

Astrometrie und Photometrie von Kleinplaneten



Herbert Raab

Linzer Astronomische Gemeinschaft

www.sternwarte.at



FH OÖ, Campus Wels

29.06.2015



Prezi

Agenda

Grundlagen

Astrometrie

Photometrie

Kleinplaneten

Software

Demo

"Astrometrica"

Bildanalyse

Detektion

Klassifikation

Identifikation

Kalibration

Astrometrie

Photometrie

Praxis

Ausrüstung

Beobachtungs-
möglichkeiten

Grundlagen

Astrometrie

Astrum = Stern Metron = Maß

Vermessung der Positionen von Gestirnen

Ursprünglich:

Bestimmung von Rektaszension und Deklination
mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten



ab dem späten 19. Jhdt.:

Vermessung einer Vielzahl von Objekten
auf fotografischen Platten mit Hilfe
von Referenzsternen



Photometrie

Phos = Licht Metron = Maß

Messung der Helligkeit von Gestirnen

absolute Photometrie:

Direkte Bestimmung der Helligkeit aus der
Stärke des einfallenden Lichtstromes



differentielle Photometrie:

Bestimmung der Helligkeit aus Vergleichsmessungen
mit anderen Sternen im Feld

Astrometrie

Astrum = Stern Metron = Maß

Vermessung der Positionen von Gestirnen

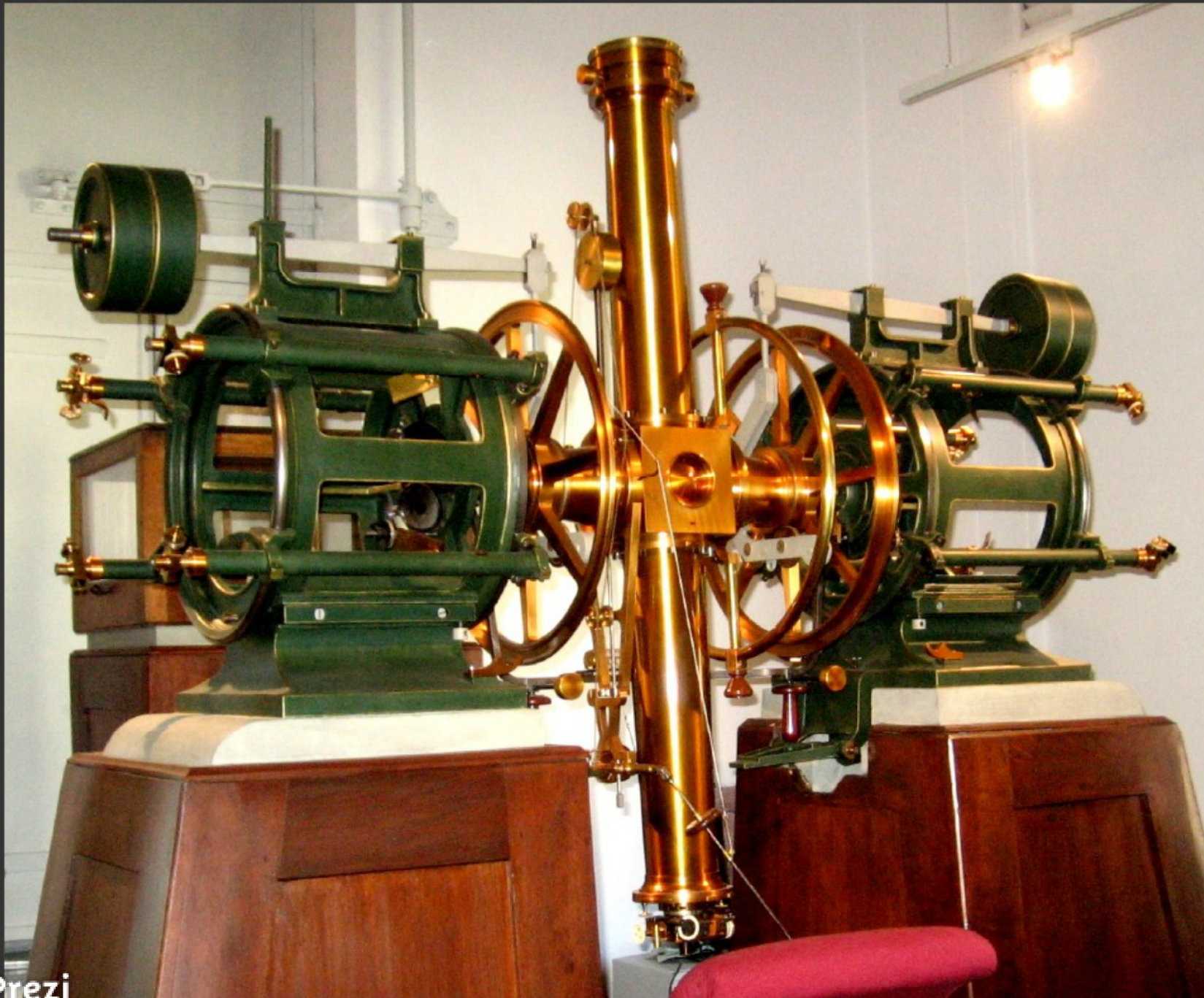
Ursprünglich:

Bestimmung von Rektaszension und Deklination
mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten

ab dem späten 19. Jhdt.:

Vermessung einer Vielzahl von Objekten
auf fotografischen Platten mit Hilfe
von Referenzsternen





