

Die Asteroiden - Dramatik und Schutt im Planetensystem

Von Univ.-Prof. Dr. Gottfried Gerstbach, Technische Universität Wien.

Vor 200 Jahren entdeckte der Arzt Olbers den 2. Kleinplaneten Pallas – Start der "Trümmerhypothese" und ihr mehrfaches Auf und Ab seit damals. Auch Philosophie, Kommunikationsfragen, Irrtümer und der Aufstieg von Himmelsmechanik und Technik prägten die Asteroidenforschung der ersten 150 Jahre.

1880-1925 machte J. Palisa (122 der ersten 1000 Entdeckungen) Wien zum Kleinplaneten-Zentrum. In Kooperation/Konkurrenz zu Heidelberg entstanden Forschungsmethoden und Daten, auf welche noch heute die Fotometrie, Bahntheorie und Weltraumtechnik zurückgreift.

Von 1900-1950 auf 1985 nahm die Zahl der entdeckten Asteroiden von 500-1500 auf 3000 zu, ihre Größe sank von ca. 100-30 km auf 10 km. Heute kennt man 130.000, worunter 1000 erdbahnkreuzende km-Brocken sind. Großteleskope suchen weitere mit CCD und Automation – ein Detailbericht ist für 2003 geplant.

In eisigen Fernen des Kuipergürtels ziehen tausende dunkle Transneptune ihre Ellipsen... Unlängst stellte das Hubble-Teleskop fest, daß einer dieser "Fast-Kometen" mit 1300 km Ceres übertrifft. Die ESA will mit Infrarot-Methoden bis 2015 auch diese Region des Sonnensystems erhellen.

1. Einleitung: alte und neue Streitthemen

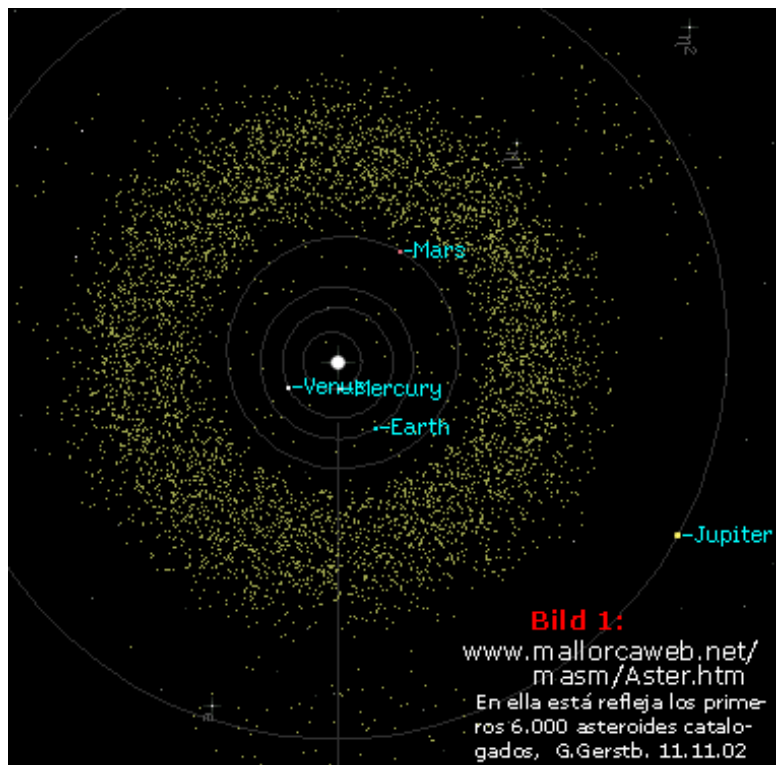
Bekanntlich kreisen zwischen Mars- und Jupiterbahn zahlreiche Asteroiden (Kleinplaneten), deren erster und mit 1000 km größter, die Ceres, 1801 entdeckt wurde. Als man 1802-07 drei weitere fand, waren zunächst fast alle Fachleute überzeugt, die Trümmer eines Planeten vor sich zu haben. Heute kennt man 130.000 der "Stücke", hat vier mit Raumsonden besucht und bevorzugt andere Theorien, doch unklar ist immer noch vieles.

