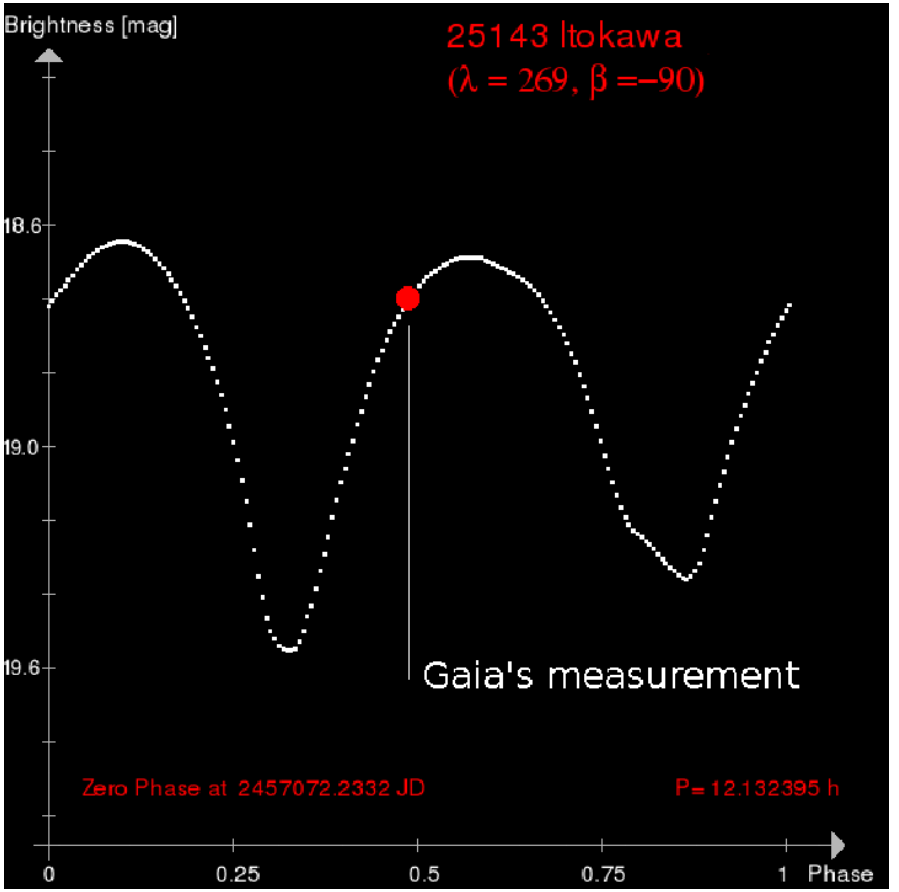
Außerdem können so Modelle (Mehrfachlösungen) Ausgeschlossen werden.

Ref.: euraster.net

Gaia-GOSA (gaiagosa.eu)