Prezi

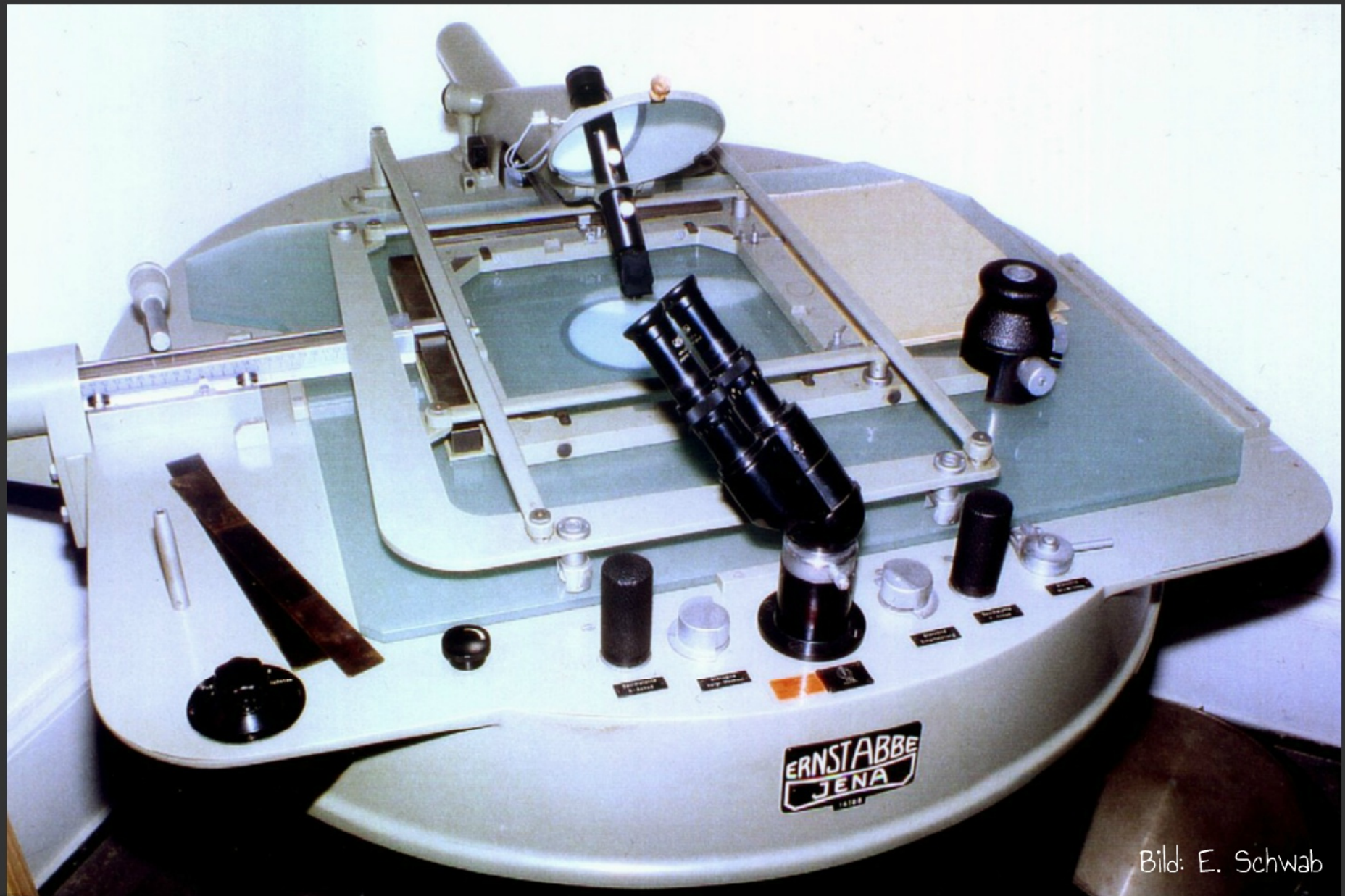


Bild: E. Schwab



Prezi

Photometrie

Phos = Licht Metron = Maß

Messung der Helligkeit von Gestirnen

absolute Photometrie:

Direkte Bestimmung der Helligkeit aus der Stärke des einfallenden Lichtstromes

differentielle Photometrie:

Bestimmung der Helligkeit aus Vergleichsmessungen mit anderen Sternen im Feld





Prezi

Bild: ESO

Kleinplaneten

ca. 600.000 Asteroiden im Hauptgürtel

Gesamtmasse nur ca. 1% von Merkur

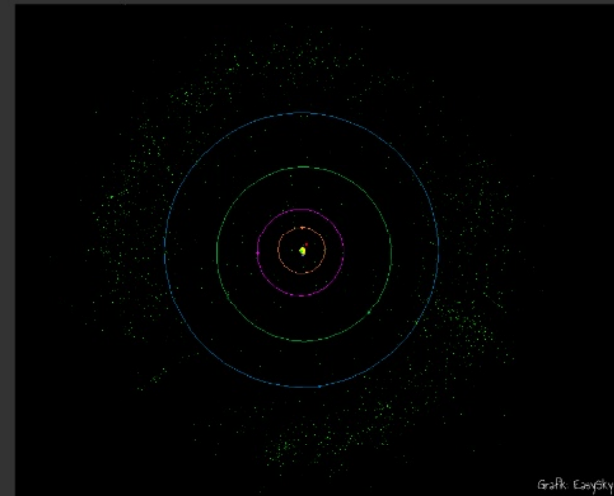
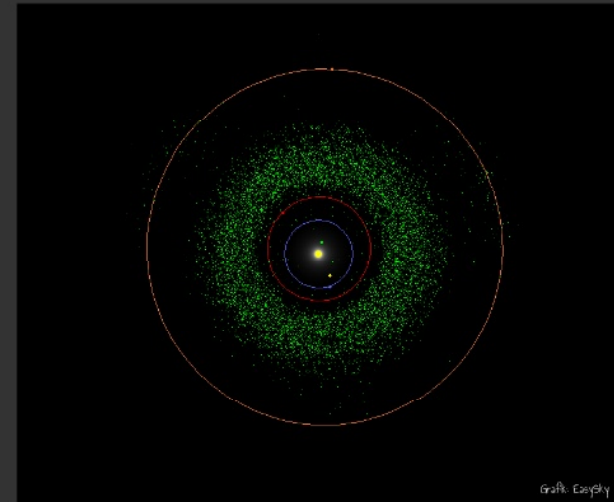
Ceres: 1/3 der Gesamtmasse

