Kleinkörper (und Zwergplaneten) im Sonnensystem

Das Sonnensystem und seine fernen Verwandten für Nicht-Physiker

Markus Pössel

Haus der Astronomie

15.1.2019

Kleinkörper im Sonnensystem: IAU-Definitionen

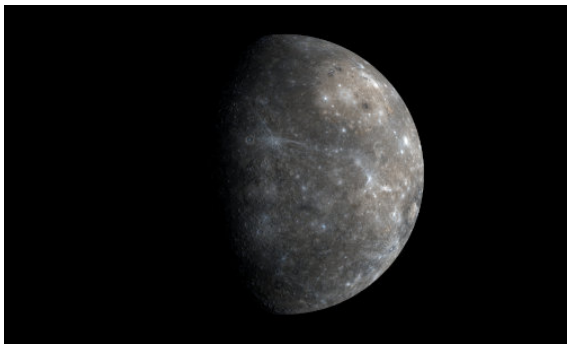


Bild: NASA/JPL

Planeten

umkreisen die Sonne, genügend Masse für Kugelform, Umlaufbahn von anderen Objekten freigeräumt

Bild: NASA/JHU APL/SwRI

Zwergplaneten

umkreisen die Sonne, genügend Masse für Kugelform, aber Umlaufbahn nicht von anderen Objekten freigeräumt, kein Satellit

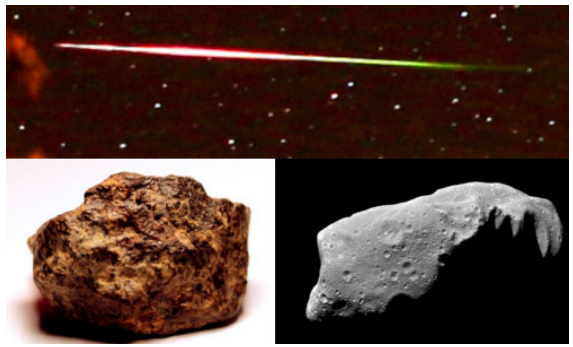


Bild: r.u. NASA/JPL, l.u. und oben: Eigenes Bild

Kleinkörper

„Small Solar System Bodies“ (SSSB): der ganze Rest, außer Satelliten (die andere Körper umkreisen als die Sonne)

Beschluss der Internationalen Astronomischen Union (IAU), Generalversammlung 2006
https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/

Kleinkörper im Sonnensystem

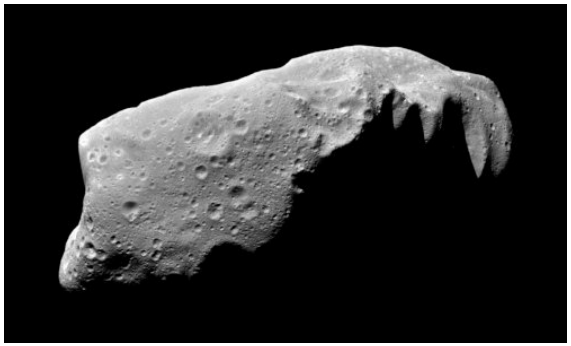
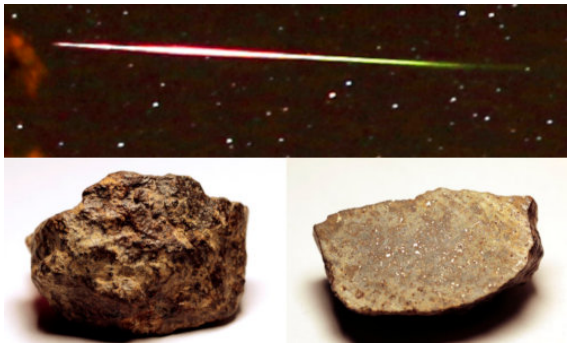


Bild: NASA/JPL

Bild: TRAPPIST/E. Jehin/ESO



Eigenes Bild

Kleinplaneten
bzw. **Asteroiden**

umkreisen die Sonne, nicht genügend Masse um rund zu werden, größer als einige Meter, keine Kometen

Kometen

von der Größe her ähnlich wie Kleinplaneten, hoher Eisgehalt, exzentrische Umlaufbahn, Schweifbildung in Sonnennähe

Meteoroiden

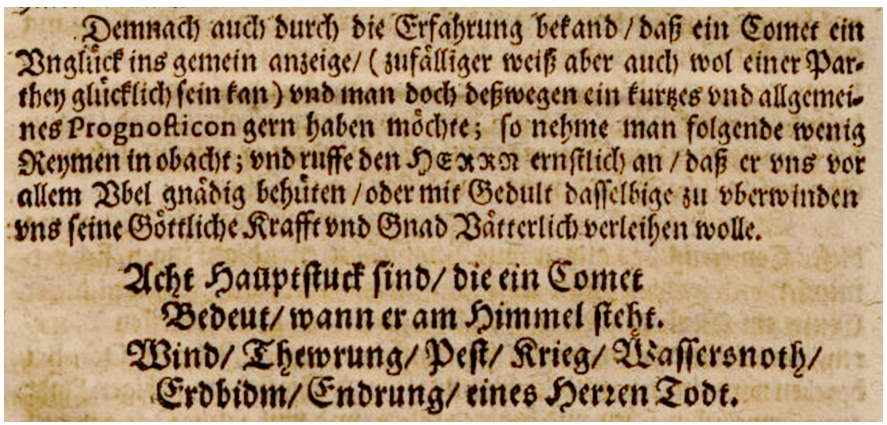
kleiner als Kleinplaneten (Meter oder weniger), größer als Staub (als 0.1 mm). Erzeugt **Meteor** beim Eintritt in Erdatmosphäre, Überbleibsel auf Erdoberfläche heißt **Meteorit**

Einteilung pragmatisch, nicht eindeutig abgegrenzt. Einige Objekte sind Mischformen (z.B. 7968 Elst–Pizarro)

Größenvergleich

Kometen als Unglücksboten

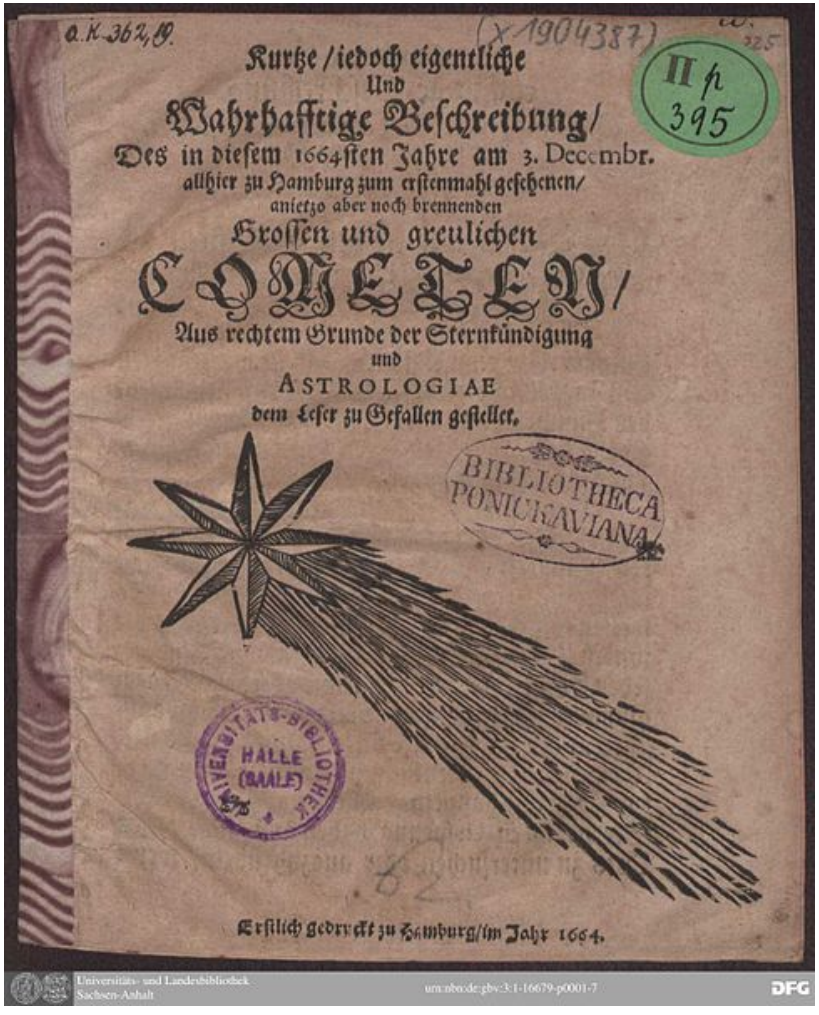
Kometen können als Himmelszeichen sehr auffällig sein, Regularität bei einigen erst später erkannt → Deutung als Unglückszeichen



Demnach auch durch die Erfahrung bekand / daß ein Comet ein Vnglück ins gemein anzeige / (zufälliger weiß aber auch wol einer Parthey glücklich sein kan) vnd man doch deßwegen ein kurtzes vnd allgemeines Prognosticon gern haben möchte; so nehme man folgende wenig Reymen in obacht; vnd ruffe den HERRN ernstlich an / daß er vns vor allem Vbel gnädig behüten / oder mit Gedult dasselbige zu vberwinden vns seine Göttliche Krafft vnd Gnad Vätterlich verleihen wolle.

