

# Astrometrie und Photometrie von Kleinplaneten



Herbert Raab  
Linzer Astronomische Gemeinschaft  
[www.sternwarte.at](http://www.sternwarte.at)



FH OÖ, Campus Wels  
29.06.2015

# 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. Jhd.:

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

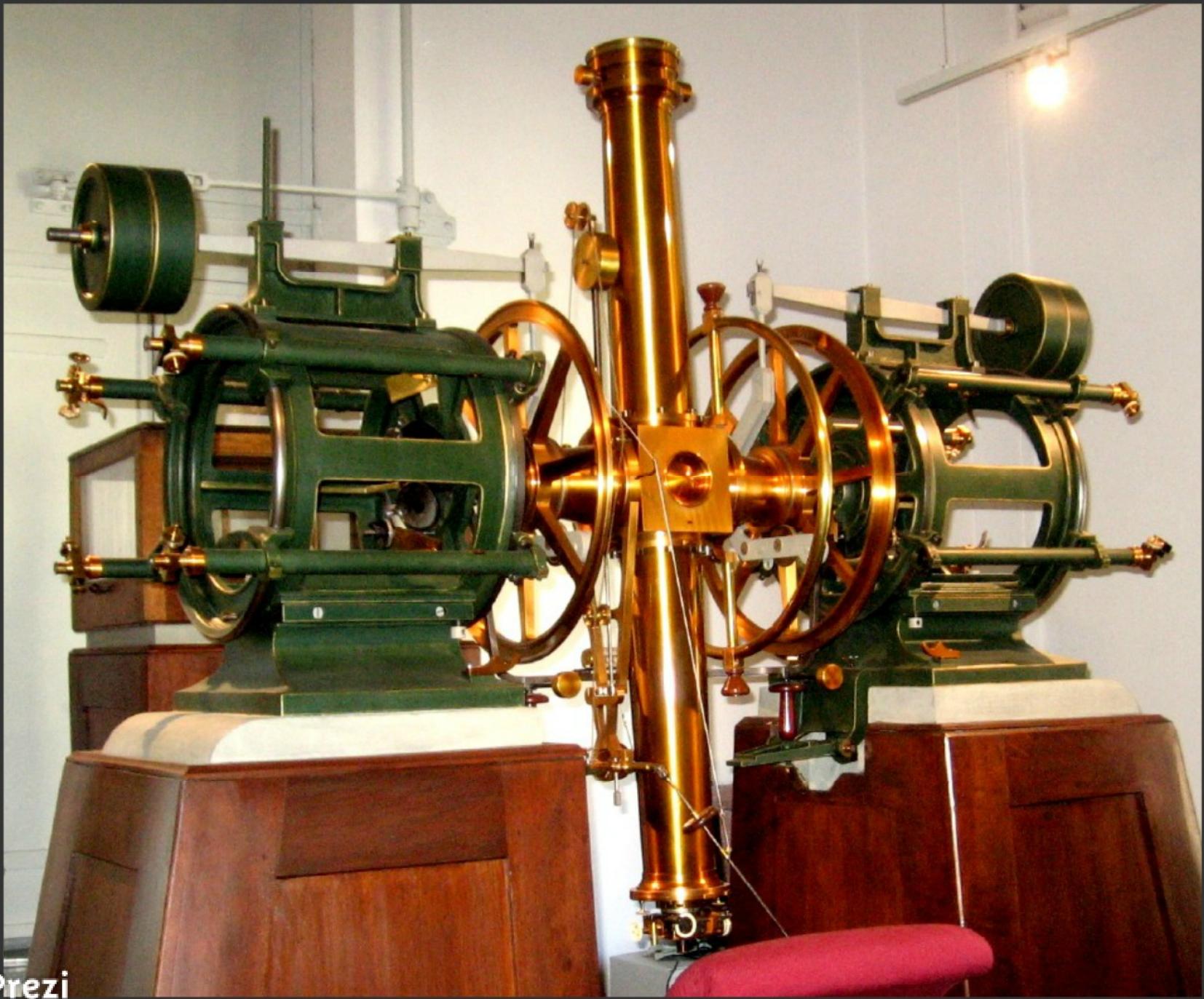
Ursprünglich:

Bestimmung von Rektaszension und Deklination  
mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten

ab dem späten 19. Jhd.:

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





Prezi

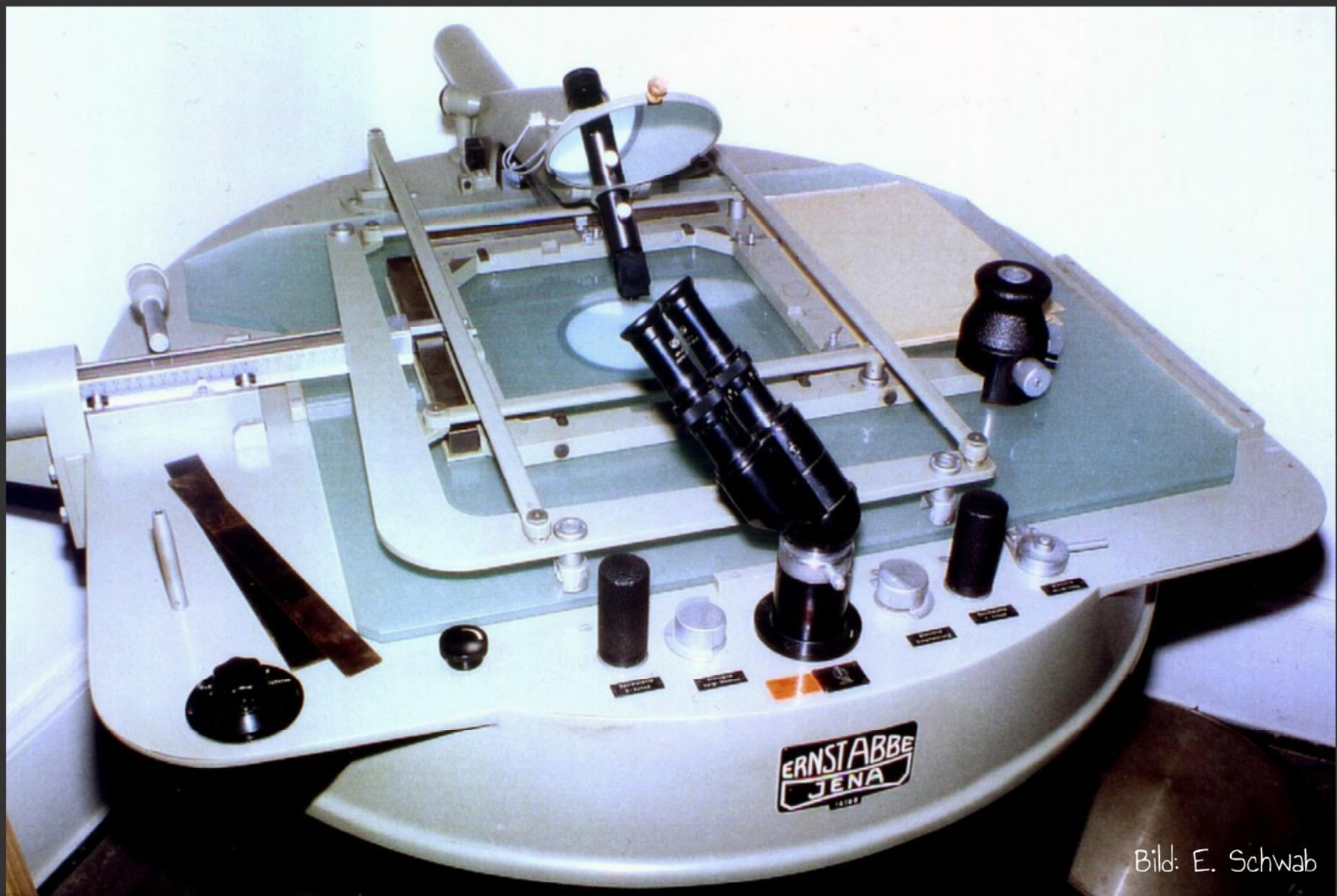


Bild: E. Schwab



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

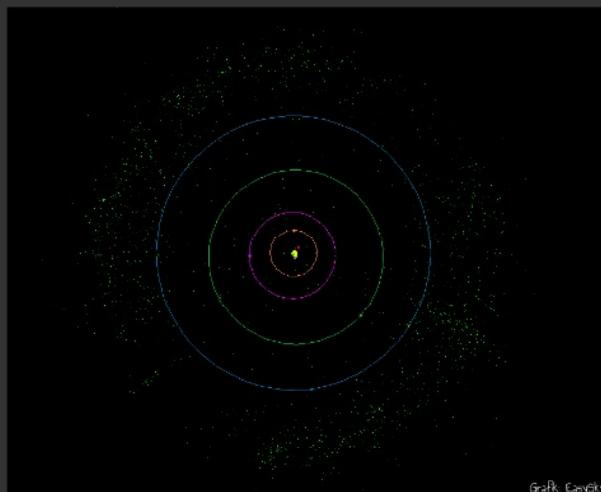
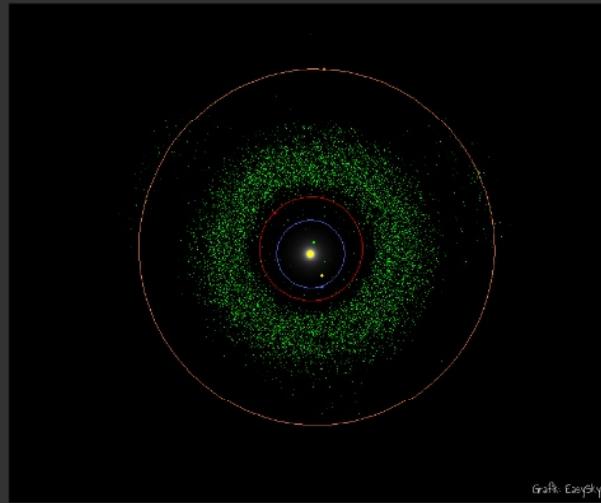
Ceres: 1/3 der Gesamtmasse