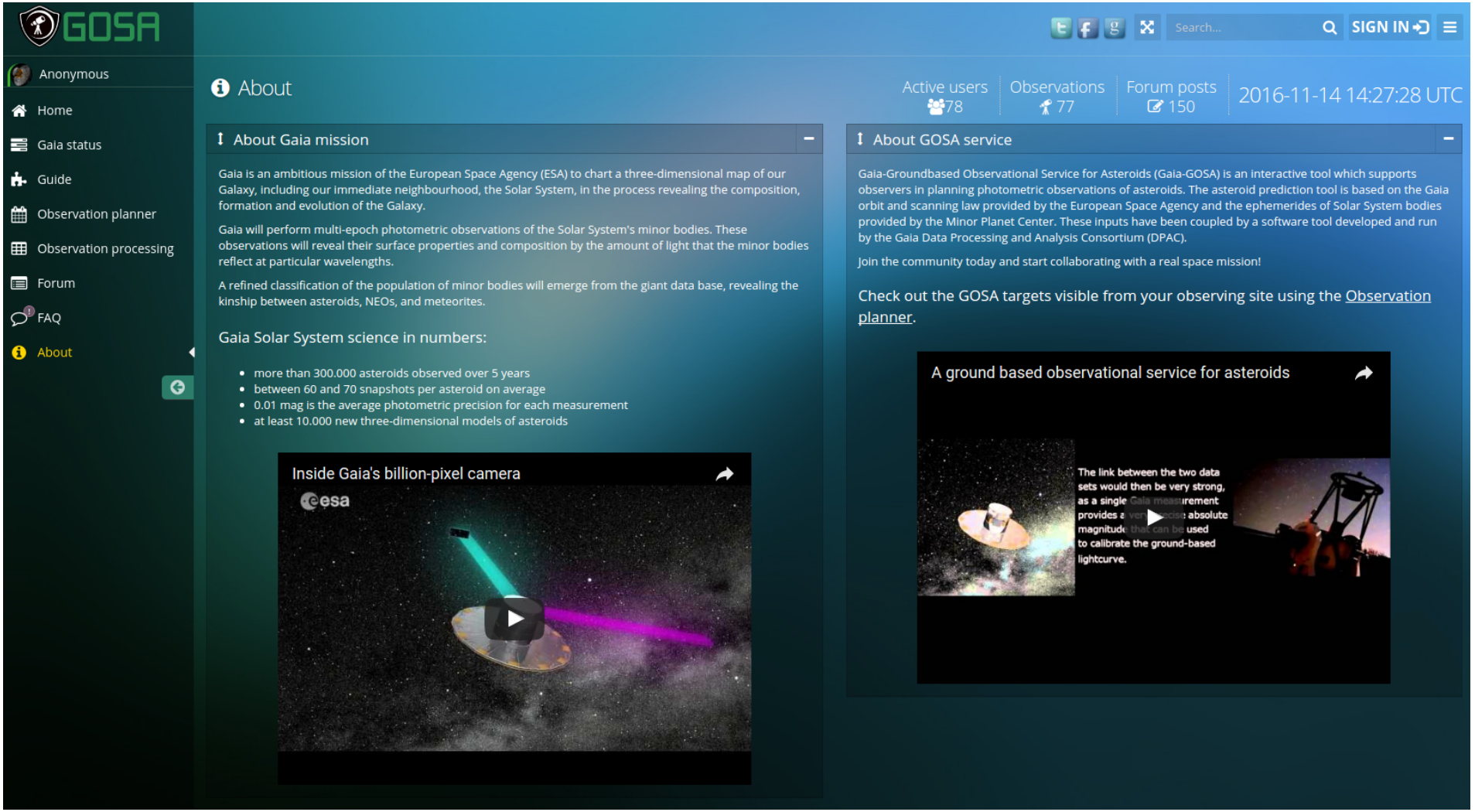
Gaia-Groundbased Observational Service for Asteroids (Pro-Am Kollaboration)





=> (u.a.): neue H,G-Parameter (in einem [neuen] Gaia-System) => bessere Durchmesser etc.

http://gaiagosa.eu



http://minorplanet.info

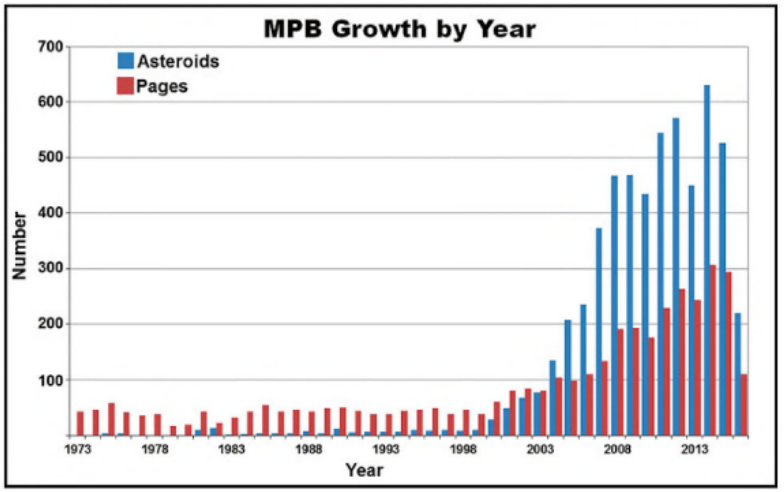
CALL

Minor Planet Bulletin

Lightcurve Database

Minor Planet Center

Sternbedeckungen



- Home
- CALL
- Observing Guides
- Observation Planning
- ALCDEF
- Minor Planet Bulletin
- Lightcurve Database
- Minor Planet Center
- JPL Small-Body DB
- Lowell Observatory
- Minor Planet Mailing List
- Society for Astronomical Sciences

Acknowledgment
Funding to support this web site is provided in part by grants

NASA: NNX13AP56G
NSF: AST-1507535

The Minor Planet Bulletin is the official publication of the Minor Planets section of the Association of Lunar and Planetary Observers (ALPO).

Recent issues are available as a free PDF download (except connection and ISP charges). For issues further back, visit the ADS Abstract page.

Print subscriptions are no longer available to individuals. Institutions (e.g., college libraries) can still obtain print copies via a special subscription. See details in MPB 37-4 or contact the editor, Richard Binzel.

Annual voluntary contributions of $5.00 or more in support of the publication are welcome.