Acht Hauptstuck sind / die ein Comet
Bedeut / wann er am Himmel steht.
Wind / Thewrung / Pest / Krieg / Wassersnoth /
Erdbidm / Endrung / eines Herren Todt.

Cometographia, via Google Books



Kurtze / iedoch eigentliche
Und
Wahrhafftige Beschreibung /
Des in diesem 1664sten Jahre am 3. Decembr.
allhier zu Hamburg zum erstenmahl gesehenen /
anietzo aber noch brennenden
Grossen und greulichen
COMETEN /
Aus rechtem Grunde der Sternkündigung
und
ASTROLOGIAE
dem Leser zu Gefallen gestellet.

Erstlich gedruckt zu Hamburg / im Jahr 1664.

Universitäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt via Wikimedia Commons

Newtonsche Gravitation

Neu bei Newton: zusätzlich zu Ellipsen, offene Bahnen (ebenfalls Kegelschnitte: Hyperbel und Parabel)

Dadurch Bahnbestimmung von Kometen möglich: Halley'scher Komet, benannt nach Halleys Vorhersage für 1758

Moderner Wert für Umlaufzeit für 1P/Halley: 75.32 a

Bild: NASA/W. Liller

Briefe Halley an Newton: https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03982

Newtonsche Gravitation

Neu: Möglichkeit, Störungsrechnungen durchzuführen (Laplace 1799, Gauß 1800).

$$\vec{F}_{gesamt} = \vec{F}_{Sonne} + \vec{F}_{Jupiter} + \vec{F}_{Saturn} + \ldots$$

Allgemeines Verfahren: Einfache Lösung systematisch ergänzen.

Großer Erfolg: Urbain Le Verrier (John Couch Adams) sagen 1846 Planet Neptun vorher, Entdeckung durch Johann Gottfried Galle binnen eines Monats.

Bild: Deutsche Bundesbank

Himmelspolizey

Titius-Bode-Reihe für Planetenabstände:

$$a[\mathrm{AE}] = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$$

für $-\infty$ (Merkur), 0 (Venus), 1 (Erde), 2 (Mars), 4 (Jupiter), 5 (Saturn).

Wo ist $n = 3$?

Frhr. von Zach organisiert eine “Himmelspolizey” — systematische Beobachtungen verschiedener Observatorien um die Ekliptik herum (Astronomische Gesellschaft)

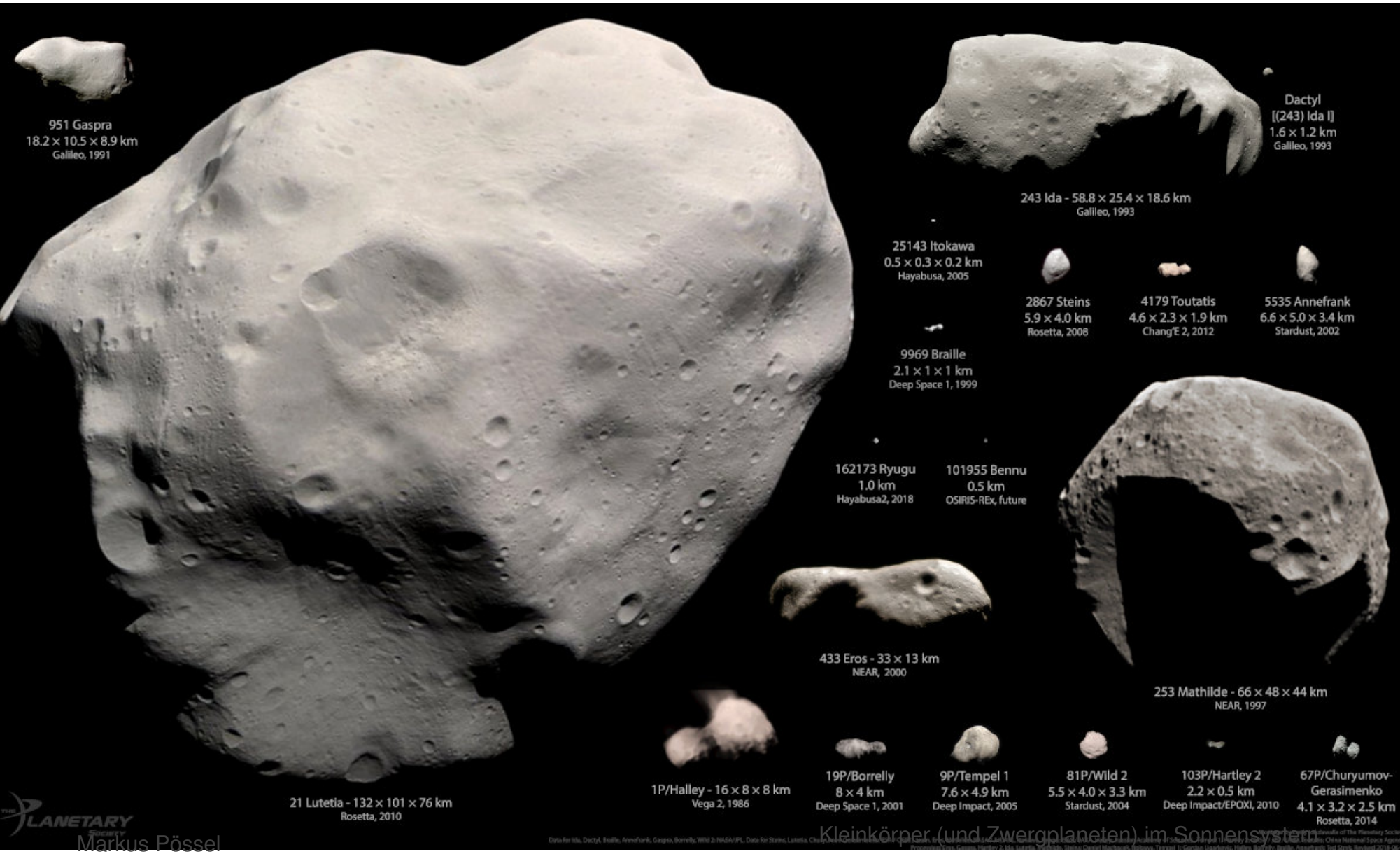
Erster Asteroid: Ceres (Ferdinandea)

Im Februar gegenwärtigen 1801 Jahres schrieb *La Lande* aus Paris an mich. *Piazzi*, Astronom in Palermo, habe den 1 Jan. einen sehr kleinen Cometen im Schulterblatt des Stiers entdeckt; er erscheine nur wie ein Stern achter oder neunter Grösse, ohne allen Nebel und Schweif. Da aber keine weitern Angaben seiner Lage und seines Laufes angezeigt wurden, so war ein so kleines Gestirn nicht aufzufinden; in Erwartung bestimmterer Nachrichten achtete ich nicht ferner darauf.