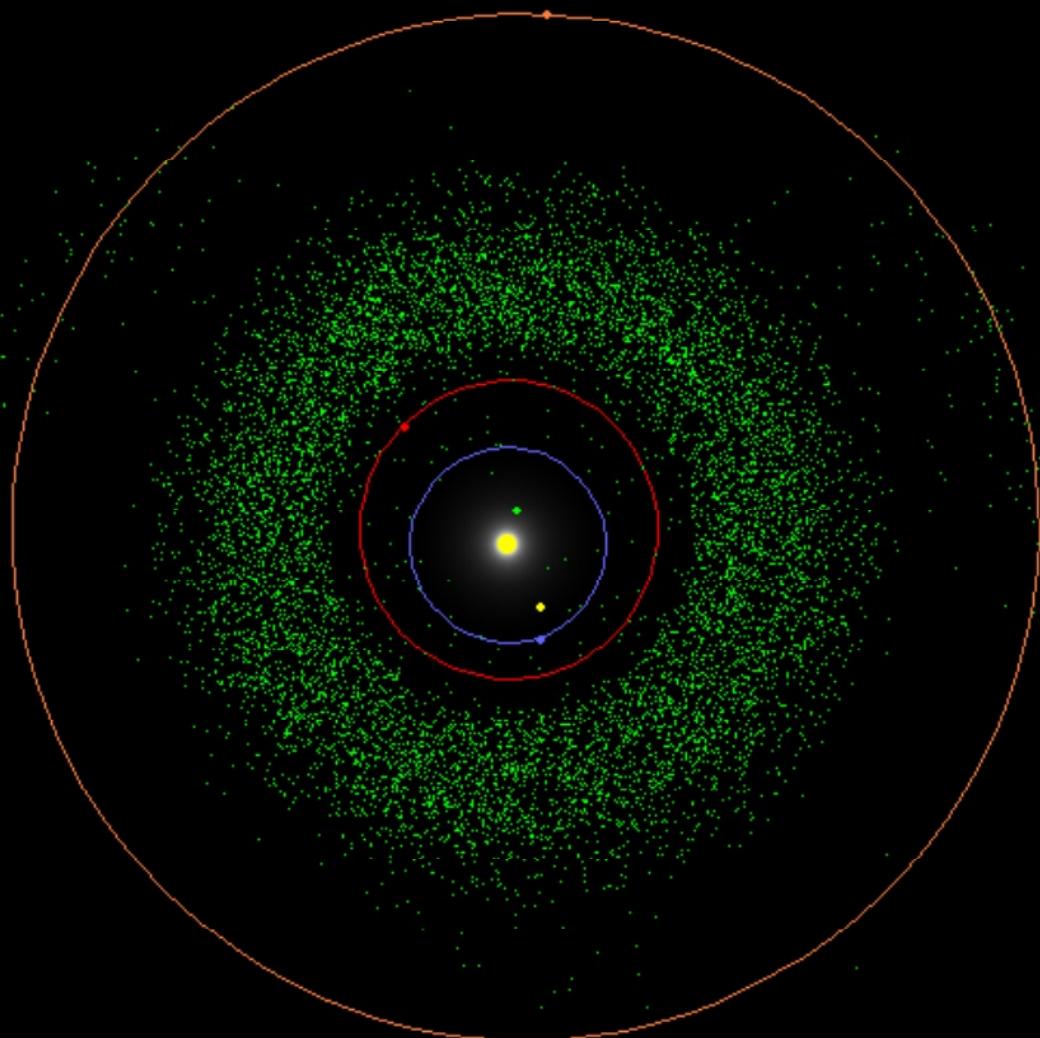
> 10.000 erdnahe Asteroiden

> 1.000 transneptune Objekte

Durchmesser < 1000 km

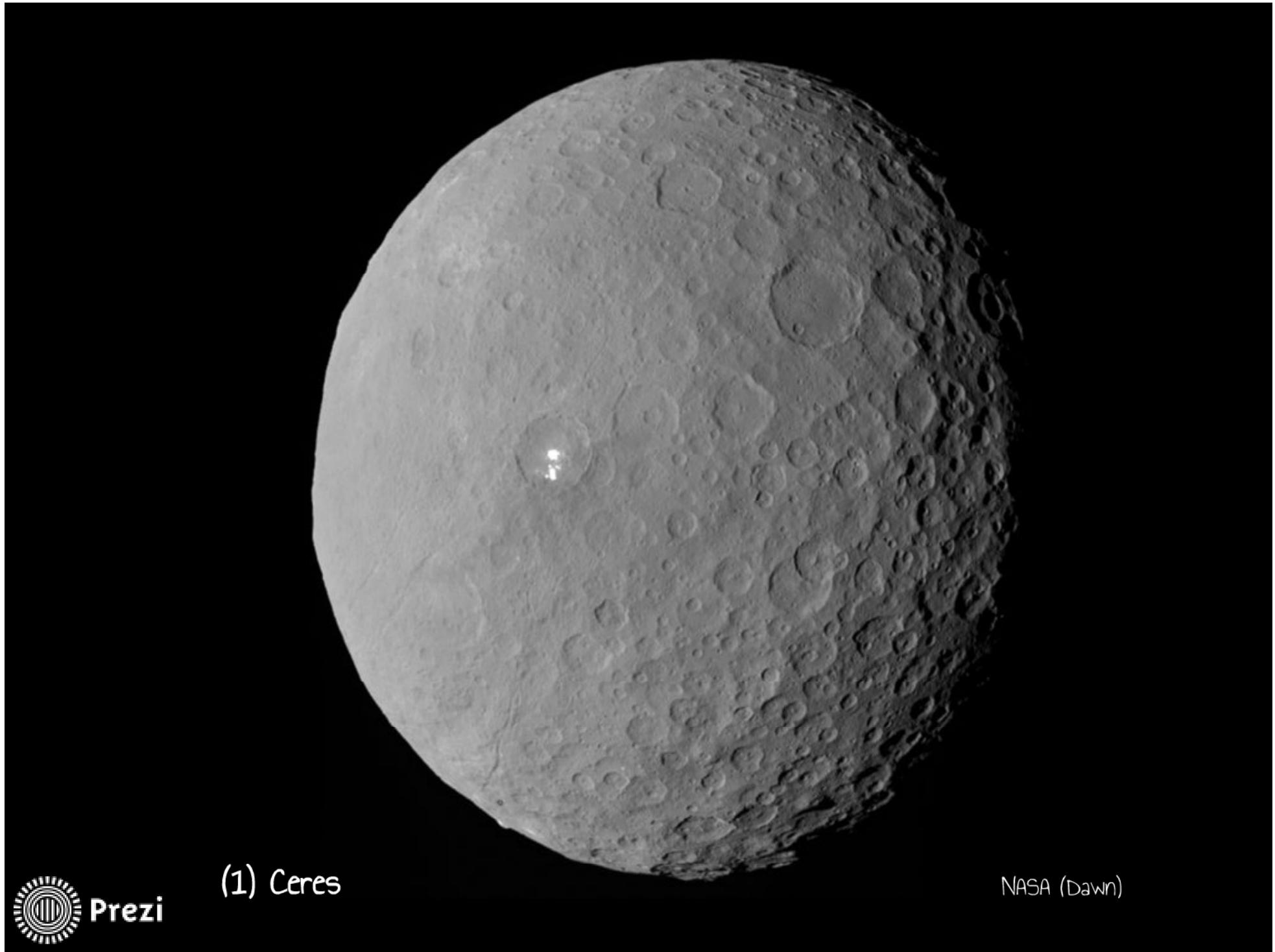
erscheinen im Teleskop punktförmig





Prezi

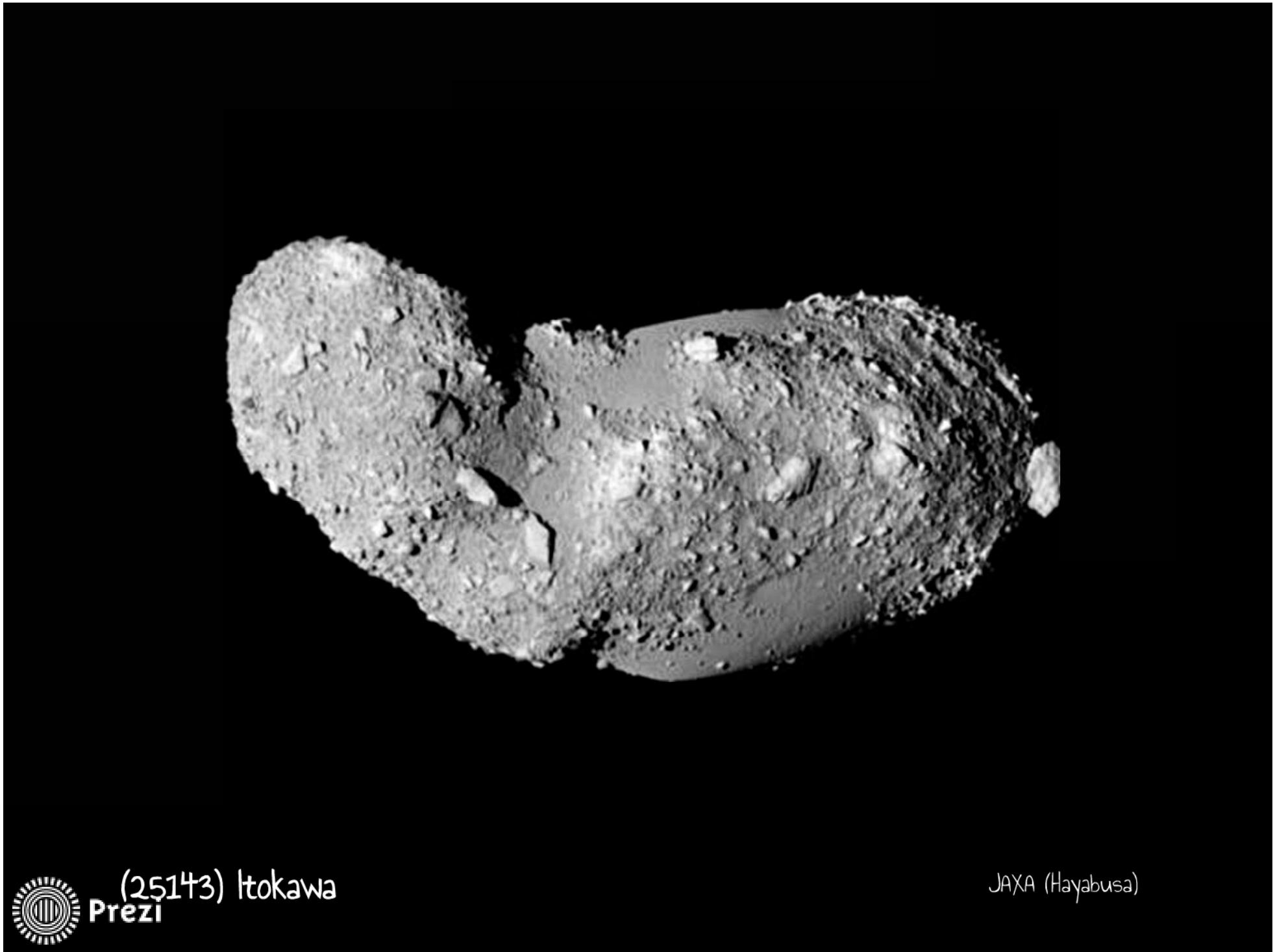
Grafik: Easysky





(243) Ida  
Prezi

NASA (Galileo)