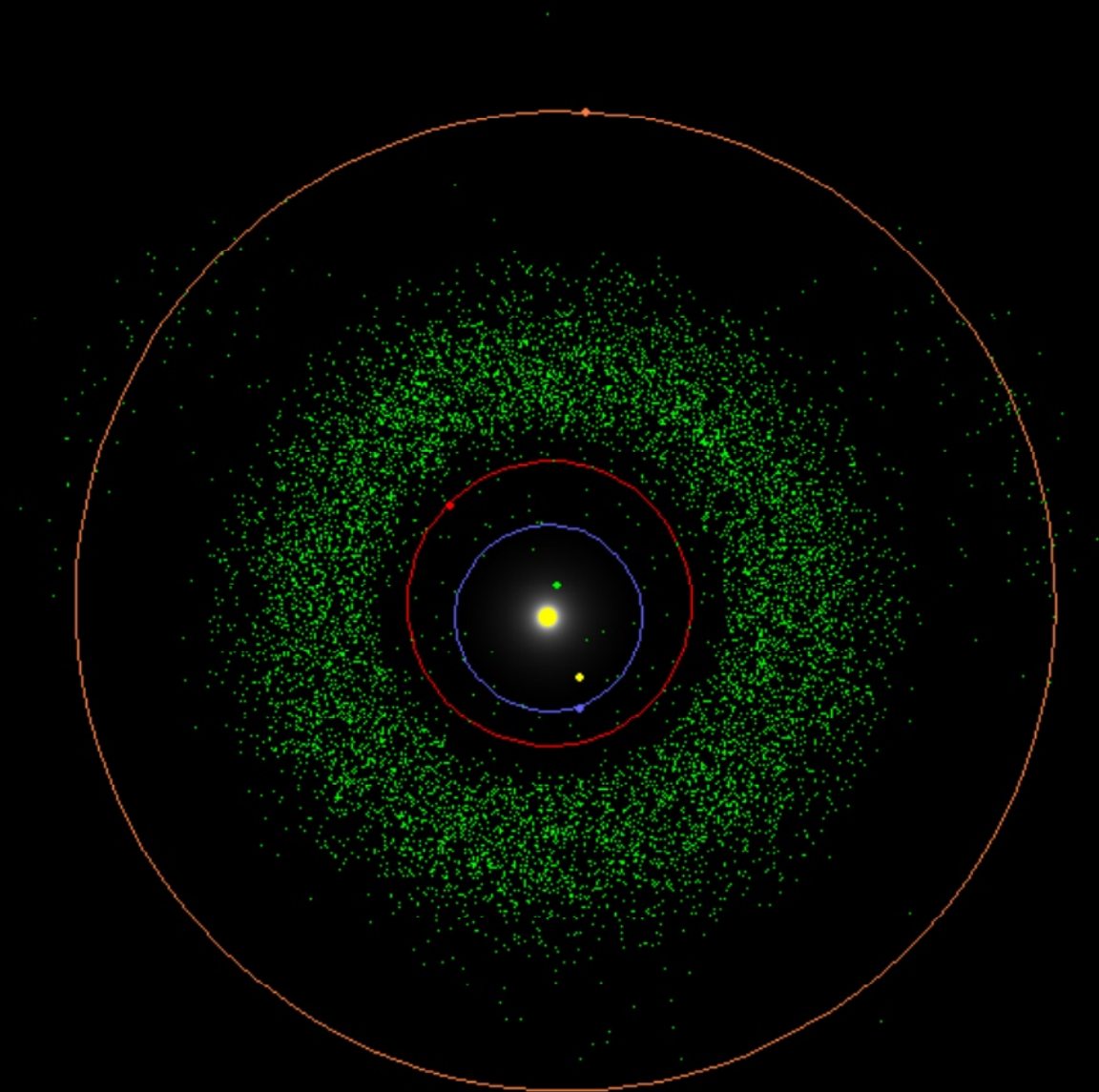
> 10.000 erdnahe Asteroiden

> 1.000 transneptune Objekte

Durchmesser < 1000 km

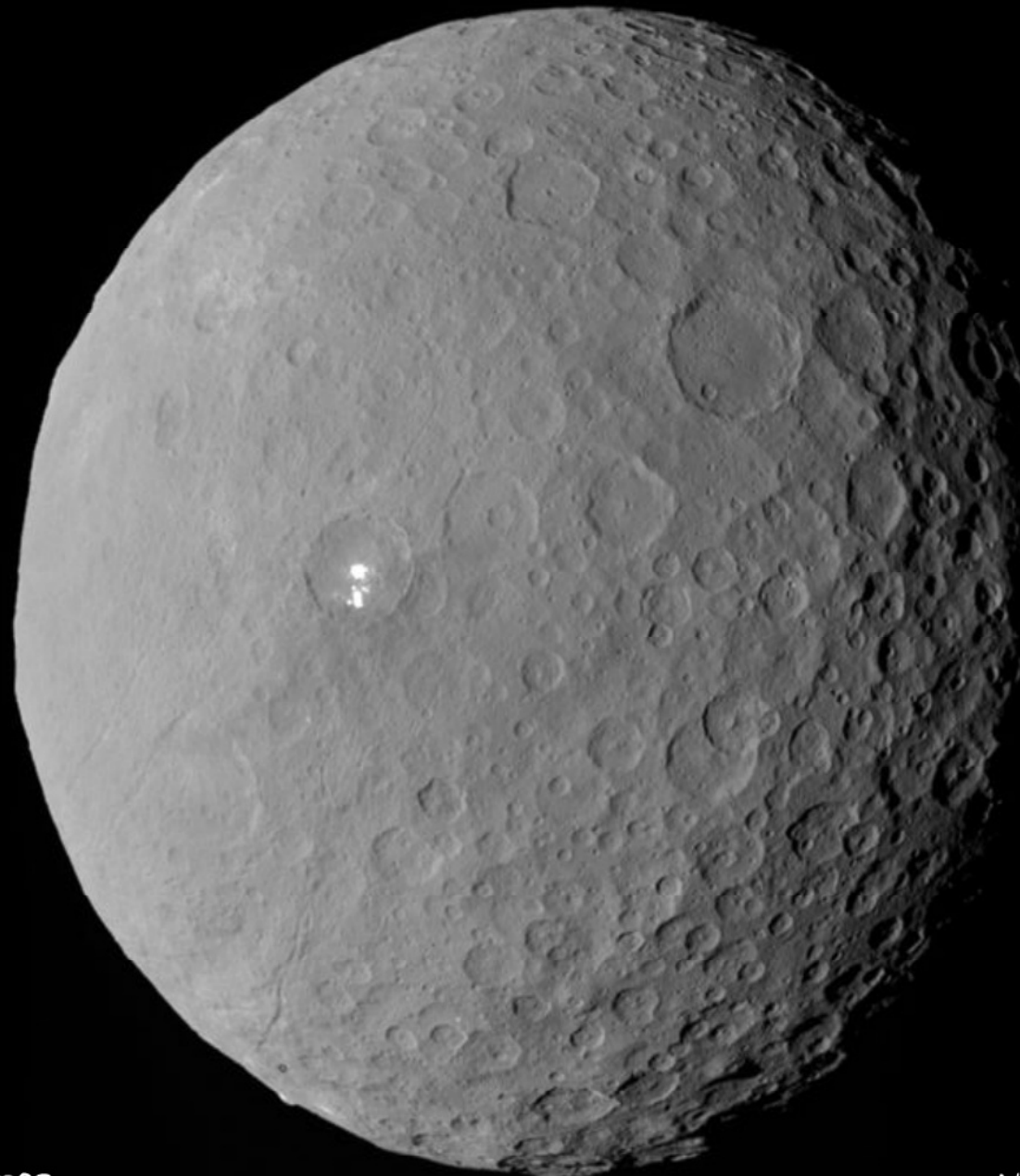
erscheinen im Teleskop punktförmig





Prezi

Grafik: EasySky



Prezi

(1) Ceres

NASA (Dawn)