Im April erhielt ich ein Schreiben vom Prof. *Bode* aus Berlin vom 14 desselben Monats, in welchem er die Güte hatte, mir die Nachricht mitzutheilen, dass er ein Schreiben *vom 24 Januar* von *Piazzi* aus Palermo erhalten habe, worin dieser ihm meldet: dass er den 1 Jan. einen kleinen Cometen in 51° 47′ gerad. Auffsteigung und 16° 8′ nördl. Abweichung entdeckt habe. Den 11 Jan. sey er von rückgängig wieder rechtläufig geworden, und den 23 Jan. wäre seine ger. Auffsteig. 51° 46′ und nördl. Abweich. 17° 8′ gewesen. Er hoffte, ihn den ganzen Monat Februar beobachten zu können; er wäre sehr klein, wie ein Stern achter Grösse, ohne allen Lichtnebel. Nun fährt Prof. *Bode* in seinem Schreiben also fort: "Mir fiel die Erscheinung und Bewegung dieses angeblichen Cometen gewaltig schon bey „Lesung des Briefes auf; ich schrieb also unverzüglich an *Piazzi*, und bat mir die Folge seiner Beobachtungen aus. Unterdessen bis diese erfolgen, kann „ich nicht umhin, Ihnen zu melden, dass ich durch „eine bekannte und leichte Rechnung gefunden, dass „beyde Beobachtungen vom 1 und 23 Jan., so wie der „erfolgte Stillstand am 11 Jan. ganz vortrefflich mit „der Voraussetzung zutreffen, dies sey kein Comet, „sondern vielleicht der zwischen Mars und Jupiter „noch bis jetzt unbekannt gebliebene Planet, dessen „Abstand zu 2,75 bis 2,80 angenommen. Was sagen „Sie dazu? Schlimm ist es freylich, dass die *dritte* Beobachtung fehlt. Allein da der Stillstand so gut mit „den angegebenen Orten passt, so ist mir die Sache „sehr interessant geworden. Melden Sie mir doch mit „nächster Post nur mit ein Paar Worten Ihre Meinung;

Die Ceres-Entdeckung durch Giuseppe Piazzi (1746–1826):
„Über einen zwischen Mars und Jupiter längst vermuteten,
nun wahrscheinlich entdeckten neuen Hauptplaneten unseres Sonnen-Systems" (v. Zach)
In: Monatliche Correspondenz der Erd- und Himmelskunde Bd. 3 (1801), S. 604–605.

Von Sonden besuchte Kleinkörper

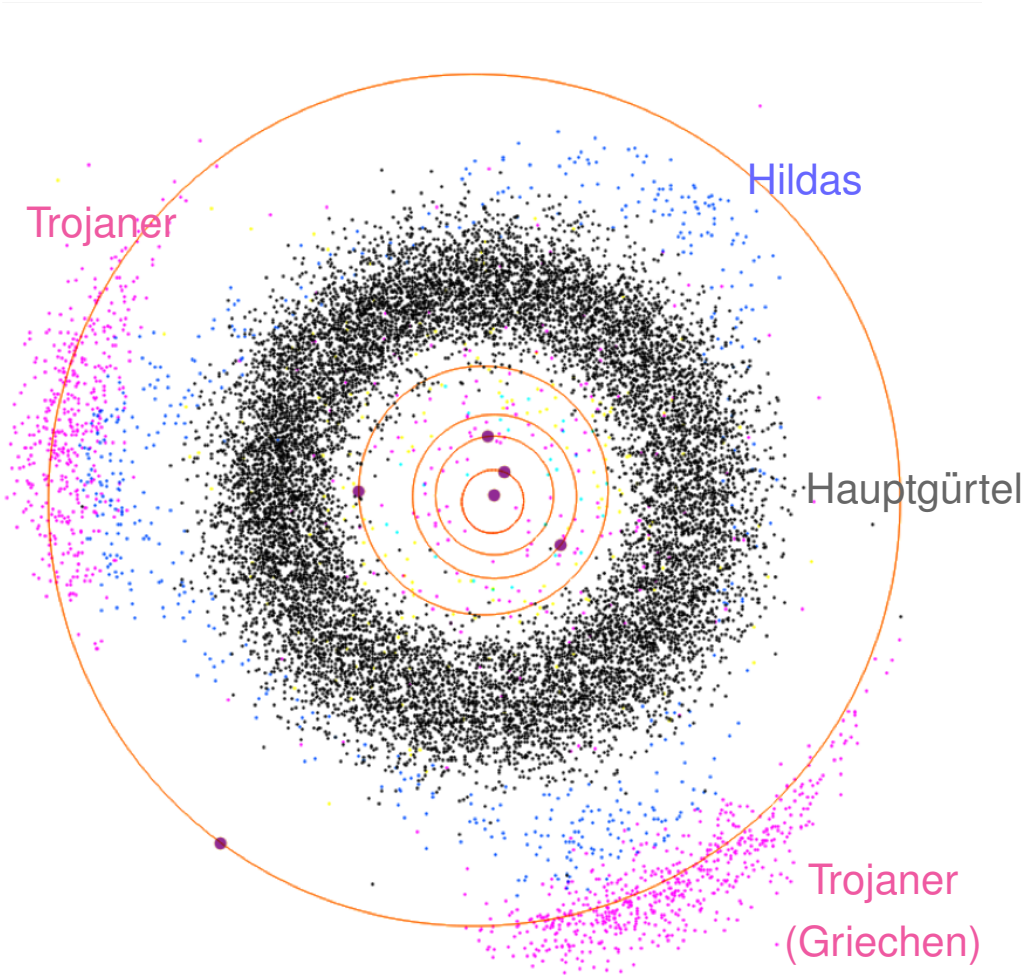


Asteroiden nachweisen: Bewegung vor Hintergrund

(456) Abnoba. Bild: C. Liefke, 2012

Asteroidenbahnen

- Hauptgürtel (zwischen Mars und Jupiter, >700k)
- Trojaner (Lagrangepunkte um Jupiter, 7k)
- Hildas (3:2-Resonanz mit Jupiter)
- Hungarias (komplizierter, 20k)
- Marsbahnkreuzer (14k)
- Erdnahe Objekte (19k)
- Transneptunische Objekte (TNOs, 3.5k)



Grafik: Public Domain, Vorlage von Nutzer Mdf auf Wikipedia

Asteroiden: Massenverteilung

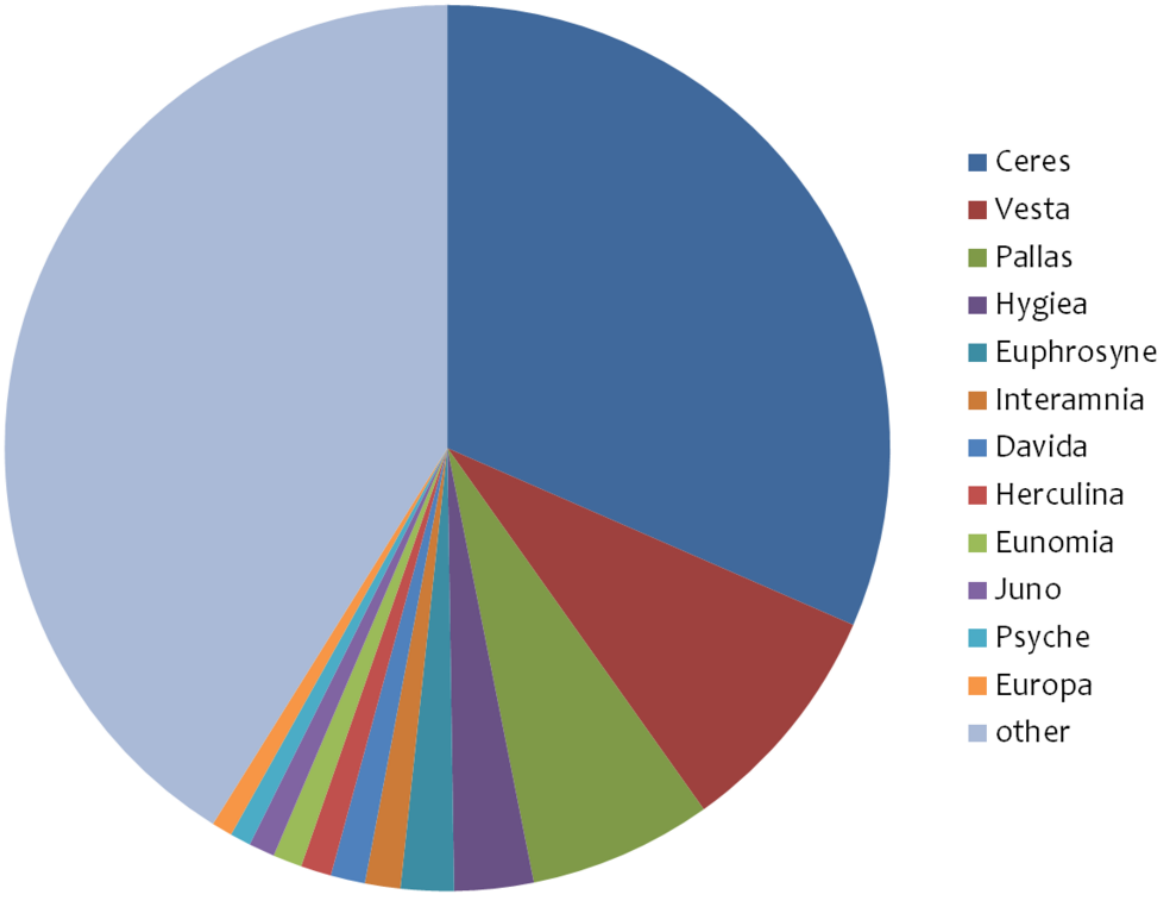


Bild: Masse of asteroids vs. main belt, Nutzer Kwamigami via Wikimedia Commons unter CC BY-SA 3.0