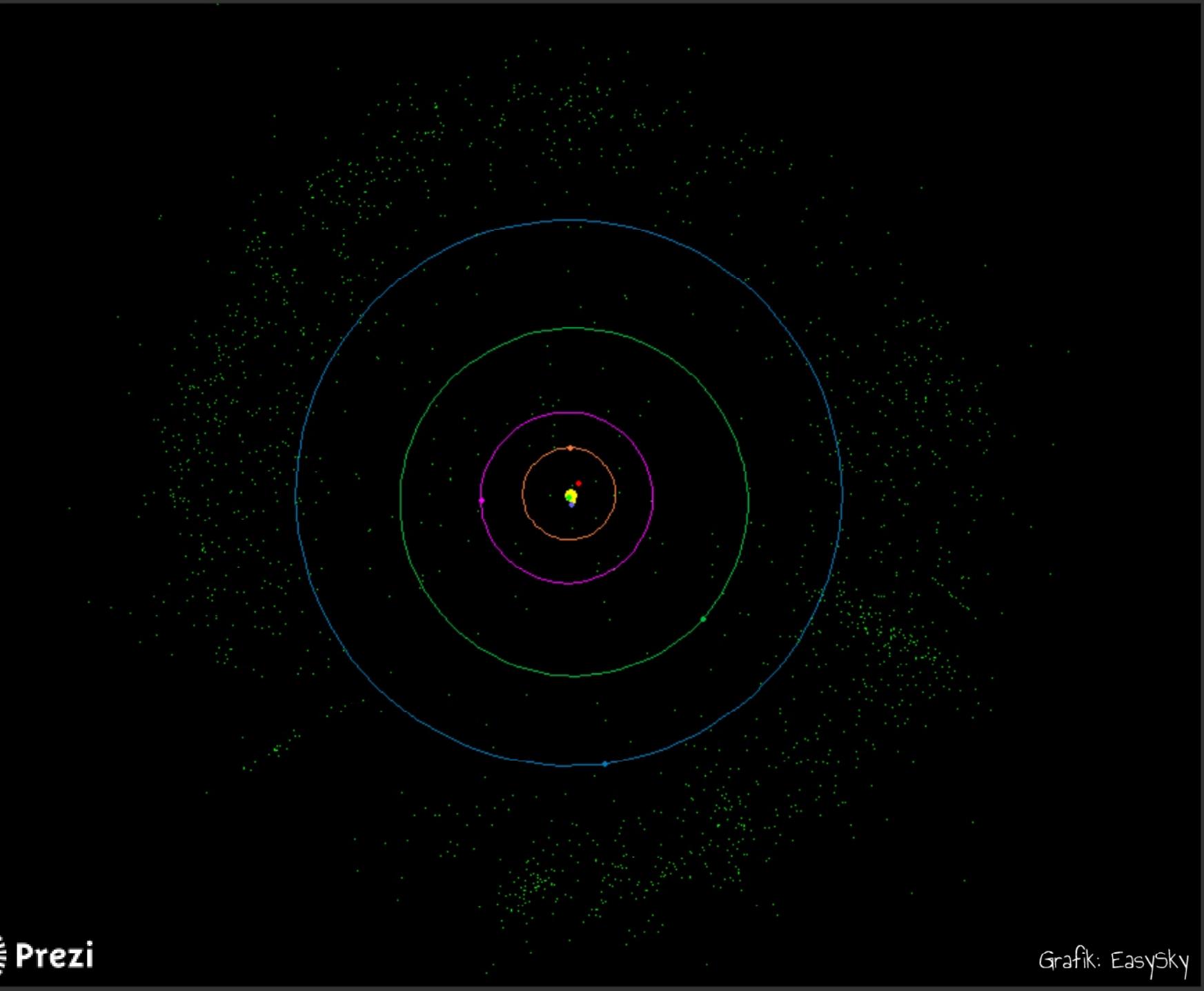


(25143) Itokawa

JAXA (Hayabusa)



Prezi



Grafik: EasySky



(134340) Pluto



NASA (New Horizons)

ursprünglich:

Bestimmung von Rektaszension und Deklination mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten



ab dem späten 19. Jhd.:

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



absolute Photometrie:

Direkte Bestimmung der Helligkeit aus der Stärke des einfallenden Lichtstromes

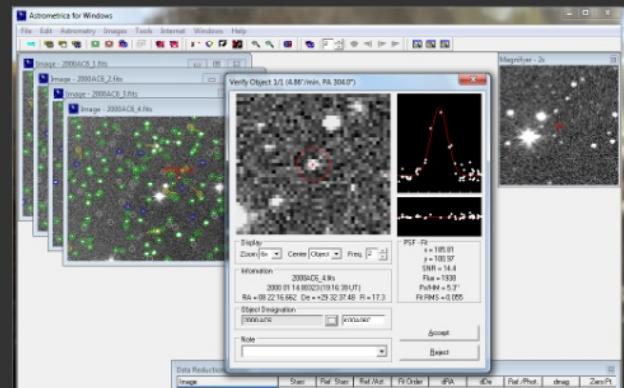


differentielle Photometrie:

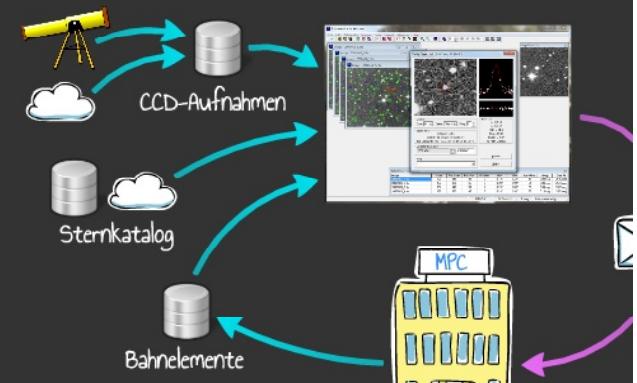
Bestimmung der Helligkeit aus Vergleichsmessungen mit anderen Sternen im Feld