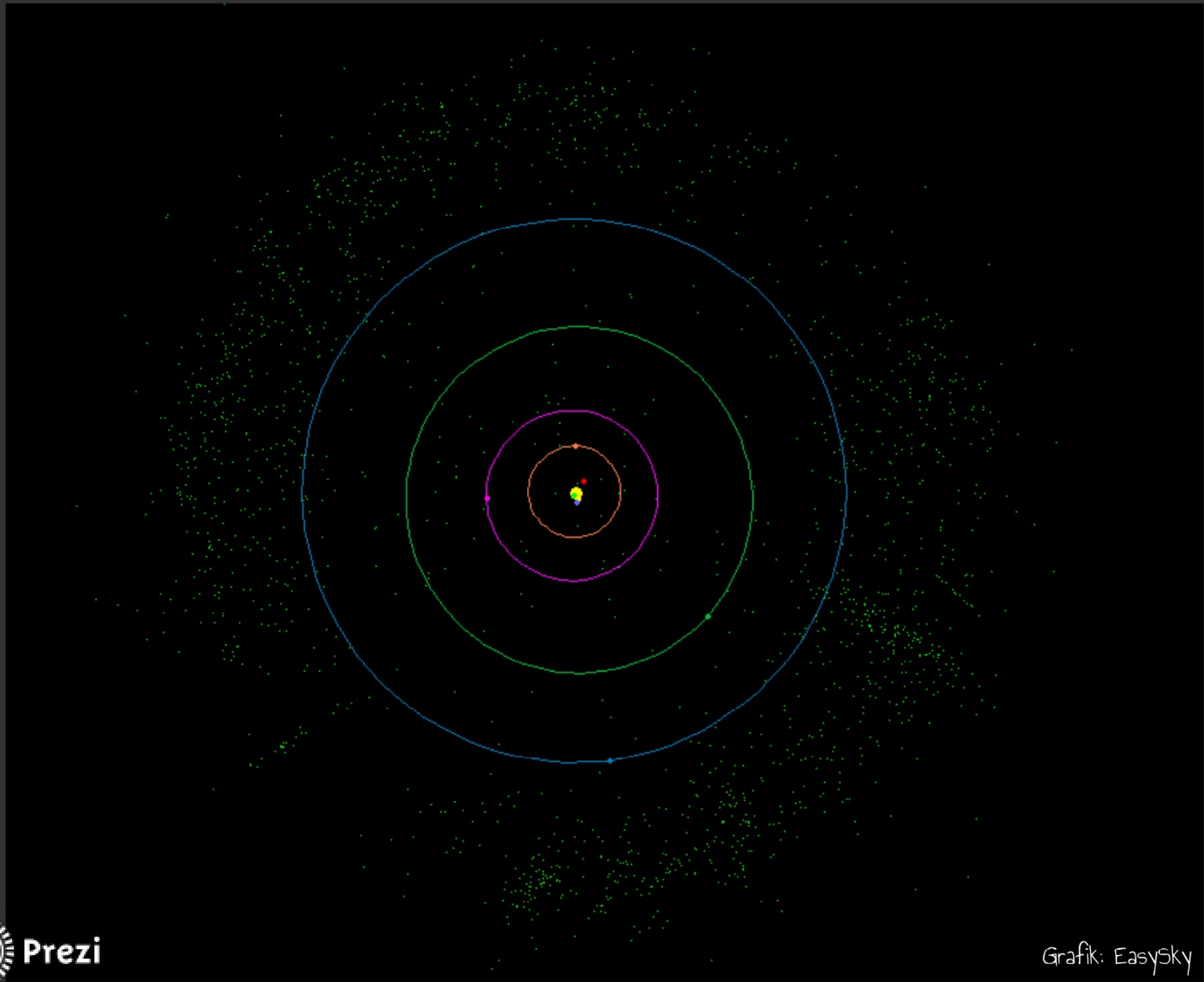
(243) Ida
Prezi

NASA (Galileo)



(25143) Itokawa
Prezi

JAXA (Hayabusa)



Prezi

Grafik: EasySky



(134340) Pluto
Prezi

NASA (New Horizons)

ursprünglich:

Bestimmung von Rektaszension und Deklination
mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten



ab dem späten 19. Jhdt.:

Vermessung einer Vielzahl von Objekten
auf fotografischen Platten mit Hilfe
von Referenzsternen



absolute Photometrie:

Direkte Bestimmung der Helligkeit aus der
Stärke des einfallenden Lichtstromes

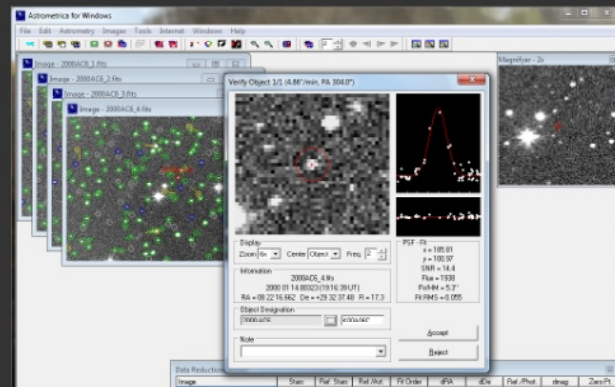


differentielle Photometrie:

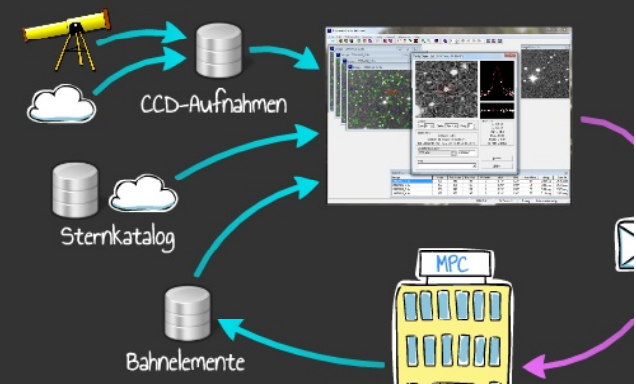
Bestimmung der Helligkeit aus Vergleichsmessungen
mit anderen Sternen im Feld