Gesamtmasse: $\sim 10^{-9}\,M_\odot$, entspricht $5 \cdot 10^{-4}\,M_\oplus$ bzw. 4% der Erdmondmasse

Systematik Umlaufzeiten Asteroiden

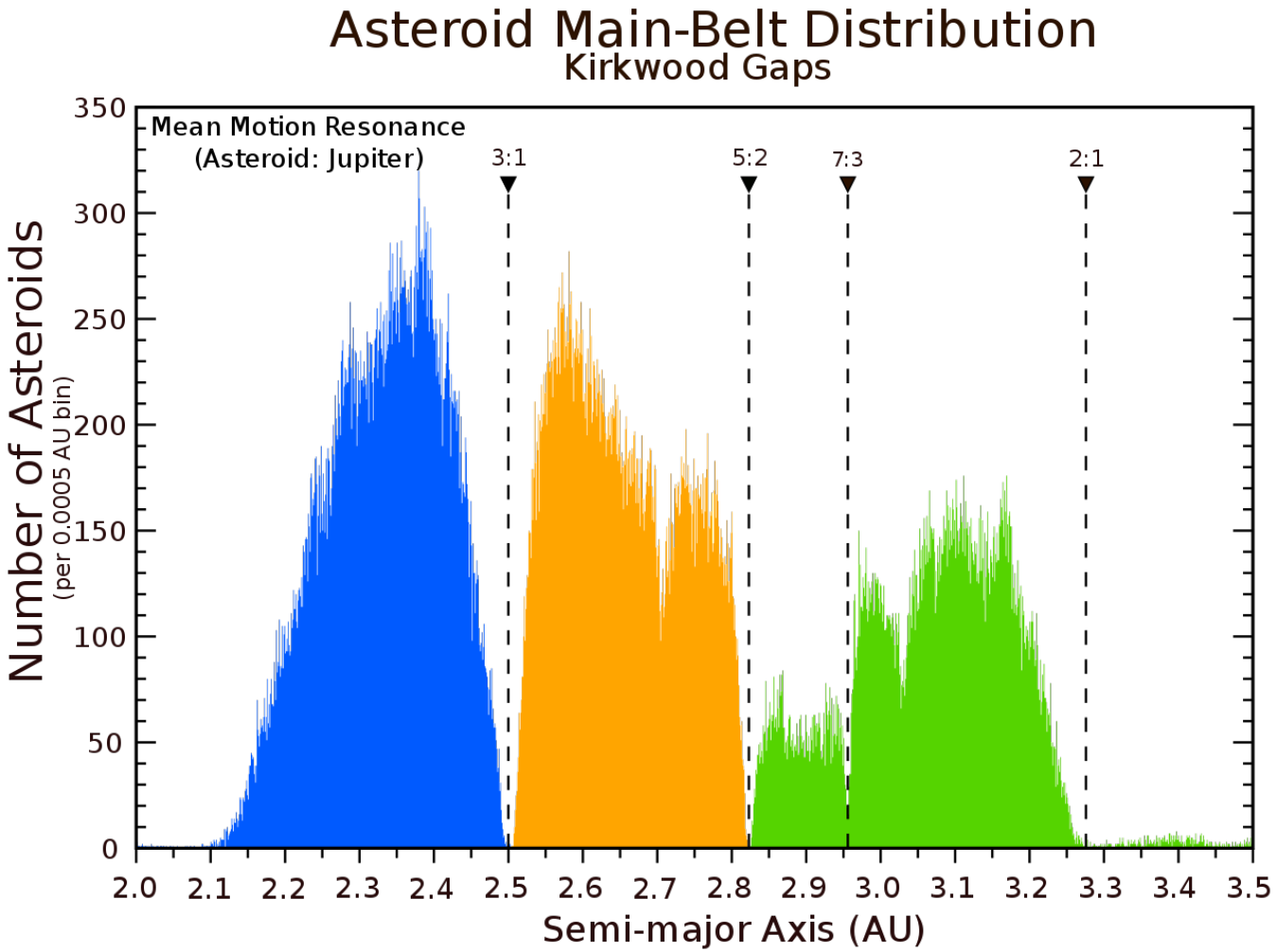
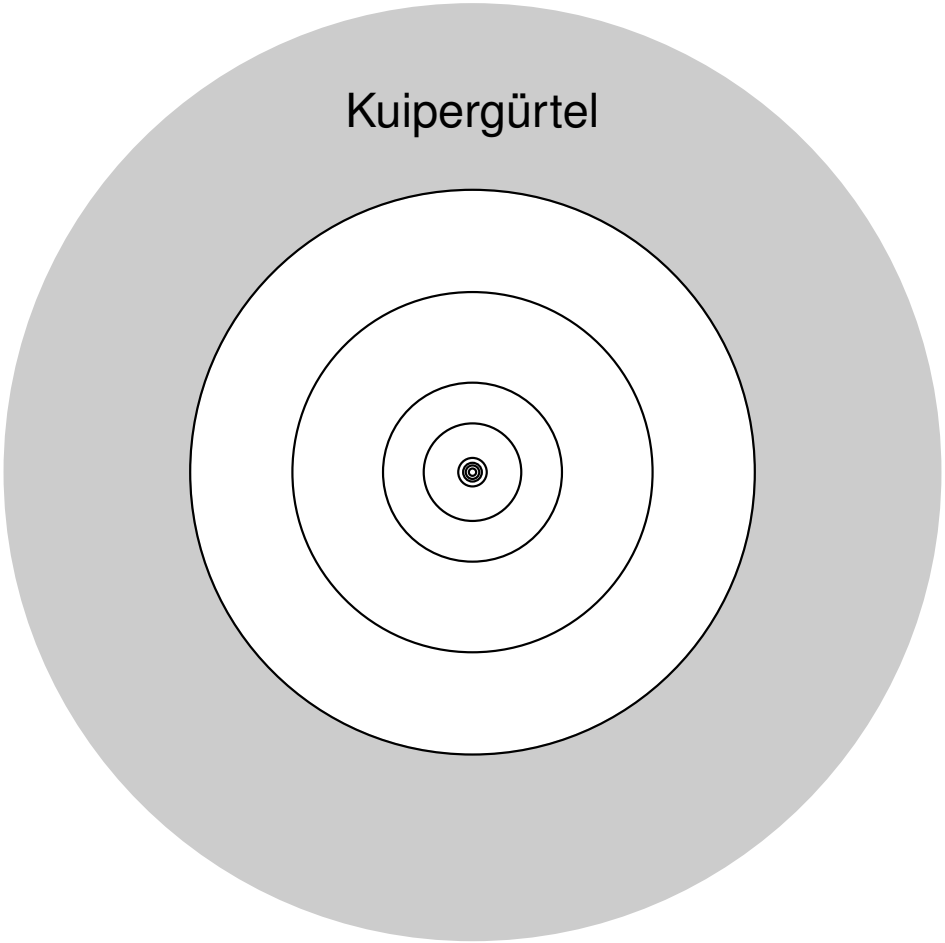


Bild: Alan Chamberlin, JPL

Transneptunische Objekte



Kuipergürtel bei ca. 30 bis 50 AE. Gestreute Objekte darüber hinaus.

Noch weit jenseits: Oort'sche Wolke bis 100.000 AE.