Please send a check, drawn on a U.S. bank and payable in U.S. funds, to "Minor Planet Bulletin" and send it to:

Derald D. Nye
Minor Planet Bulletin
10385 E. Observatory Drive
Corona de Tucson, AZ 85641-2309

Instructions for Authors

The MPB Authors' Guide (PDF) provides the guidelines for submitting papers to the MPB (Revised 2013 January)

Click here to download MPB MS Word(c) template (ZIP) (Revised 2013 January)

Available Issues

NOTE: Older versions of Adobe Acrobat Reader, e.g,. 4.x, may not display all images correctly. You should use version 5.1 or later. The latest free Acrobat Reader can be downloaded by going to the Adobe site.

MPB Asteroid Index
Click here for an index of asteroids with lightcurves published in the Minor Planet Bulletin from 30-1 to 43-1. (PDF, 134 pages)

MPB Cumulative Index
Click here for a cumulative index of all articles published in the Minor Planet Bulletin, Vol 1-42. (PDF)

Download Instructions
Right-click on a link and select "Save Target As" from the popup menu to download the file directly to your hard drive. Otherwise, your browser will most likely try to open the file and it will not be automatically saved.

Acknowledgments
Back issues from 1994-2003 were provided by Dan Coley. Thanks to MPB Editor, Prof. Richard Binzel, and Frederick Pilcher, Coordinator of ALPO's Minor Planets Section, for giving permission to make the files available.

Corrigendum
The links at the bottom of the page are corrigendum (corrections) to papers in the MPB

1994	2002	2010
Jan-Mar, 21-1	Jan-Mar, 29-1	Jan-Mar, 37-1
Apr-Jun, 21-2	Apr-Jun, 29-2	Apr-Jun, 37-2

Auswertung von Asteroiden-Photometrie

- CCD-Photometrie (bewegter Objekte des SS)
- (H,G)- Parameter, Phasenrelation
- Lichtkurven-Analyse (Zeitreihen-Analyse)
  - Standard: Periodenbestimmung, Amplitude
  - Fortgeschritten: 3D-Modelle, Spin, etc.
- Kombination der Techniken LC-Inversion, Sternbedeckungen, AO.
- Data-Mining (für Schreibtisch-Astronomen)!

CCD-Photometrie

Problem: Bewegte Objekte !

- Standardprogramm in der Kleinplaneten-Photometrie: MPO Canopus von Brian Warner. CCD-Auswertung, Perioden-bestimmung bis hin zur LC-Inversion (3D-Modell) mit Zusatzprogramm LCInvert. Aber nicht zwingend!
- Standard in der Kleinplaneten-Astrometrie: Astrometrica von Herbert Raab.
  - Begrenzte Anzahl von Bildern automatisch auswertbar.
  - Auch Photometrie, aber leider nicht batch-fähig.
- Andere Programme aus der Astronomie.
  - AIP, Audela, CCDsoft, Iris, MaximDL, Mira, MIDAS, IRAF usw.
- Neu: Gaia-GOSA : Upload der CCD-Bilder => fertige LC.

CCD-Photometrie

DIY-Varianten:

- Sextractor (Perl). Einige Projekte benutzen das Paket in ihrer “Prozess-Pipeline”.
- Python: PyFITS, PyEphem, pysex usw.

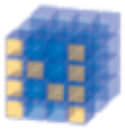
Vorteil: Anpassung an eigene Wünsche und Gegebenheiten, Automatisierung etc.

Einfache Lichtkurven-Analyse

- Grundsätzlich Tools aus der Veränderlichen-Beobachtung nutzbar: z.B. Peranso.
- (Mathematisches) Standardverfahren: Fourier-Analyse. In der KP-Szene als FALC (Fortran Code) von A.Harris (1989) bekannt. Canopus (und auch Peranso) haben diesen Algorithmus implementiert.
- FALC-ähnliche Verfahren sind ausreichend und manchmal besser als PDM etc. aus der Veränderlichenbeobachtung.
- Anpassung (Least Squares Fit) an Fourier-Reihen ist in mathematisch-wissenschaftlicher Software (Matlab, IDL usw.) programmierbar.
- Oder in einer anderen (allgemeinen) Programmiersprache (C++, Java, Fortran, Python, Julia, usw.).

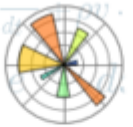
Einfache Lichtkurven-Analyse mit Python

Python + Numpy + SciPy + Matplotlib = Unimog der (modernen) wissenschaftlichen Skripting-Welt



NumPy
Base N-dimensional array package

SciPy library
Fundamental library for scientific computing



Matplotlib
Comprehensive 2D Plotting

IP[y]: IPython

IPython
Enhanced Interactive Console

Sympy
Symbolic mathematics

pandas
Data structures & analysis

Mein Weg:

Einfache Skripte zur Periodensuche und zum Fitten (an Fourier-Reihe) sowie zu Plotten der Phasen-Lichtkurve:

1) Periode scannen (Range ausprobieren) und nach kleinsten RMS suchen.
2) Beobachtungen an diese Periode fitten (exaktes P + Err), Phasenplot ausgeben.

Demo...