# Software

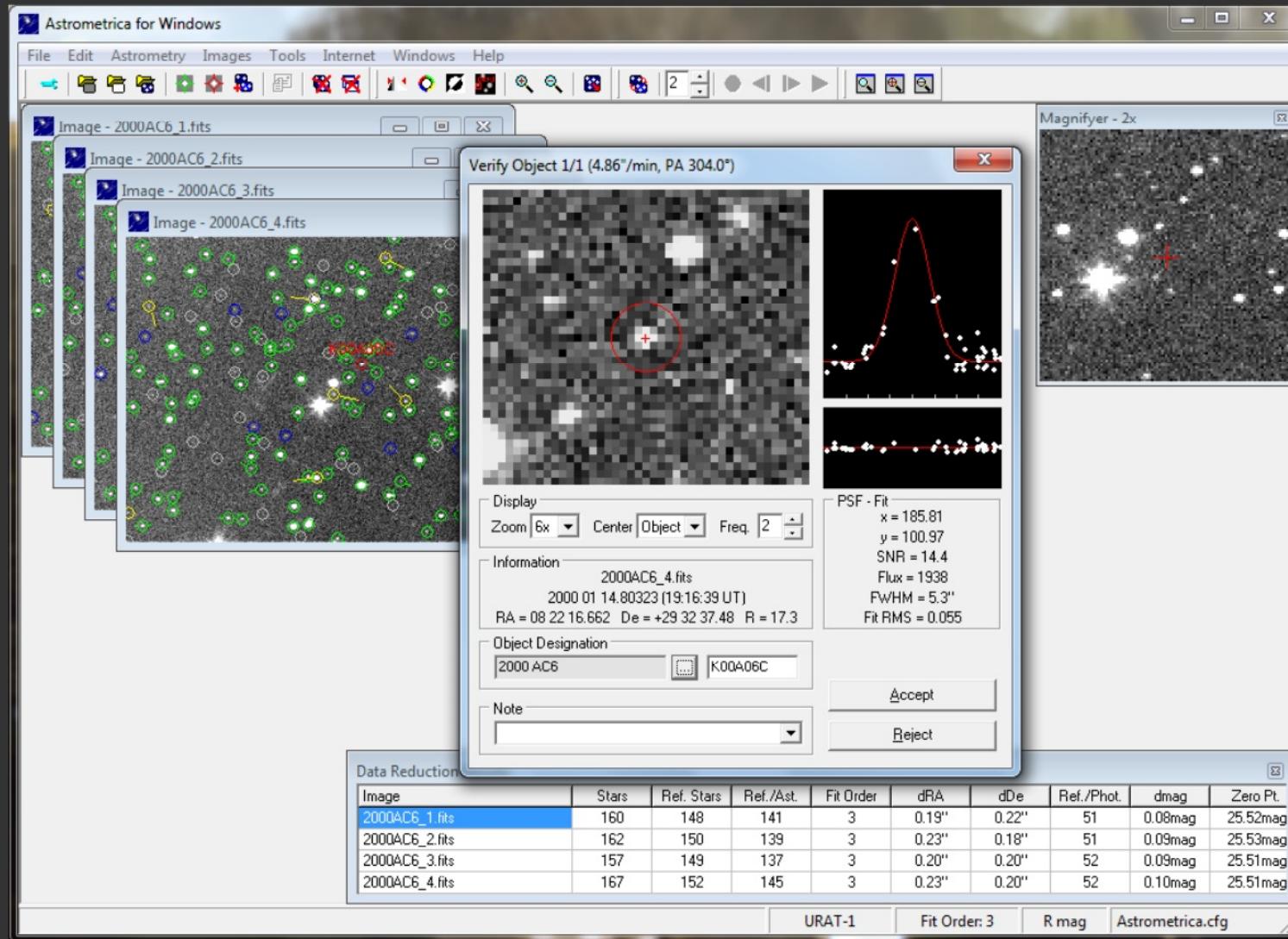
## Software "Astrometrica"