Asteroiden: Eigenschaften

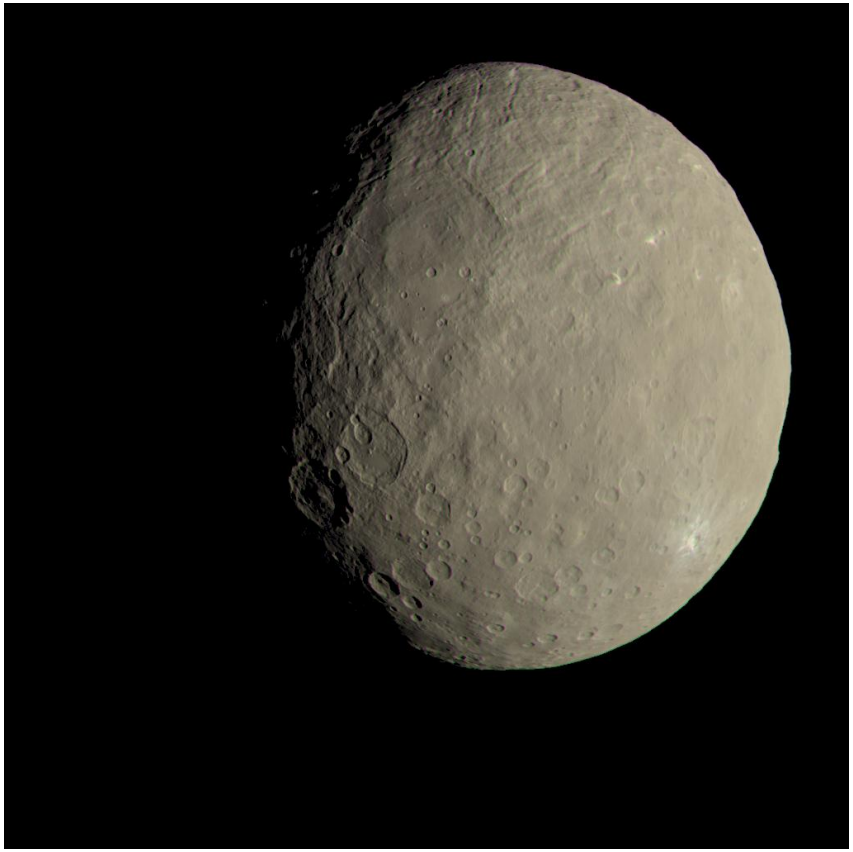
Bild: JAXA (Hayabusa-Sonde)

Lose, meist kleinere Asteroiden (Itokawa: 500×300×200 m) können „Schutthaufen“ sein (lockerer Zusammenhalt), gebildet nach Kollisionen

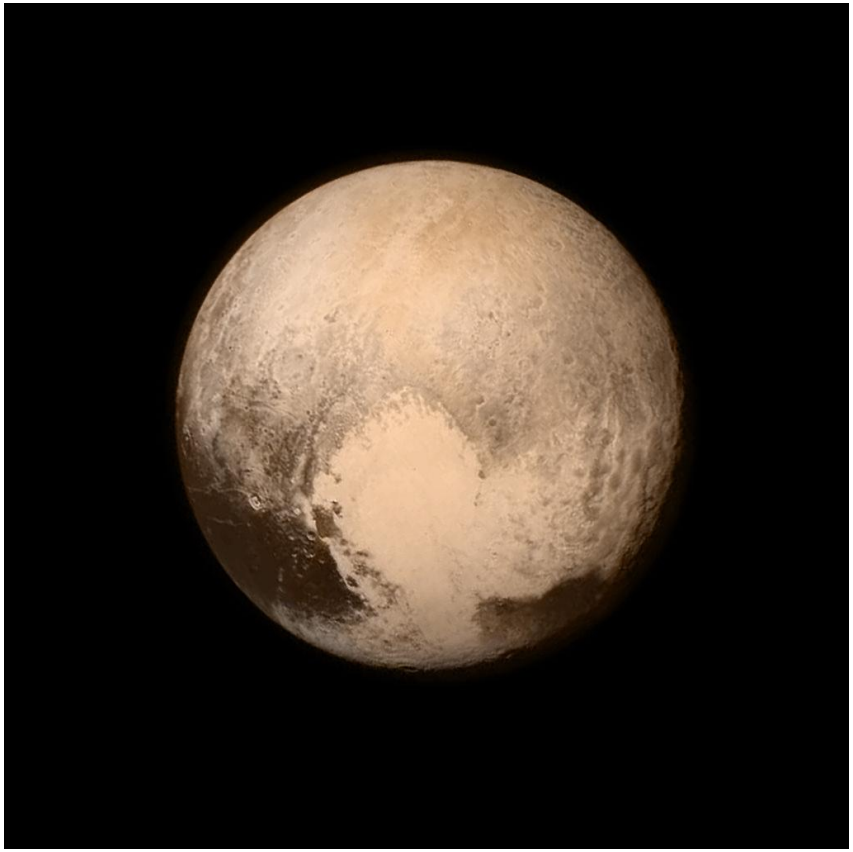
Bild: NASA (NEAR-Sonde)

Größere Asteroiden (hier: Matilde, Durchmesser 50 km) mit solider Oberfläche, mit Kratern

Abgrenzung nach oben hin: Zwergplaneten



Ceres, Durchmesser: 960 km.
Bild: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA (Dawn)



Pluto, Durchmesser 2380 km.
Bild: NASA / JHU APL / SwRI (New Horizons)

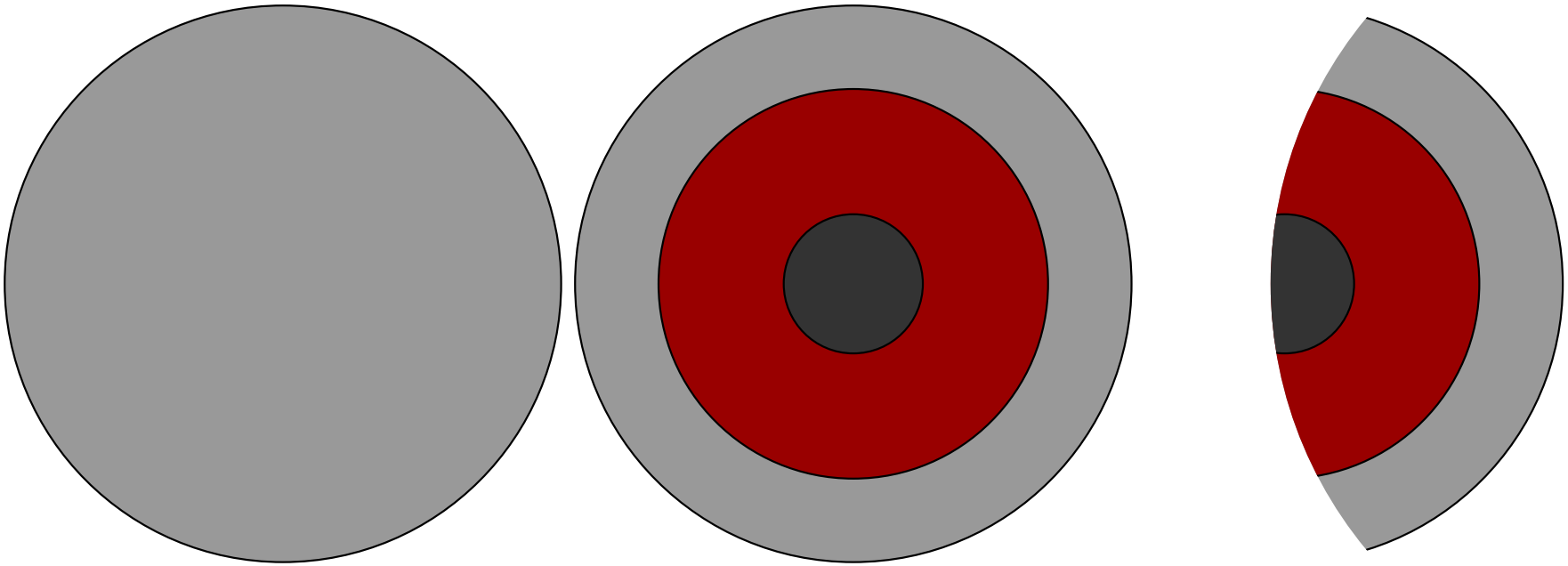
Ähnlich wie terrestrische Planeten — inklusive der Vielfalt:
Ceres sehr wasserhaltig, Eisvulkane, Tonschichten
Pluto Eis-Geologie (Farbe: organische Stoffe [Tholine])

Chemische Zusammensetzung Asteroiden

- **C-Type Asteroids** kohlenstoffhaltig und dunkel, 75% der bekannten Asteroiden, häufiger in den Außenbereichen, Zusammensetzung dürfte jener des frühen Sonnensystems entsprechen
- **S-Type Asteroids** silikathaltig
- **X-Type Asteroids** metallhaltig