Die Asteroiden sind für moderne Methoden prädestiniert. Was 1880-1900 Sternatlas, Großoptik und Fotografie war (Wettstreit Wien-Heidelberg), ist nun CCD, Infrarotmodell, Weltraumtechnik, Bahnsimulation, Kosmologie. Dennoch wechseln Zahlen und Hypothesen öfter als auf anderen Gebieten der Astronomie. Zwei Zitate von 1901 und 1957 mögen dies belegen:

Der kosmogonische Prozeß, aus dem zwischen dem Zeitpunkte der Absonderung des Jupiter und des Mars diese große Schar (damals ~500) kleiner Weltkörper hervorgegangen ist, hatte wahrscheinlich seine Ursache in... Oberflächenschichten des rotierenden Kerns des Planetensystems, durch die

eine Folge von zahlreichen vereinzelt Ablösungen kleinerer Massen... [Foerster p.254] – vor über 100 Jahren fast die moderne Sicht!

...legen die Vermutung nahe, daß dieser zertrümmerte Himmelskörper ein Planet zwischen Mars und Jupiter gewesen ist... Für die Trümmerhypothese spricht der Chemismus und Mineralbestand der



Meteoriten und ihre bruchstückartige Form... und daß bei manchen Planetoiden nicht die Kugelform, sondern eine unregelmäßig eckige Begrenzung anzunehmen ist [Heide].

Die Trümmerhypothese (1802) wankte bald, weil der 5. Asteroid 40 Jahre unentdeckt blieb. Dann galt sie bis 1890 und 1930-60, alternativ mit Modellen wie Jeans, vulkan., Planetesimal... Ist sie nun *endgültig* veraltet? Nein – sie ist neu aktuell für Ursprungs-Asteroiden der *Familien*, s. **Bild 5**. Seit 2000 verschwimmen die Grenzen zur Forschung über *Kometen*, *Meteorite* und *Kosmologie* [Ge.02]. Das führt uns zum Thema, das Astronomen öffentliche Aufmerksamkeit und Gelder sichert: die "Gefahr aus dem Weltall".

Zwei schwer sichtbare Asteroidentypen beschäftigen die Forscher speziell: Hunderte unbekannte km-Brocken, die der Erde manchmal nahekomen und ihr mehrmals pro Jahrillion einen Krater schlagen. Und zahlreiche dunkle Kuiper-Objekte jenseits des Neptun – ein Planetoiden- und Kometenreservoir für Äonen?

2. Planeten-Sphären und die "Lücke" im System

Schon Kepler schrieb 1596 im *Mysterium Cosmographicum* von der seltsamen Leere zwischen Mars und Jupiter, als er den 6 Planetenbahnen (die Erde galt ihm als dritte) die platonischen Regelkörper umschrieb. Mit 25 Jahren wagte er, die *Siebenzahl* zu postulieren: "*Inter Jovem et Martem interposui planetam*."

Später erörterten auch Philosophen die "Lücke", z.B. Christian v. Wolff 1741 (*Vernünfftige Gedanken von den Absichten der natürlichen Dinge*). Hegel publizierte 1801 nach Entdeckung der Ceres eine Dissertation zum Beweis, daß hier kein Planet sein könne.

Titius fand 1766 eine Formel für die Bahnradien, die als Titius-Bode-Reihe berühmt wurde (in Astr. Einheiten 0.4, 0.7, 1, 1.6, \ , 5.2, 10; Fehler $\pm 3\%$). Ihre Bestätigung am 1781 entdeckten Uranus galt als Beweis für *natürliche Harmonie*. Man war nur wegen der Lücke bei 2.8 (nach Kepler 2.7) unschlüssig.

Sogar bis Neptun/Pluto verknüpft laut meiner Analyse die Wurzel je 3 Planetenradien: z.B. Erde aus Venus & Mars, $(0.72 \times 1.52)^{1/2} = 1.04 \text{ \AA}$ (statt 1.00). Das Wurzelgesetz ist 1-5 % genau, nur Merkur und Pluto (als frühere Monde?) verzerren es dort auf 9%. Die "Lücke" folgt aus Mars 1.52 \AA , Jupiter 5.20 mit $\rightarrow 2.81 \text{ \AA}$.