Software

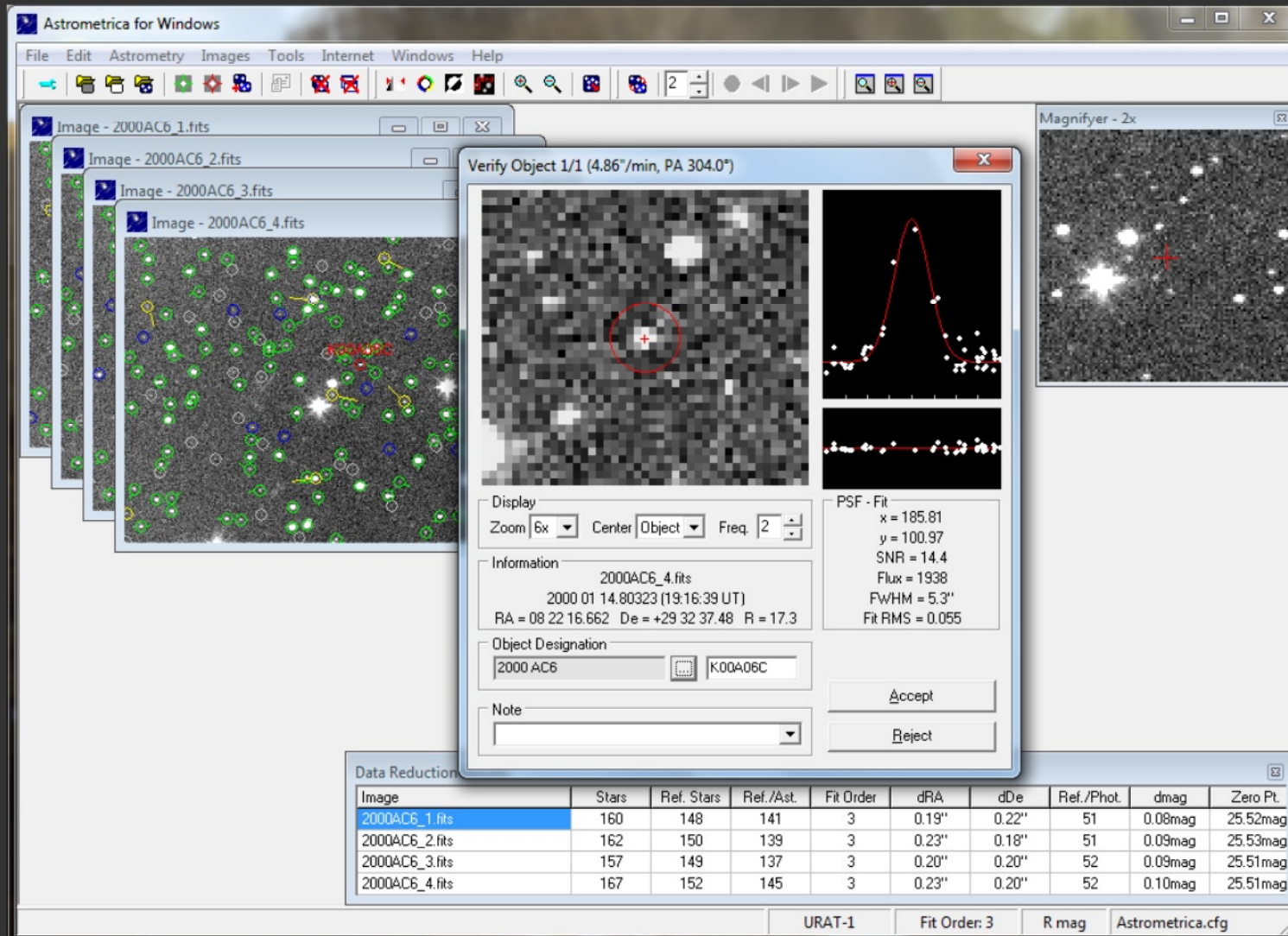
Software "Astrometrica"



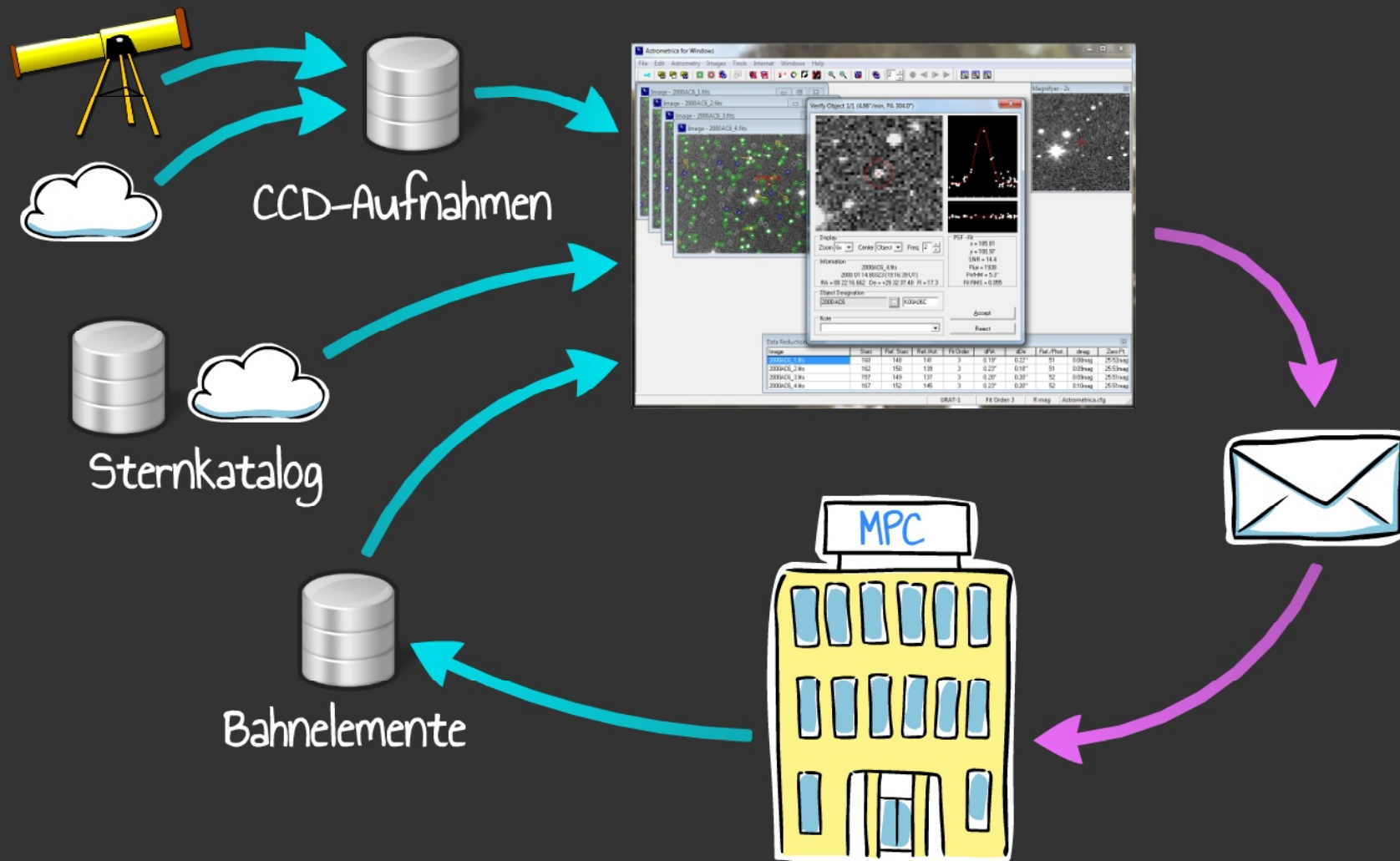
Datenquellen



Software "Astrometrica"