Staub von Itokawa (Hayabusa-Mission der JAXA). Bild: DLR

Ausdifferenzierung von Asteroiden



Primitive Asteroiden: Nicht ausdifferenziert

Starke Erhitzung, Metallkern trennt sich von Mantel und Oberfläche

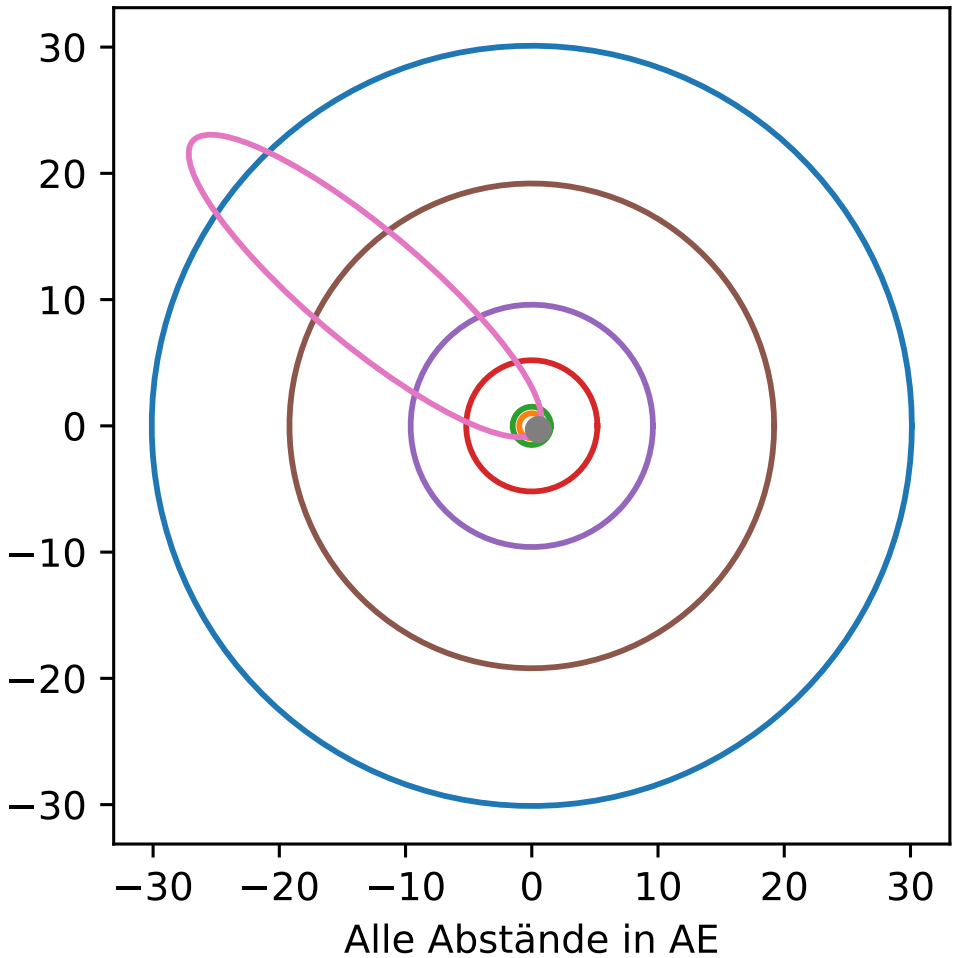
Kollisionen legen Metallkern frei → metallhaltige Asteroiden

Kometen

- Eisige Kleinkörper
- Langgestreckte Bahnen
- Kombination von beidem führt zu Schweifbildung
- Einteilung: kurzperiodisch ($P < 200$ a), langperiodisch, aperiodisch
- Namensgebung: Bahnart, Entdeckungsjahr, Nummer, Entdeckername

Komet C/1975 V1 (West), Bild: P. Stättmeier / ESO

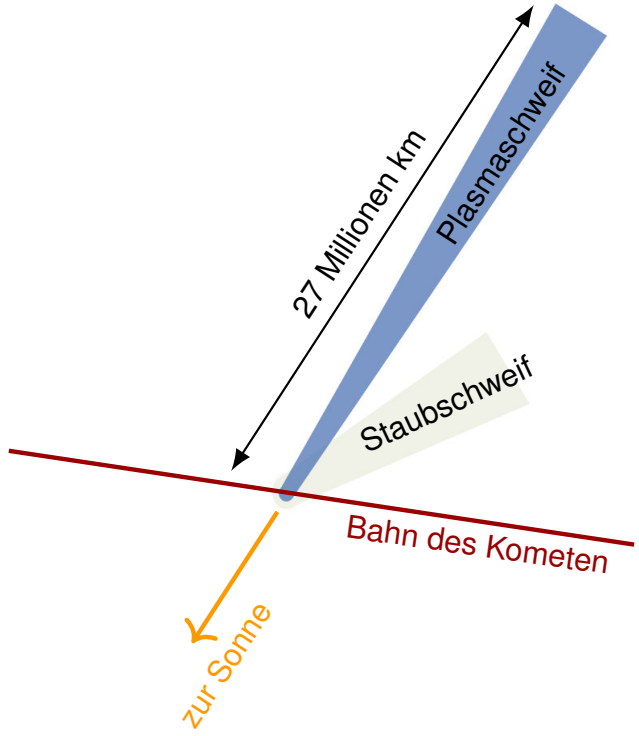
Umlaufbahn Halleyscher Komet



Kometen

Eishaltige Kleinkörper, bilden in Sonnennähe Schweif(e) aus

Hale-Bopp, 1997. Bild: ESO/E. Slawik



Staubschweif: Staubteilchenfreisetzung aus Eis, Sonnenwind/Strahlungsdruck
Plasmaschweif: Ionen (CO^+, N_2^+, CO_2^+ u.a.), blaue Fluoreszenz durch CO^+

Meteorschauer

Entlang der Kometenbahn zurückgelassener etwas größerer Staub erzeugt Meteorschauer (Leoniden, Geminiden etc. — nächste Gelegenheit: Lyriden Ende April gehörend zu C/1861 G1 [Thatcher])