Als Herschel den Uranus entdeckt, gibt das der Titius-Lücke hohes Gewicht. Astronomen wie v. Zach (Gotha) und J. Lalande (F) regen Suchprogramme nach dem Planeten Nr. 8 bzw. 5 an. Der erste Astro-Kongreß (Gotha 1798) diskutiert sie, J. Schröter (Lilienthal bei Bremen) gründet 1800 eine *Himmelspolizei*... Doch der erste Kleinplanet wird 1801 zufällig gefunden: als *Nebenprodukt* beim Messen von Sternörterern in Palermo.

Seitdem wird die "Lücke" nach und nach zur "Promenade der vielfältigsten Körper". 1868 sind 100 Asteroiden bekannt, vermeintlich Bruchstücke eines Großplaneten (diese Hypothese kehrt noch 2mal wieder). Man definiert den Hauptgürtel bei 2-3.6 \AA , doch die Bahnelemente variieren stark mallorcaweb.net/masm/Aster.htm – wie auch Rotation und Farbe. Als erdnah erweist sich 1899 der längliche ⁴³³Eros, er dient zur Vermessung des Sonnensystems. Apollo (1932) kreuzt sogar die Erdbahn (0.65-2.29 \AA), geht aber bis 1973 verloren...

Heute ahnt man: zwischen Mars- und Jupiterbahn kurven 2 Mill. Körper über 1 km Größe. Davon ~35 Asteroiden über 200 km (11 von 16 Funden 1801-51 plus 2 letzte 330 km-"Knödel" 1903 / 10). Dennoch ist die Gesamtmasse $< 1\%$ der Erde; künftige Funde werden das kaum ändern – z.B. weil seit 1930 alle $< 50 \text{ km}$ sind.

3. Ceres, Grippe, Gauß – ein Astro-Journal fehlt!

Bis 1810 waren ungenaue Sternörter ein großes Problem, man teilte sich den Himmel zur Bearbeitung auf. So ging G. Piazzi am 1.1. 1801 in Palermo einem Fehler im Sternkatalog Wollaston nach, wobei ihm ein *anderes Sternchen* auffiel – das am nächsten Abend verschwunden war – oder *weiter gewandert? Ein Komet?*

Am 3. Jänner war Piazzi sicher und sandte Extrapost an einige Astronomen, u.a. zu Bode nach Berlin. Bis 11.2. beobachtete Piazzi seinen 'Kometen', dann kam Schlechtwetter – und eine Grippe... Als Bode den Brief erhielt, überzeugte er Piazzi zwar bald vom neuen Planeten (den jener Ceres nannte), fand aber selbst nicht mehr – wie auch Piazzi nach seiner Gesundung.

Zur Vermeidung solcher Pannen hatte Zach 1798 die *Allg. Geogr. Ephemeriden* gegründet; doch viele Forscher teilten ihre Entdeckungen weiterhin in Privatbriefen mit. Dies änderte erst 1800 die *Monatliche Correspondenz* – ein Organ *nur* für Himmelskunde. Zach organisierte auch 2. Kongreß und *Astronomische Gesellschaft* bei Bremen – Voraussetzungen dafür, daß sich die Asteroidenforschung so rasch entwickelte [Bro.01, Ro.87].

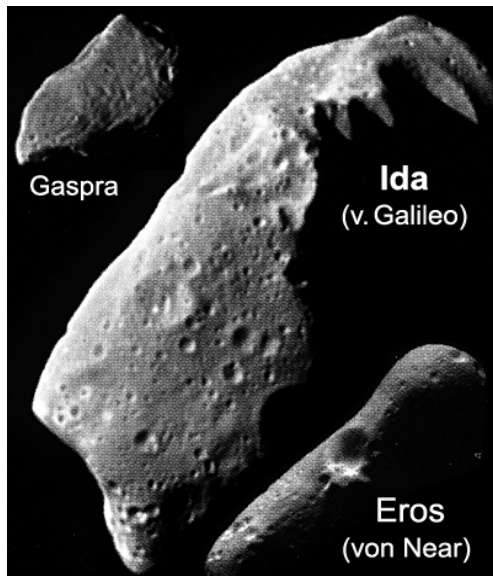
Der Bericht lockte viele Astronomen, aus Ceres' 3° langer Spur die Bahn zu berechnen. Die Resultate differierten stark, je nach Kreis, Parabel oder anderer Annahme [Ro.87]. Der neue Planet blieb verschollen – bis zur Lösung eines jungen Genies: nach C.F.Gauß' Daten wurde er am 7. 12. 1801 in Gotha wiedergefunden.