Datenquellen

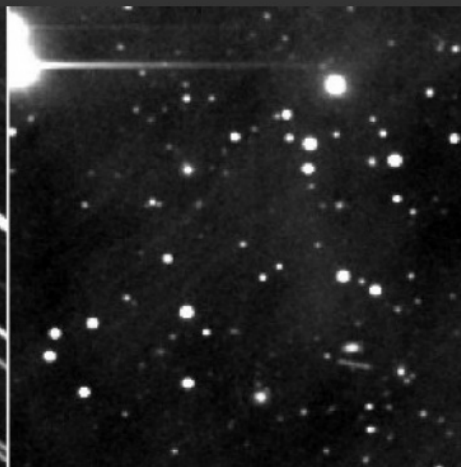
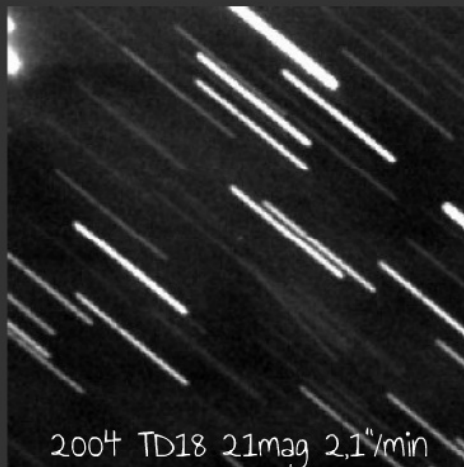


Track and Stack

SNR steigt proportional zur Belichtungszeit t um den Faktor \sqrt{t}

Verlängerung der Belichtungszeit aufgrund der Bewegung von Kleinplaneten nicht beliebig möglich

Lösung: Addition von kürzeren Einzelaufnahmen und Ausgleich der Bewegung des Zielobjektes



Bildanalyse

Detektion

der relevanten Quellen in dem Bild

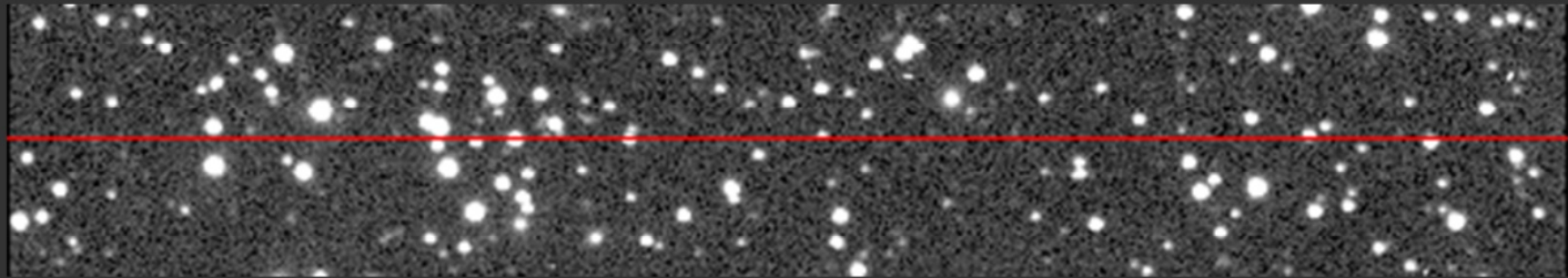
Klassifikation

der detektierten Quellen nach Objektklassen

Identifikation

der bekannten Himmelsobjekte im Bild

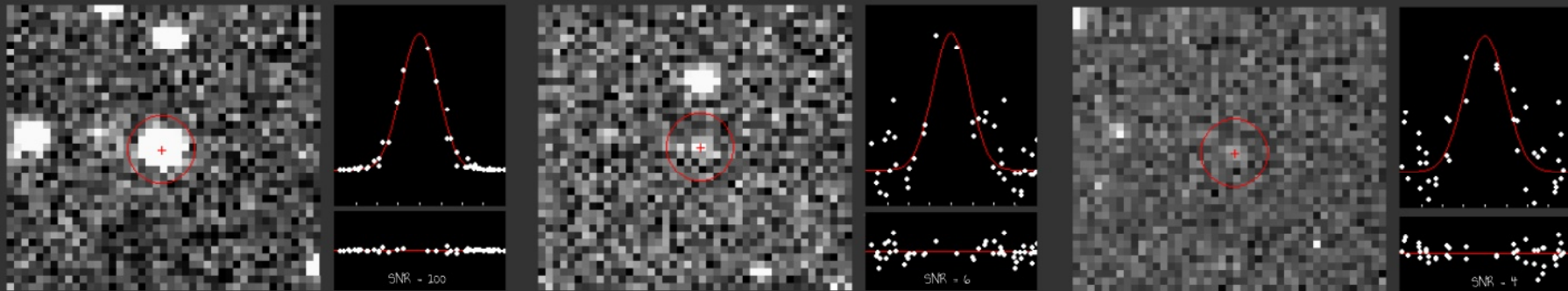
Detektion



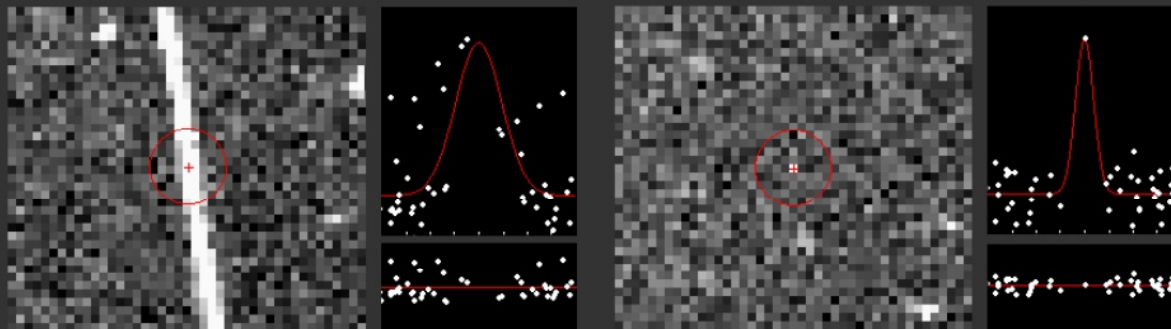
Objektkandidaten

lokale Helligkeitsmaxima die ein Signal/Rausch-Verhältnis (SNR)
über einem vorgegebenen Grenzwert aufweisen

Detektion



Charakterisierung der Quellen durch Anpassung einer Point Spread Function (PSF), Ermittlung von Position (x,y) und Fluss (Pixel Counts)



Point Spread Function:

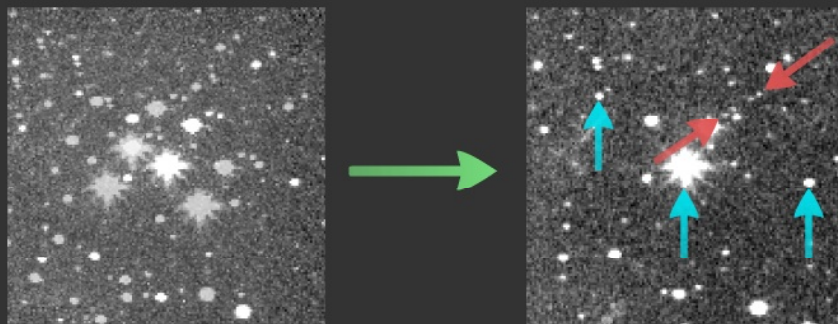
$$I_{(x,y)} = H \times e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} + B$$

Verwerfen von nicht relevanten Quellen

Klassifikation

Korrelation der Quellen in den Bildern (Translation)