Bild: Geminiden, Asim Patel via Wikimedia Commons unter CC BY-SA 3.0

Kometenkerne

1986: ESA-Sonde Giotto besucht Komet Halley

Abstand vom Kern rund 600 km

Sichtbar: Staub und Moleküle nur an wenigen Stellen (10%-15%) freigesetzt

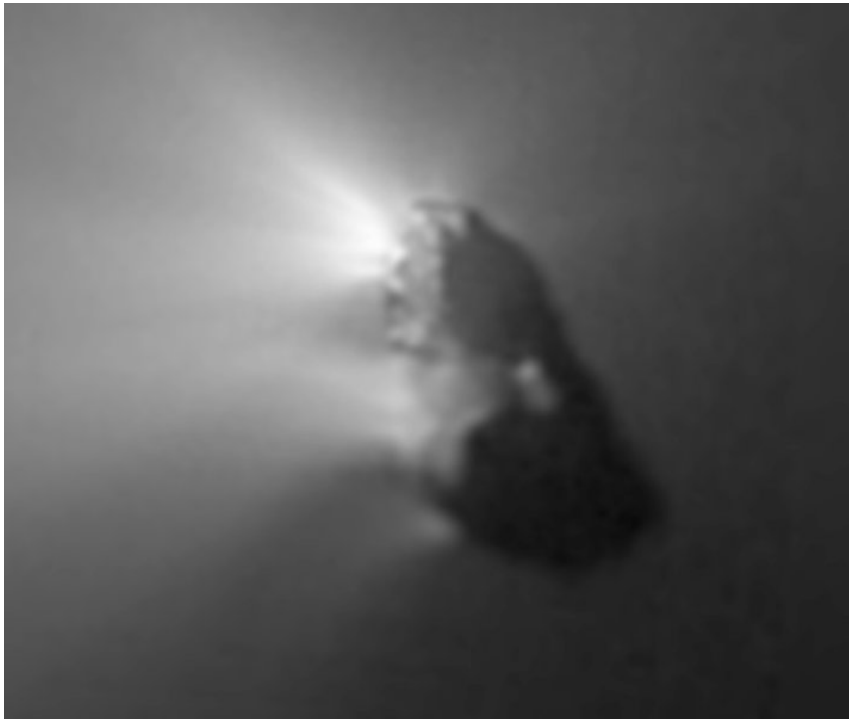


Bild: ESA / MPS

Rosetta-Mission zu 67P/Tschurjumow-Gerasimenko

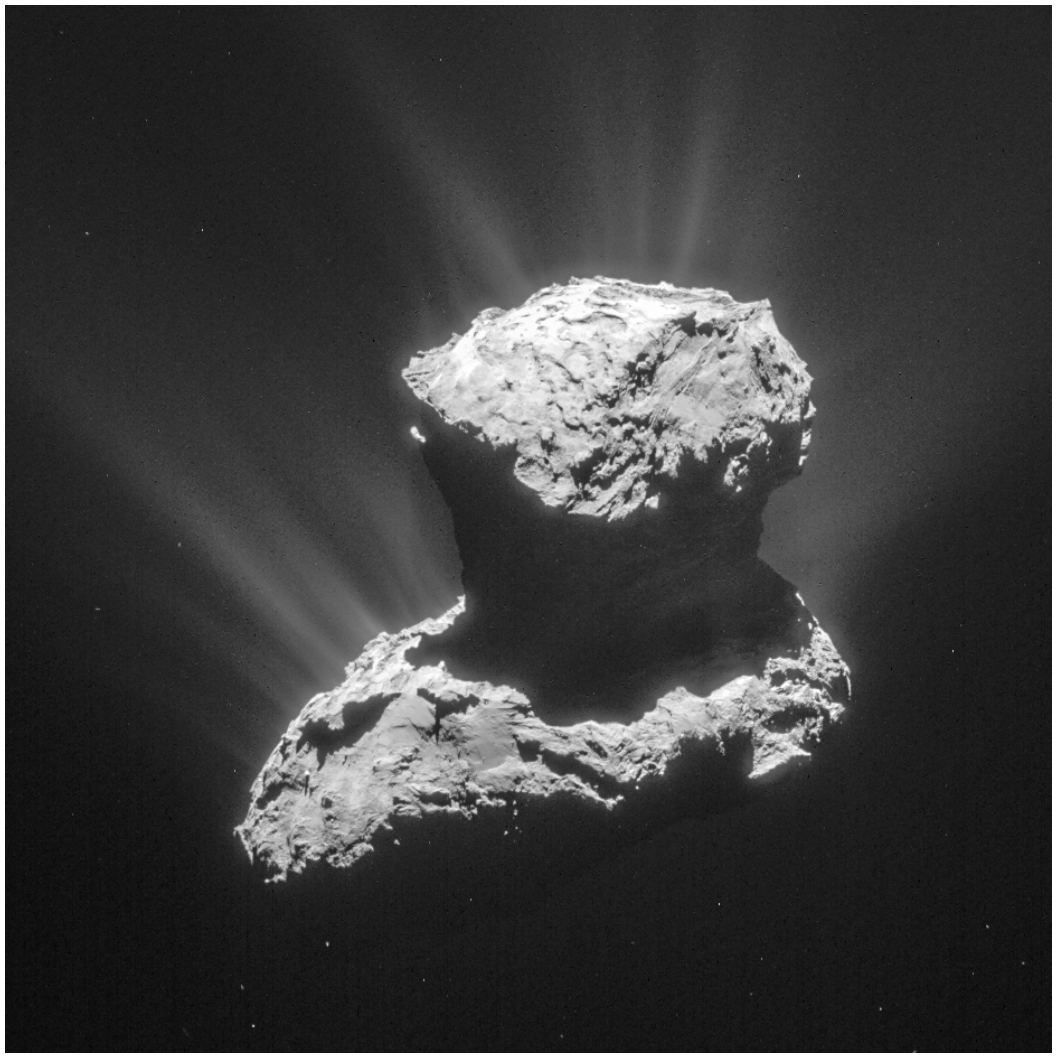


Bild: ESA/Rosetta/NavCam unter Lizenz CC BY-SA 3.0 IGO

Rosetta-Mission: Philae-Landung 2014

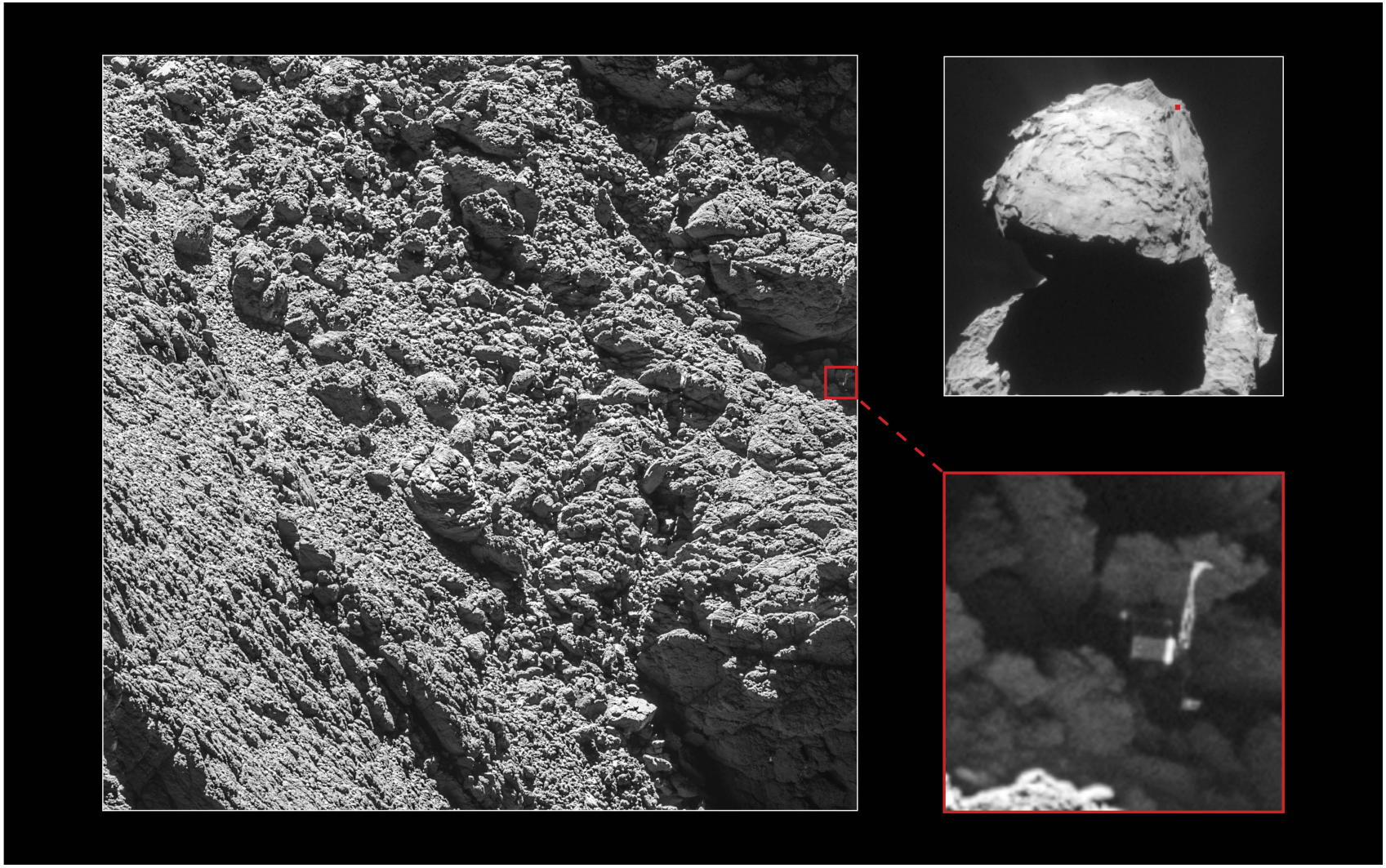


Bild: Main image, lander inset: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA; context: ESA/Rosetta/NavCam unter CC BY-SA 3.0 IGO

Einschläge auf der Erde

Barringer-Krater (Meteor Crater). Bild: Shane Torgerson via Wikimedia Commons unter CC BY 3.0

Meteoriten

- kohlige Chondrite – entspricht Asteroid Klasse C, Bildung im frühen Sonnensystem, äußere Regionen (> 3 AE), Chondrulen Reste des Ausgangsmaterials
- normale Chondrite — entspricht Asteroid Klasse S, Bildung im frühen Sonnensystem, < 3 AE.
- Eisen-Nickel-Meteorite – entspricht Asteroid Klasse X (M), Metallkern eines differenzierten, auseinandergebrochenen Asteroiden
- Achondrite – Mantelmaterial eines differenzierten Körpers, bei Kollision freigesetzt sehr selten: Mars, Mond
- Stein-Eisen-Meteorite – Übergangszone Mantel und Kern eines differenzierten Körpers