Ceres paßte mit 2.77 AE zwar ideal in die Titius-Lücke von 2.80, die Bahnneigung von 10° lag aber über allen Planeten. Bald war auch klar, daß sie kaum ein Drittel des Mars messen konnte. Immerhin, Keplers *Harmonie* war erfüllt.

4. Pallas bis Vesta: ein Arzt schreibt Trümmergeschichte

Auch ein *Amateur* konnte bald Ceres sichten: der Bremer Arzt Wilhelm Olbers. Er hatte die Gauß'schen Daten 'verlängert' und der Erfolg motivierte ihn zu weiterer Suche. Schon am 28. März 1802 entdeckte er die Pallas (Athene) – auf Ceres-ähnlicher Bahn, doch 34° geneigt.

Die Wissenschaft stand Kopf: *einen* Planeten hatte man erwartet – nun gab es *zwei kleine* – oder gar mehr? Oft diskutierte Olbers mit J. Schröter, der bei Bremen die größte Sternwarte Europas besaß und seit 1800 mit 23 Kollegen in 9 Ländern die *Himmelspolizey* unterhielt. Der Erfolg gab den beiden recht: Am 1.9.1804 fand dort Harding die Nr.3 "Juno" auf etwas engerer Bahn als ihre 2 Vorgänger.



Olbers' Suche wurde 1807 mit Vesta belohnt – das helle Gestein macht sie als einzige z.T. freizügig sichtbar. Wie Olbers Bode schrieb, wäre bei gutem Wetter der Erfolg 2-3 Wochen früher eingetreten... Am Berliner Teleskop hoffte Bode damals, den *Hauptplaneten* zu finden, *der vielleicht das Sonnenlicht von seiner Oberfläche nicht lebhaft genug zurückwirft...* [Wu.02].

Bild 2: drei von Raumsonden erkundete und vermessene Asteroiden

Olbers dachte schon 1802 an *einige* Körper. Nun schrieb er, *daß es von diesen Asteroiden sehr viele geben mag*". Ich sehe ihn als Ahnherr der Trümmershypothese und widme deren 200. Jahr und der Intuition des Arzt-Astronomen diesen Artikel. Er zeigte sie ja auch bei Bahnbestimmung, an Kometen und am

"Paradoxon".

Manche Astronomen numerierten die Planeten durch – Vesta war also 11 bzw. 8, Uranus umgekehrt [ICQ.02]; Yale blieb bis 1847 bei 11 Planeten (D. Olmsted, *Introduction to Astronomy*)! Andere sorgten sich um die Harmonie und wegen jährlich variabler Nummern – doch nicht lange:

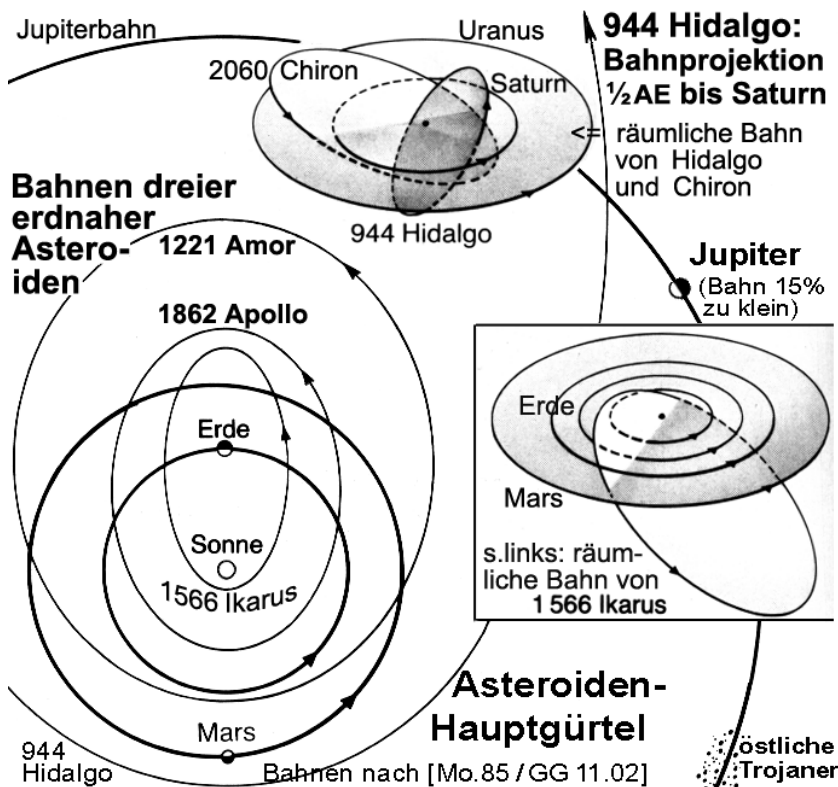
5. 40 Jahre Pause – dann geht's erst richtig los