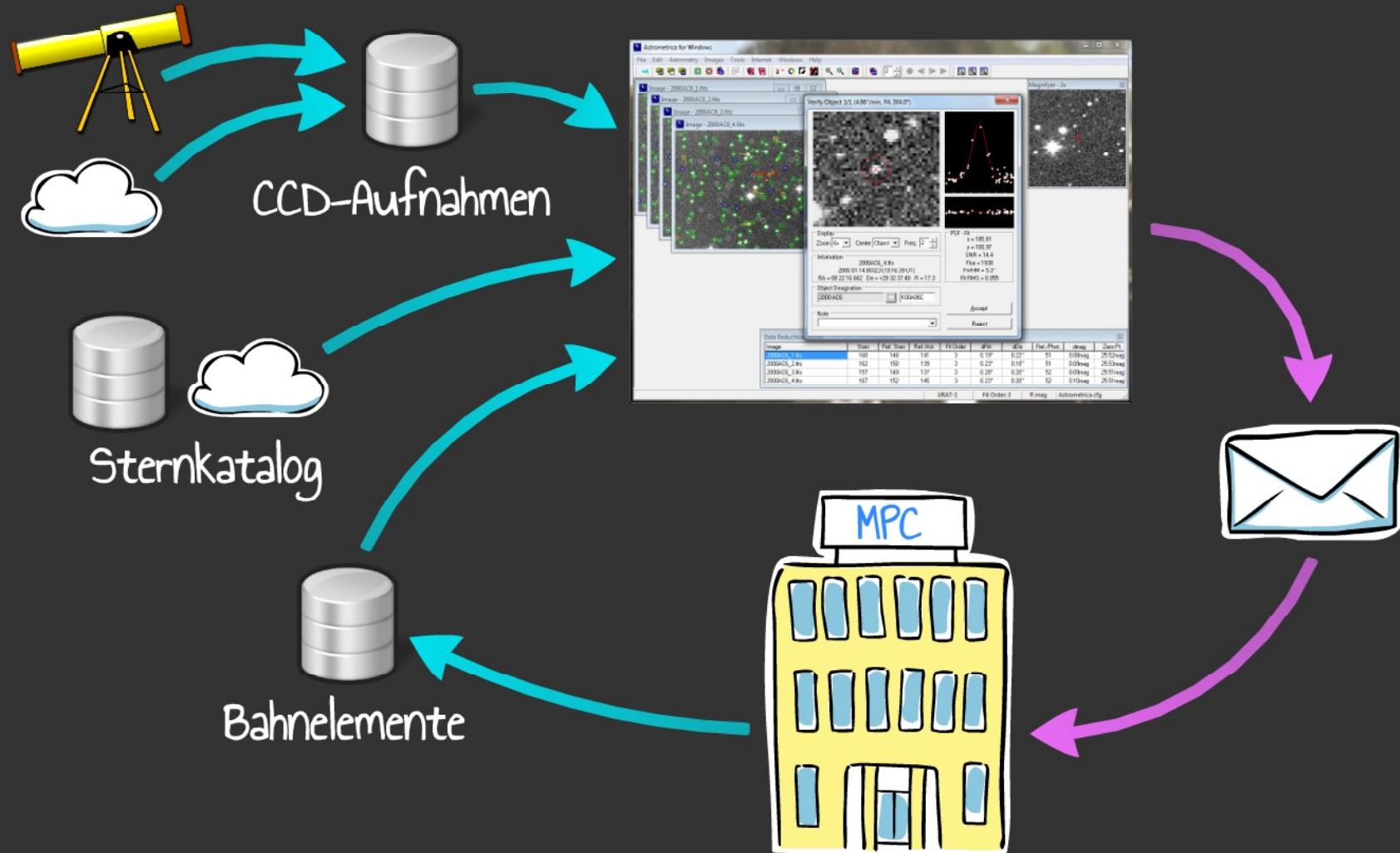
## Datenquellen



# Software "Astrometrica"



# Datenquellen

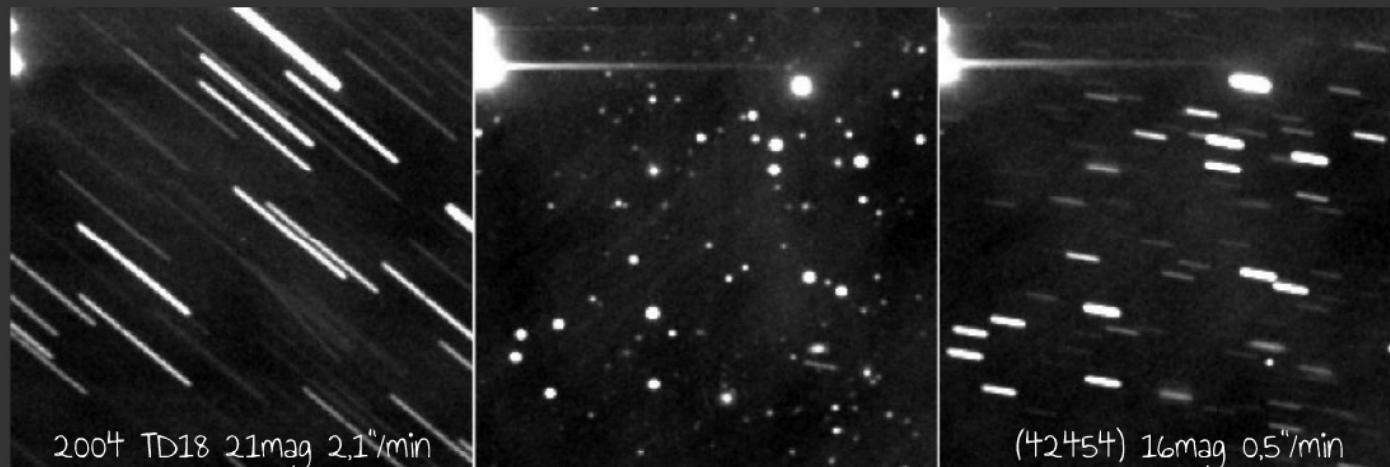


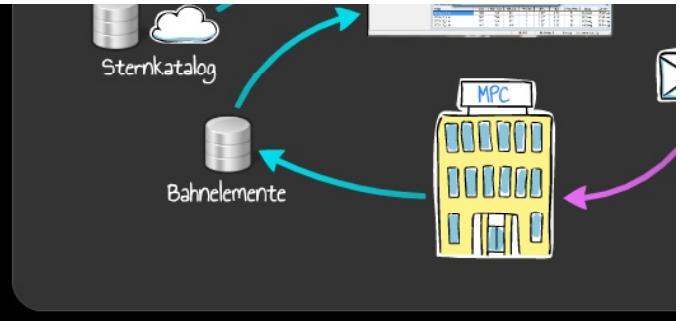
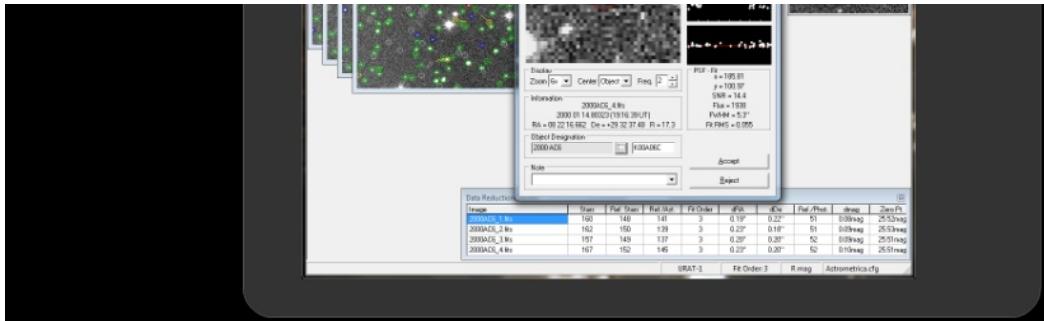
# Track and stack

SNR steigt proportional zur Belichtungszeit  $t$  um den Faktor  $\text{Sqrt}(t)$

Verlängerung der Belichtungszeit aufgrund der Bewegung von Kleinplaneten nicht beliebig möglich

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





# Bildanalyse

## Bildanalyse

### Detektion

der relevanten Quellen in dem Bild

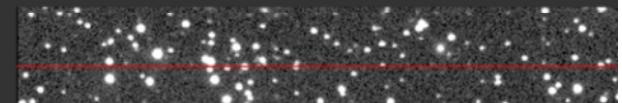
### Klassifikation

der detektierten Quellen nach Objektklassen

### Identifikation

der bekannten Himmelsobjekte im Bild

## Detektion



### Objektkandidaten

lokale Helligkeitsmaxima die ein Signal/Rausch-Verhältnis (SNR)