Meteoriten

Bild: C. Liefke

Hier: Pallasit, Eisen-Nickel mit Olivin-Einschlüssen

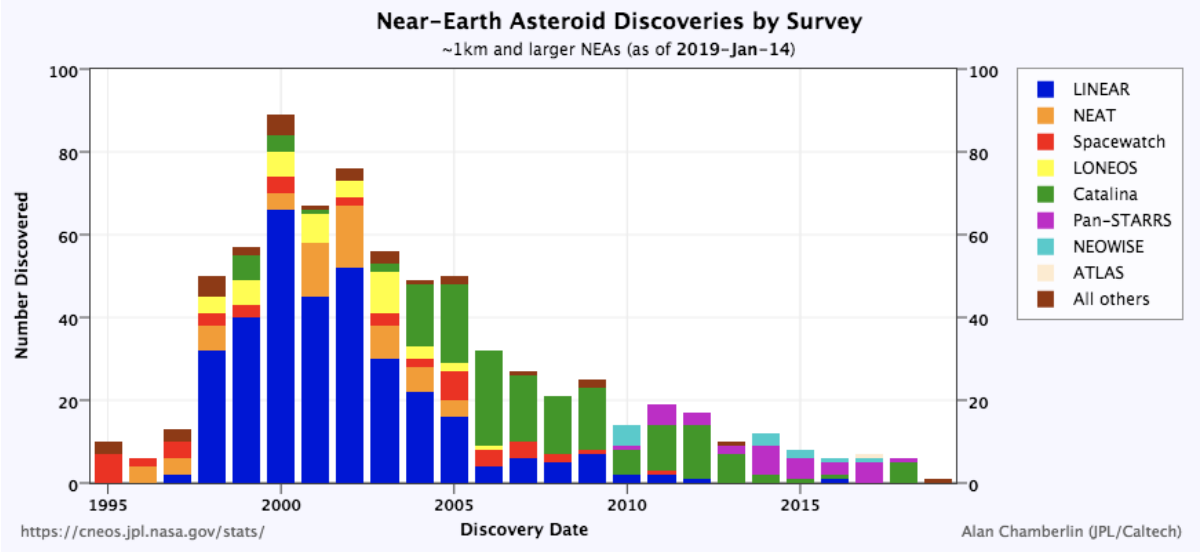
Interplanetarer Staub

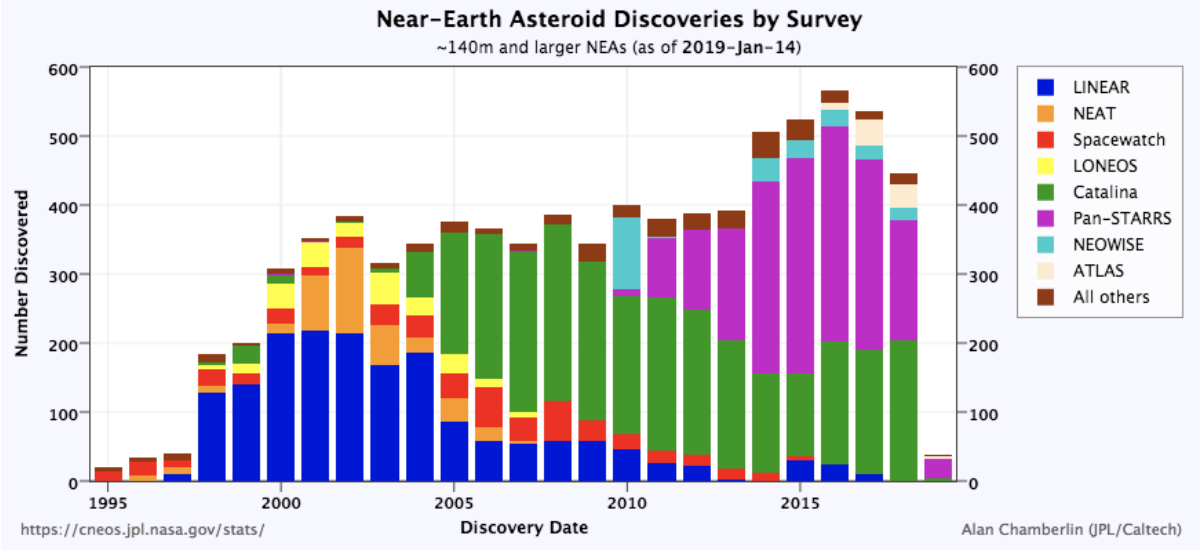
Eigenes Bild

Zodiakallicht: Streuung an Staubteilchen in Sonnensystem-Ebene

Größere Staubteilchen können als Mikrometeoriten zu Boden sinken, ohne spektakuläre Leuchterscheinung

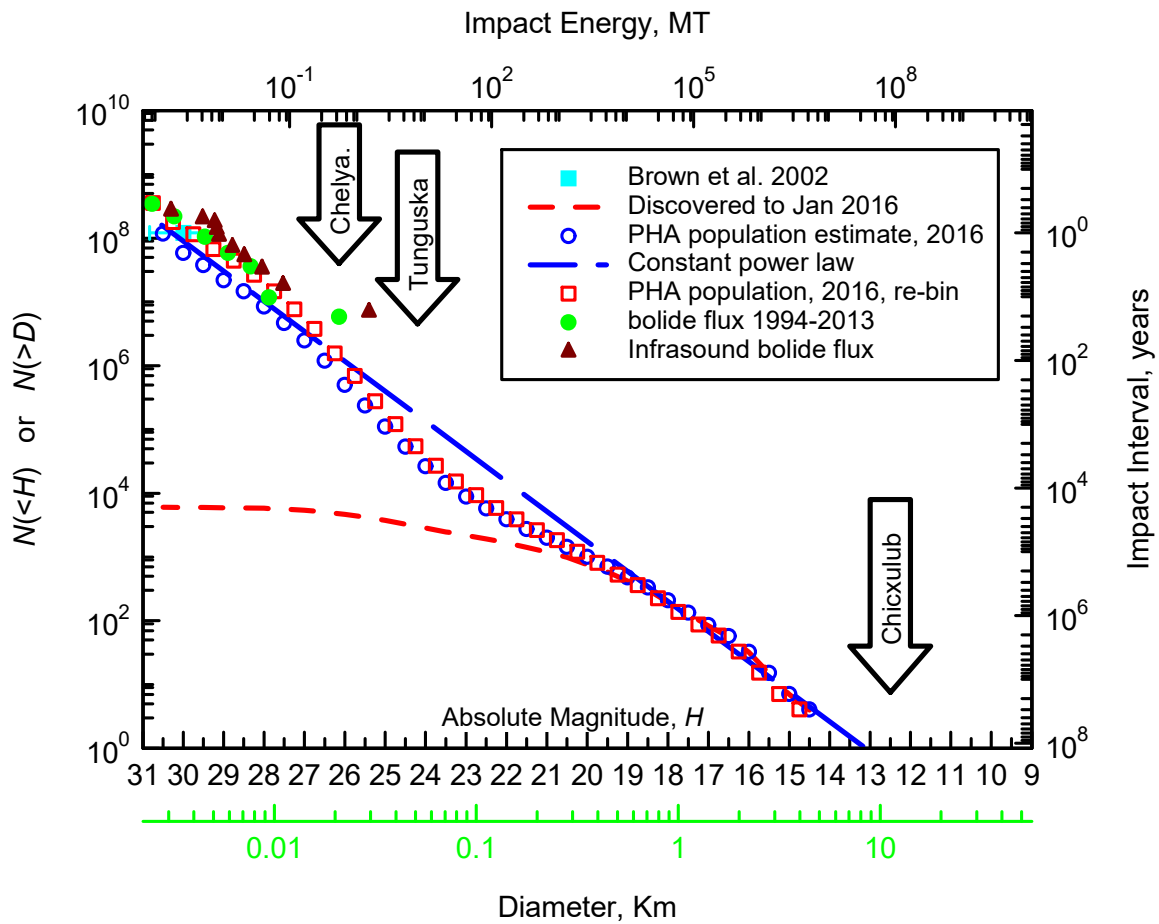
Einschläge


Near-Earth Asteroid Discoveries by Survey
~1km and larger NEAs (as of 2019-Jan-14)
Number Discovered
Discovery Date
https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/
Alan Chamberlin (JPL/Caltech)
LINEAR
NEAT
Spacewatch
LONEOS
Catalina
Pan-STARRS
NEOWISE
ATLAS
All others


Near-Earth Asteroid Discoveries by Survey
~140m and larger NEAs (as of 2019-Jan-14)
Number Discovered
Discovery Date
https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/
Alan Chamberlin (JPL/Caltech)
LINEAR
NEAT
Spacewatch
LONEOS
Catalina
Pan-STARRS
NEOWISE
ATLAS
All others

Einschlagswahrscheinlichkeiten

Wie groß ist die Gefahr?



G. H. Stokes et al., Report of the Near-Earth Object Science Definition Team, NASA (2017)