So aufregend die Jahre 1801-07 für Planetenentdecker waren – nun trat eine lange Pause ein. Neue Modethemen kamen, verbesserte Bahnbestimmung, Größenmessung; man sinnierte über den Urplaneten, von dem doch mehr als 4 Teilchen übrig sein mußten. Olbers durchsuchte monatlich Jungfrau und Walfisch, "welche alle Asteroiden passieren müssen" – doch vergeblich. Dennoch wurden einige Kampagnen bis 1815 weitergeführt.

Erst 1845 fand Postmeister Hencke die Nr.5 Asträa, gewann einen Ehrensold und löste eine Entdeckungsflut aus. Bald gehörte ein Kleinplanet zum 'guten Ton' jedes Astronomen [Ro60]. Der Amateur Goldschmidt fand 14 in 9 Jahren, 1857 z.B. ⁴⁴Nysa, deren gelbe Scheibe eine seltsame Lichtkurve verursachte. Schon bei ¹⁰Hygiea (1849, 350 x 500km) war ähnliches aufgefallen.

Entdecker kamen oft zu Zeitungs- und Preisen. Auf der Pariser Gedenkmünze 1868 (Asteroid 100) sieht man vier: Watson, Hind, Goldschmidt und R.Luther. Dieser kam bis 1890 (Nr. 288) sogar auf 24 Asteroiden, was seiner Stadt Düsseldorf einiges wert war.

Die erfolgreichsten "Jäger" waren Johann Palisa, Wien (122 visuell ab 1874) und Max Wolf in Heidelberg (231 fotogr. 1892-1932). Sie führten neue Techniken ein, u.a. den 1. Sternatlas für



Suche, Identifikation und auch Astrophysik [Ge.02; Kap.8]. Palisa begann im Marinedienst bei Triest. Ab 1880 in Wien, reformierte er Bahnrechnung und Sicherung. Er lokalisierte den Hauptgürtel (*mean belt*) bei 2.2-3.6 AE (heute eher 3.3) und Bahnen bis zum Mars.

Bild 3: Regel- und Sonderbahnen

Max Wolf wurde ab 1892 zum fotografischen Reihentdecker. Er plante das *Bruce-Spezialteleskop* 2x2m/1:5 und 1898 die Landessternwarte Heidelberg. Sie wurde durch Wolfs späteren *Doppelspiegel* 2.8m/4 zum Planetoiden-Mekka, z.B. mit 35.000 präzisen Orten in 50 Jahren [Ro.60].

Palisa und Wolf verdoppelten die Entdeckungen auf 10-30 jährlich – doch ab 1900 wurden große Asteroiden selten: nur 5 >100km (2x 340km), ab 1930 alle <50km. Immer häufiger fanden sich spezielle Bahnen: die versetzt zu Jupiter kreisenden *Trojaner* entdeckten Wolf und

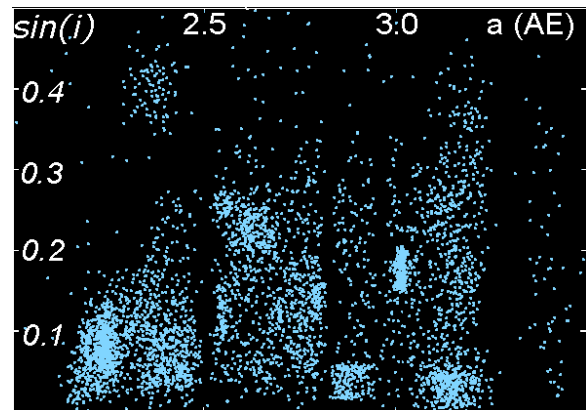
Kopff 1906-08, den 1. erdnahen *Amortyp* (Albert) Palisa 1911. Extrembahnen bis Merkur bzw. Saturn folgten 1920-49.