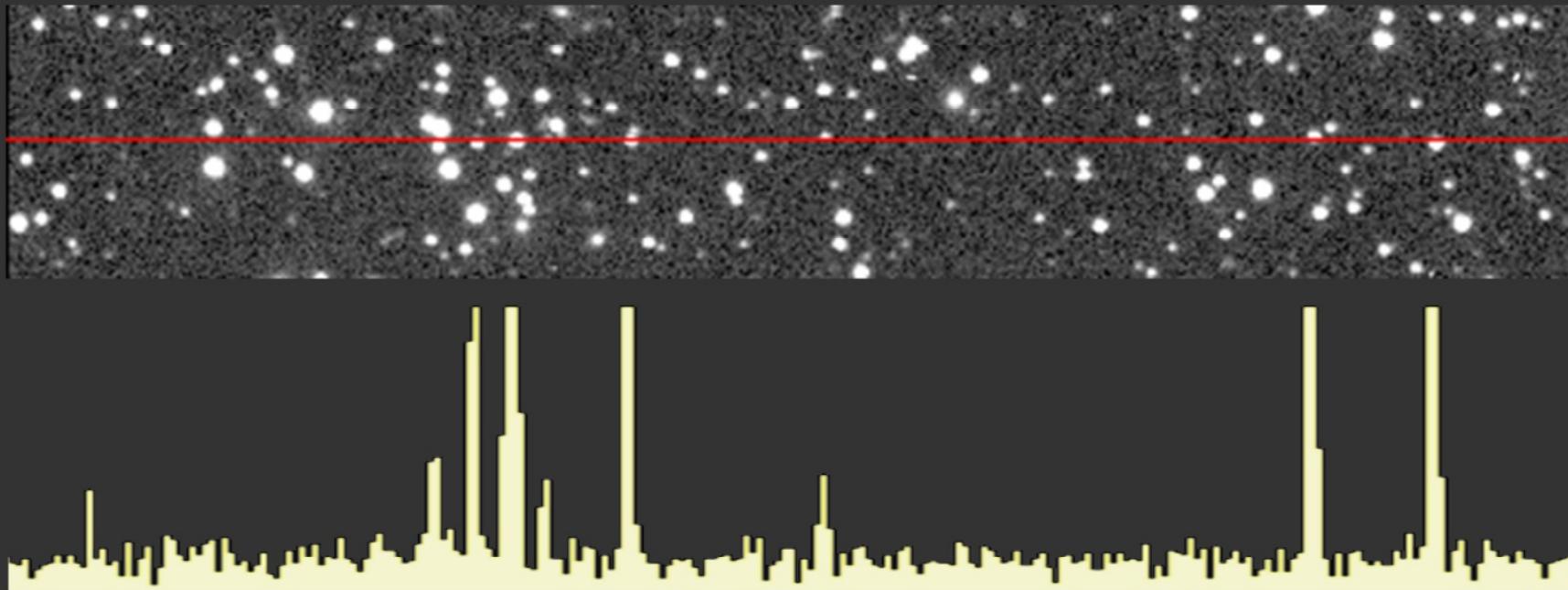
# BildanalySe

**Detektion**  
der relevanten Quellen in dem Bild

**Klassifikation**  
der detektierten Quellen nach Objektklassen

**Identifikation**  
der bekannten Himmelsobjekte im Bild

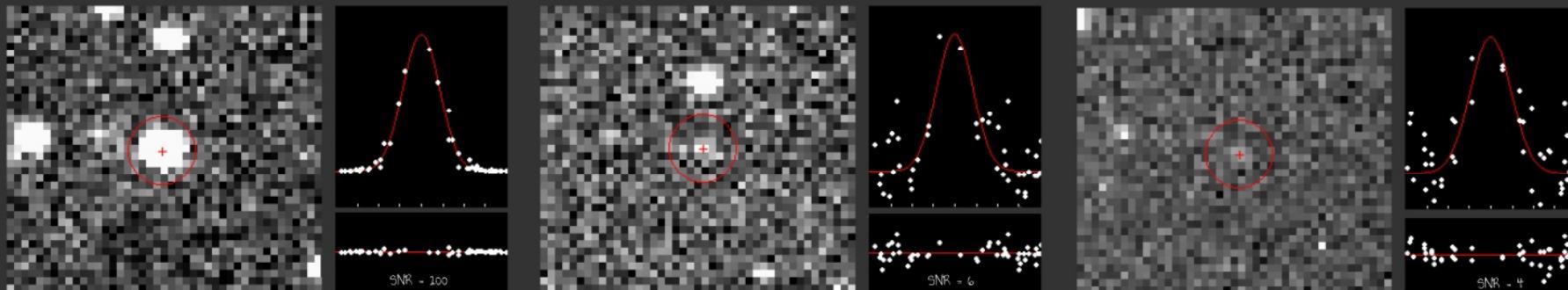
# Detektion



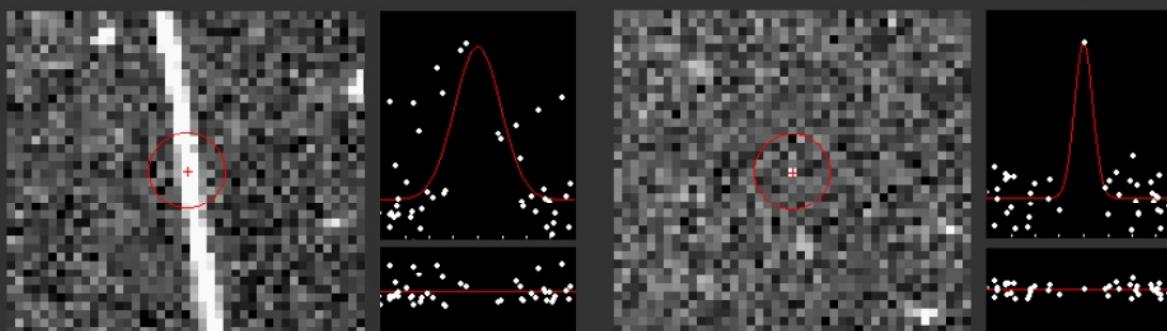
## Objektkandidaten

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:

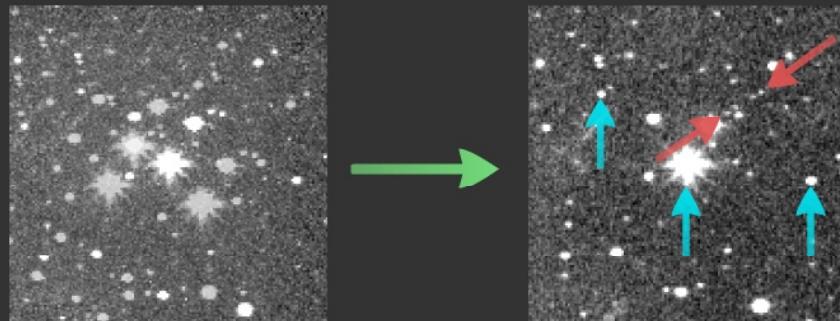
$$I_{(x,y)} = H \times e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} + B$$

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**

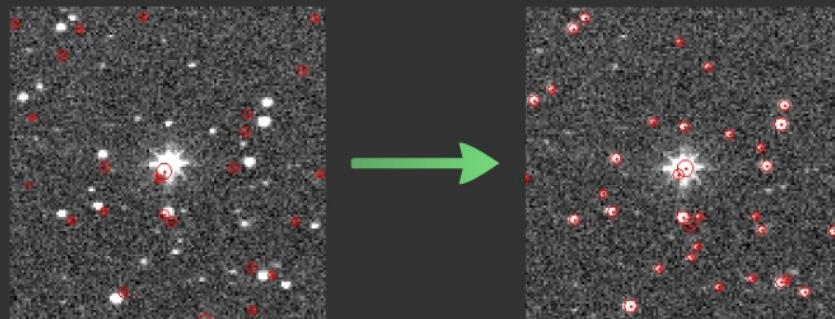
Quellen, deren Position sich durch eine  
lineare, gleichförmige Bewegung beschreiben lässt: **Asteroiden**