Transformation in ein gemeinsames Koordinatensystem



Quellen, die auf allen Bildern stationär sind: **Sterne**

Quellen, deren Position sich durch eine

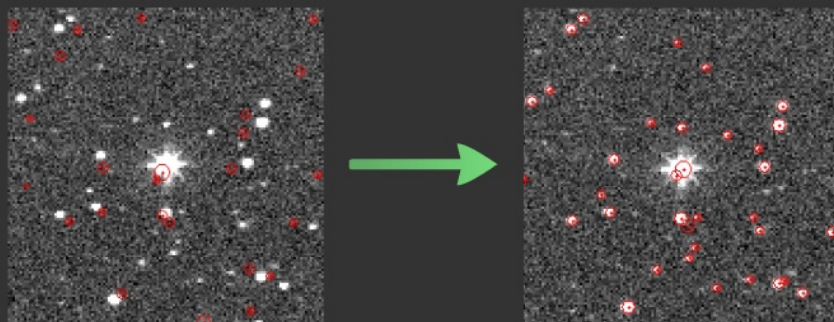
lineare, gleichförmige Bewegung beschreiben lässt: **Asteroiden**

Alle weiteren Detektionen: **?**

Identifikation

Referenzsterne

Korrelation der Sterne in den Bildern mit dem Sternkatalog
(Translation, Rotation, Bildmaßstab)



Asteroiden

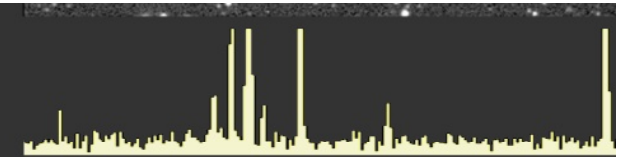
Vergleich der gemessenen Örtter mit den aus den Bahnelementen
errechneten Positionen und dem Bewegungsvektor

Klassifikation

der detektierten Quellen nach Objektklassen

Identifikation

der bekannten Himmelsobjekte im Bild

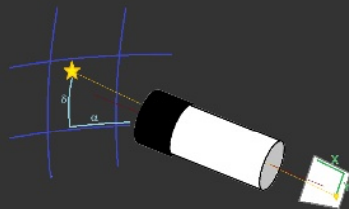


Objektkandidaten

lokale Helligkeitsmaxima die ein Signal/Rausch-Verhältnis (SNR) über einem vorgegebenen Grenzwert aufweisen

Kalibration

Astrometrische Kalibration



Projektion der Himmelssphäre
in die Fokalebene des Teleskops

Übergang von einem sphärischen
Koordinatensystem (Winkelmaß) in
eine Ebene (Längenmaß)

Standardkoordinaten:

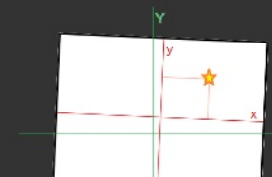
$$X = -\frac{\cos(\delta) \sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1} \left\{ \frac{-X}{\cos(\delta_0) - Y \sin(\delta_0)} \right\}$$

Astrometrische Kalibration

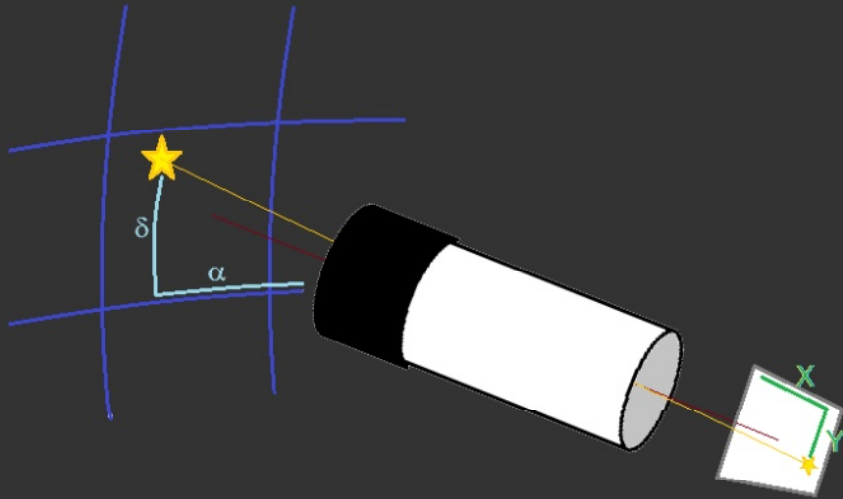
Berechnung der Standardkoordinaten (X,Y) aus den bekannten Himmelskoordinaten (RA,Dec) der Referenzsterne

Vermessung der Koordinaten (x,y) am Detektor



Transformation (x,y) \rightarrow (X,Y) durch
Anpassung von Polynomen ("Platte")
mittels Ausgleichsrechnung

Astrometrische Kalibration



Projektion der Himmelssphäre
in die Fokalebene des Teleskops

Übergang von einem sphärischen
Koordinatensystem (Winkelmaß) in
eine Ebene (Längenmaß)

Standardkoordinaten:

$$X = - \frac{\cos(\delta) \sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

$$Y = - \frac{\sin(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) - \cos(\delta_0) \sin(\delta)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

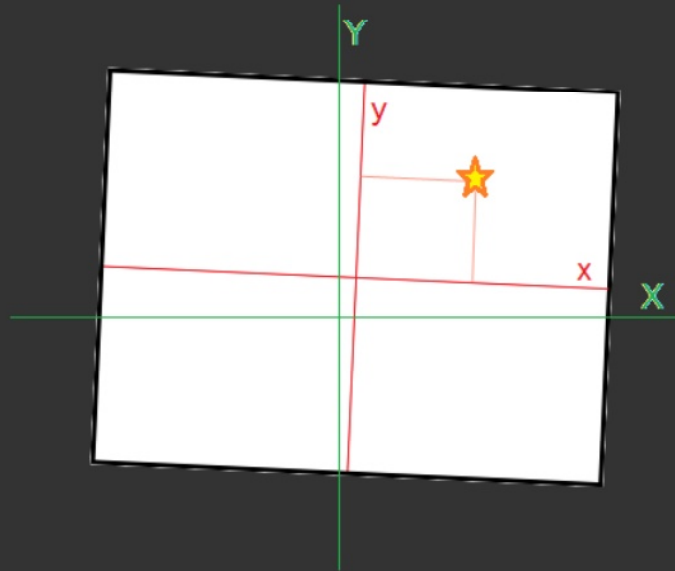
$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1} \left\{ \frac{-X}{\cos(\delta_0) - Y \sin(\delta_0)} \right\}$$

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin(\delta_0) + Y \cos(\delta_0)}{\sqrt{1 + X^2 + Y^2}} \right\}$$

Astrometrische Kalibration

Berechnung der Standardkoordinaten (X,Y) aus den bekannten Himmelskoordinaten (RA,Dec) der Referenzsterne