6. Planetoiden-Bahnen und Jupiter-Lücken

Seit Nr.100 (1868) stiegen die Entdeckungen steil: 300 1890, 500 1903, 700 1910, 1000 1923, 1300 1933. Manche gingen wieder verloren, trotz aller Bahnsicherungen. 1957 waren 1620 Asteroiden registriert (10 % über 120km bzw. 15^m), 1985 ~3000 [Mo.85], viele übrigens von Grazer Astronomen bearbeitet.

Bild 4: a-i-Diagramm des Hauptgürtels mit *Familien* (Asteroidencluster, vermutlich aus zersprengten Mutterkörpern). Bei 3AE Eos-, Koronis- und Themis-Familie.

90% laufen im Hauptgürtel von 2.1-3.3AE, doch 2-10x exzentrischer als die Großplaneten: $\hat{e}=0.15$, $\hat{i}=15^\circ$, z.B. ²Pallas 0.24, 35°. Jupiter destabilisiert viele Bahnen, ca. 10 Familien deuten auf zerbrochene Mutterkörper: Eos, Flora, Hungaria, Komois, Themis, Hilda... [ESA, Yu.02]. Asteroiden außerhalb des *Main Belt* können sich Mars/Erde nähern oder gehören zu Jupiter-Gruppen, ja sogar Neptun (Gesteinstypen siehe Kap.8b).



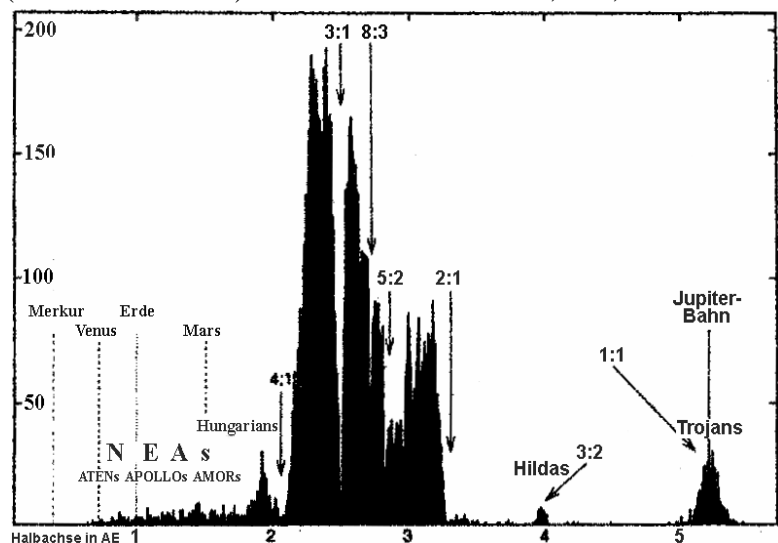
Tausende Funde der letzten Zeit verdanken wir NEA-Programmen (erdnahe Planetoiden) und CCD-Technik (Hubble, LINEAR, Voyager). Von heute **130.000** registrierten Bahnen kreuzen rund 1000 die Erdbahn und 5000 andere Planetenbahnen. Seit 1992 fand man 605 dunkle Transneptune mit 50-1300km; Pluto scheint nur ihr größter Vertreter zu sein – aber durch Eisschichten reflektiert er das Sonnenlicht viel heller als die Andern.

Einflüsse durch Jupiter

Wie schon Gauß vermutete und Kirkwood 1867 nachwies, wirkt Jupiter auf viele Bahnen durch langperiodische Störungen: es entstehen stabile Umlaufzeiten (Pallas 7:18, Hildagruppe 2:3), v.a. aber Bahnlücken in runden (kommensurablen) Verhältnissen wie 1:2, 2:5, 1:3 zum Jupiterumlauf – siehe [Bild 3-5](#):

Stabil sind Trojaner-Bahnen: dem Jupiter $\sim 60^\circ$ voraus- oder nachlaufend bei Librationspunkt 4 und 5. Seit 1906 kennt man Nr.1-3 (~ 200 km), 1960 bis Nr.20, nun 900 [Dvo.01]. Ich vermute analog zu [Be.83] tausende Körper bis km-Größe, die sich durch Kollisionen zerreiben, doch gleichzeitig von außen nachfüllen.