Alle weiteren Detektionen: **?**

# Identifikation

## Referenzsterne

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



## Asteroiden

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

## Klassifikation

der detektierten Quellen nach Objektklassen

## Identifikation

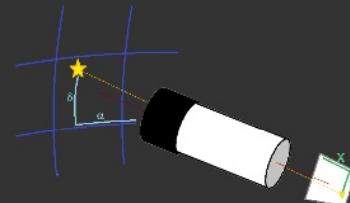
der bekannten Himmelsobjekte im Bild

## 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:

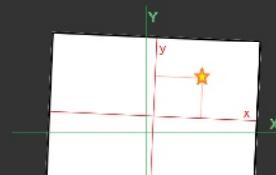
$$x = -\frac{\cos(\delta) \sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos(\delta_0) \cos(\delta) \cos(\alpha - \alpha_0) + \sin(\delta_0) \sin(\delta)}$$

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

## Astrometrische Kalibrat

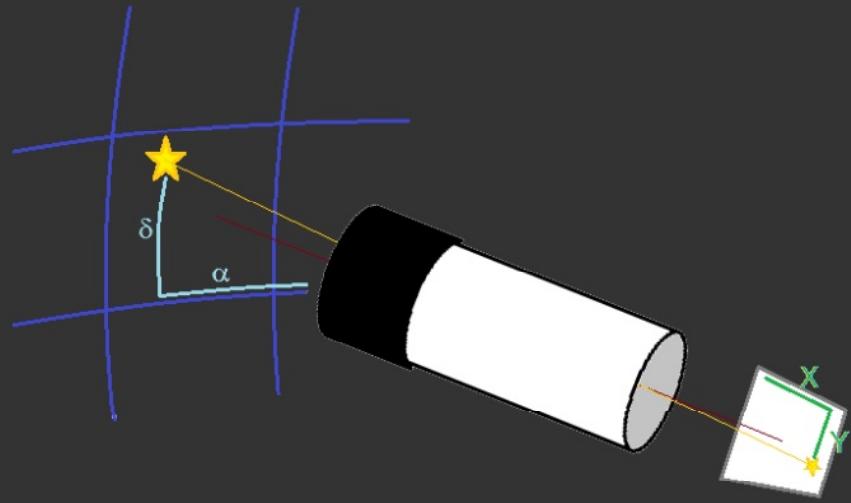
Berechnung der Standardkoordinaten (X,Y) aus den bekannten Hirnkoordinaten (RA,Dec) der Referenzsterne

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:

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

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

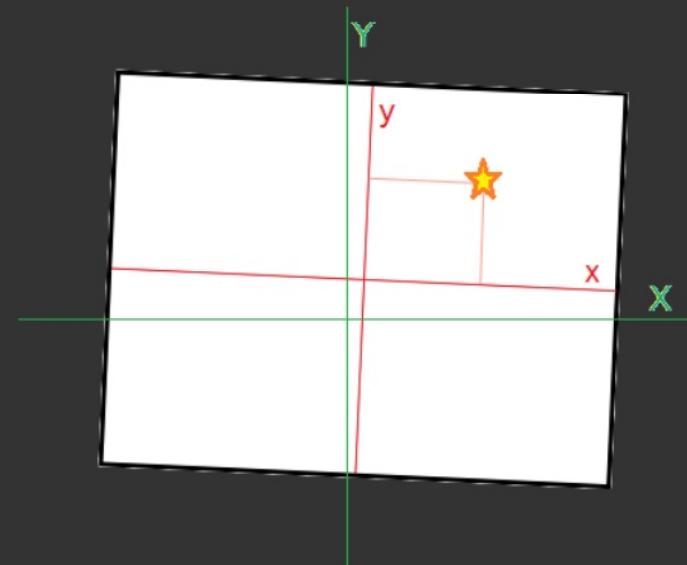
$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1} \left\{ \frac{-X}{\cos(\delta_0) - Y \sin(\delta_0)} \right\}$$

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

# 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 Referenz-  
sternen mit bekannter Helligkeit und Berechnung des photo-  
metrischen Nullpunktes (Helligkeit bei Fluss = 1)

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

Bestimmung der Helligkeit aus dem gemessenen Fluß:

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

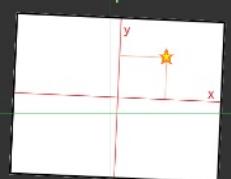
Koordinatensystem (Winkelmaß) in eine Ebene (Längenmaß)

Standardkoordinaten:

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

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

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

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


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  
 $102^4 \times 102$

# 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 (erdnaher) Asteroiden

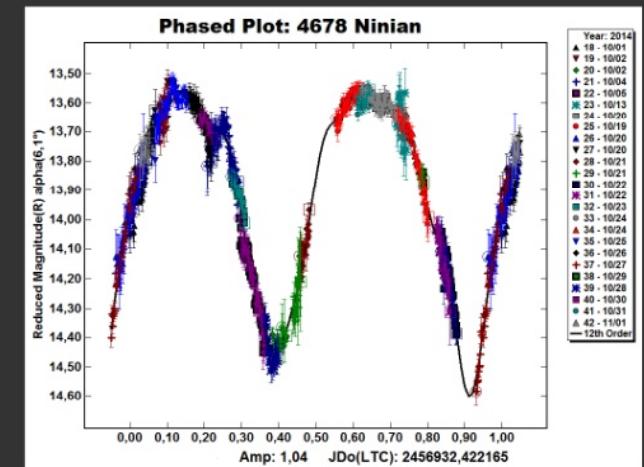
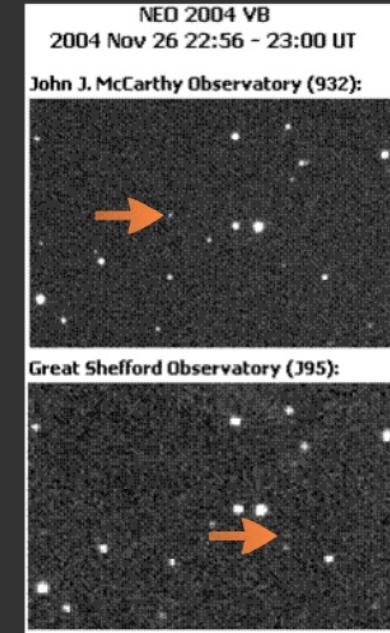
Bogenverlängerung (erdnaher) Asteroiden

Entdeckung von Asteroiden

## Photometrie:

Bestimmung der Lichtkurve und der Rotationszeit

Modellierung von Asteroiden



Fabio Salvaggio

# Links und Literatur

Guide to Minor Body Astrometry

<http://www.minorplanetcenter.net/iau/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 Rogery 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!

Kontakt: [raab@sternwarte.at](mailto:raab@sternwarte.at)