Vermessung der Koordinaten (x,y) am Detektor



Transformation $(x,y) \rightarrow (X,Y)$ durch
Anpassung von Polynomen ("Plattenkonstanten")
mittels Ausgleichsrechnung

Astrometrische Kalibration

Lineare Lösungen berücksichtigen Maßstab, Rotation und Translation

$$X = c_{x1}x + c_{x2}y + c_{x3}$$

$$Y = c_{y1}x + c_{y2}y + c_{y3}$$

Höhere Ordnungen berücksichtigen Abweichungen von der idealisierten Projektion (Verzerrungen der Optik, differentielle Refraktion, u.s.w)

$$X = c_{x1}x + c_{x2}y + c_{x3}x^2 + c_{x4}y^2 + c_{x5}xy + \dots + c_{xn}$$

$$Y = c_{y1}x + c_{y2}y + c_{y3}x^2 + c_{y4}y^2 + c_{y5}xy + \dots + c_{yn}$$

Berechnung der Himmelskoordinaten (Ra,Dec) aus der gemessenen Position (x,y) möglich

$$(\alpha, \delta) \leftrightarrow (X, Y) \leftrightarrow (x, y)$$

Photometrische Kalibration

Berechnung der Helligkeitsdifferenz (mag) aus dem Verhältnis des gemessenen Flusses:

$$\Delta m = 2,5 \log \frac{I_1}{I_2}$$

Bestimmung des Flusses (Summe des Pixelwerte) von Referenzsternen mit bekannter Helligkeit und Berechnung des photometrischen Nullpunktes (Helligkeit bei Fluss = 1)

$$m_0 = m_* + 2,5 \log (I_*)$$

Bestimmung der Helligkeit aus dem gemessenen Fluß:

$$m_* = m_0 - 2,5 \log (I_*)$$

Koordinatensystem (Winkelmaß) in
eine Ebene (Längenmaß)

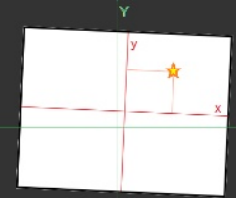
Standardkoordinaten:

$$X = -\frac{\cos(\delta) \sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

$$Y = -\frac{\sin(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) - \cos(\delta_0) \sin(\delta)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1} \left\{ \frac{-X}{\cos(\delta_0) - Y \sin(\delta_0)} \right\}$$

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin(\delta_0) + Y \cos(\delta_0)}{\sqrt{1 + X^2 + Y^2}} \right\}$$



Transformation $(x, y) \rightarrow (X, Y)$ durch
Anpassung von Polynomen ("Platte")
mittels Ausgleichsrechnung

Praxis

Ausrüstung

Teleskop ab 30cm Öffnung
CCD-Kamera (monochrom)

Kombination Teleskop + CCD:

Gesichtsfeld: mind. 15'

Bildmaßstab: Pixelgröße entspricht "critical Sampling"

Bei 2 Minuten Belichtungszeit:

Sternwarte Davidschlag

Privatsternwarte Meyer/Obermair

MPC Observatory Code 540



Teleskop:
Öffnung: 60
Brennweite:
CCD-Kamera
1024 x 1024

Ausrüstung

Teleskop ab 30cm Öffnung
CCD-Kamera (monochrom)

Kombination Teleskop + CCD:

Gesichtsfeld: mind. 15'

Bildmaßstab: Pixelgröße entspricht "critical Sampling"

Bei 2 Minuten Belichtungszeit:

SNR 5 für Astrometrie (0,3") für Kleinplaneten mit 19 mag

SNR 100 für Photometrie (0,01mag) für Kleinplaneten mit 15,5 mag

Sternwarte Davidschlag

Privatsternwarte Meyer/Obermair

MPC Observatory Code 540



Teleskop:

Öffnung: 60 cm

Brennweite: 1,98 m (f/3.3)

CCD-Kamera:

1024 x 1024 Pixel

Pixelgröße: 24µm

Maßstab: 2,5"/Pixel

Feld: 42' x 42'

Astrometrie bis 22mag



Prezi

Beobachtungsmöglichkeiten

Didaktik:

Astrometrie und Bahnbestimmung

Parallaxenmessung und Entfernungsbestimmung

Astrometrie:

Bahnverbesserung bekannter Asteroiden

Bestätigung neu entdeckter (erdnahen) Asteroiden

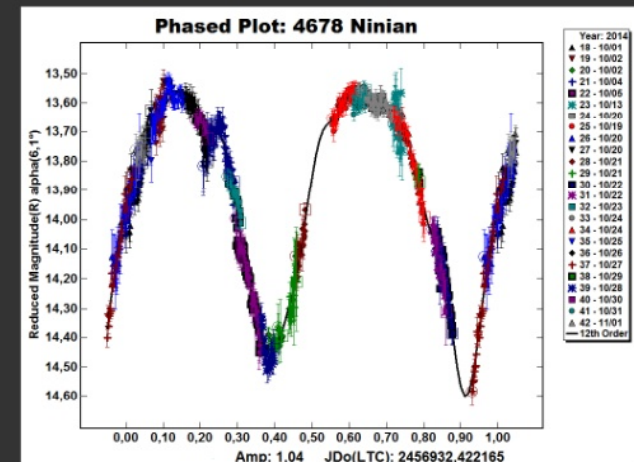
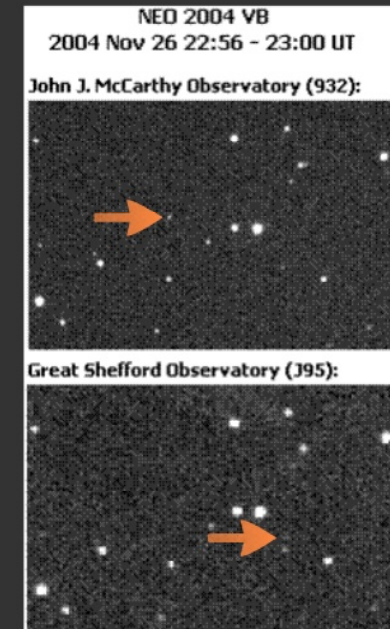
Bogenverlängerung (erdnahen) Asteroiden

Entdeckung von Asteroiden

Photometrie:

Bestimmung der Lichtkurve und der Rotationszeit

Modellierung von Asteroiden



Links und Literatur

Guide to Minor Body Astrometry

<http://www.minorplanetcenter.net/iauw/info/Astrometry.html>

Guide to Minor Body Photometry

<http://www.minorplanet.info/ObsGuides/Misc/photometryguide.htm>

Fachgruppe Kleinplaneten des VdS

<http://www.kleinplanetenseite.de>

Asteroids and Dwarf Planets and how to Observe Them
von Robery Dymock. Springer Verlag, 2010

The Handbook of Astronomical Image Processing

von Richard Berry und James Burnell. Willman-Bell, 2009



Danke für Ihre Aufmerksamkeit...



...und viel Spaß und Erfolg bei der Beobachtung!