Bild 5: Verteilung von ~ 19.000 Asteroiden (Hauptgürtel, Near Earth Aster., Trojaner) mit Kirkwood-Lücken (Resonanzen bzgl. Jupiter-Umlauf).



7. Mars-Passanten und "Erd-Besucher"

5-10% der Asteroiden kreuzen Planetenbahnen: zu Mars / Erde oder außen zum Saturn. Computersimulation erklärt z.B. Hidalgo (2-10 AE , Bild 3) durch lange Störungen im Hauptgürtel. Doch eher driften Bahnen zu Mars (Amortyp) oder Erde (Apollo).

Der 1898 entdeckte ⁴³³Eros (1.13-1.78 AE , erdnah 0.15 AE) diente 1900/31 zu genauer Vermessung des Sonnensystems. Rotation und bizarre Form (15x35 km, Bild 2) wurde aus Lichtkurven analysiert. Eros wird durch Mars- und Erdstörungen in 20 Mill. Jahren zur Sonne stürzen.

Den 1. Amortyp ⁷¹⁹Albert (1.19-4 AE) entdeckte Palisa/Wien 1911. Leider ging er später in großer Distanz trotz 200 km \varnothing verloren, er wurde erst 2001 wiederentdeckt. So gab erst ¹²²¹Amor der Gruppe den Namen (1932, 1.08-2.76 AE).

Sonnennahe Bahnen

Manche Asteroiden laufen *noch* exzentrischer, doch gehen uns dann kleine Körper oft verloren. Zwei bekannte schneiden die Mercurbahn: ¹⁵⁶⁶Ikarus (1949, 0.19-1.97 AE) und der kometenhafte, von IRAS 1984 entdeckte ³²⁰⁰Phaeton (0.14-2.40 AE). Er hat im Perihel 200 km/s und trotz 600° *keine* kometare Emission [ESA 02].

Erdnahe Asteroiden (NEAs) und ihre Gefahren

Der erste *Erdbahnkreuzer* ¹⁸⁶²Apollo wurde 1932 entdeckt (0.65-2.29 AE), ging aber bis 1973 verloren. Seine Erdnähe 1982 war Anlaß für den Typnamen. Die nahe Passage von Hermes 1937 (2x Mondstanz) veranlaßte F. Watson zur ersten Abschätzung der Impakt-Gefahr.

Noch engere Passagen sind beim Typ ²⁰⁶²Aten möglich, der die Erdbahn *von innen* kreuzt: 1982 0.79-1.14 AE , \varnothing 7 km mit Erdnähe alle 10.000^a. Um 1990 kannte man 9 Aten und 63 Apollo, 1999 schon 60+415 [Dvo.01], heute 160+962 [MPC02]; manche kommen uns näher als der Mond.

Man rechnet alle 300.000 Jahre mit 1 km-Einschlägen, die Krater von ~20 km verursachen – also regionale Katastrophen. Demgegenüber war der Yukatan-Körper (Sauriersterben vor 65 Mill.J.) 10 km groß – oder 100x seltener. Der Tunguska-Meteor 1908 maß 50-70 m und zerplatzte 5 km über Sibirien, zerstörte aber Wälder bis 20 km Umkreis.

Daher erfaßt man bis 2007 alle NEAs ab 1 km → Suchprogramme laufen in USA (5), Europa (F, GB, 2 EU), Japan und China. Schutz vor Kollisionen ab 100 m wird es ab ca. 2010 geben: möglichst vollständige **Erfassung** der Körper, allenfalls ihre **Ablenkung** durch spezielle Raumsonden – wobei 2-3 Jahre vor eventueller Kollision schon wenige cm/s genügen.

Noch tauchen Asteroiden unvermutet auf: 2001 EC ~700 m am 26. 2. 01 in Erdnähe 1.47 Gm, blieb 5^d unbemerkt. Bisher *größter NEA* war 1937_{UB} Hermes mit ~1200 m in 730 000 km. Brocken von 200-800 m überraschen uns fast monatlich: 2002 NY40, dessen Bewegung 15-18. August von 5' auf 4°/h stieg, oder am 8.10. der 1 km-Amor 2002 TX. Am 9.12. und 8.1. werden die NEAs 2001 XX4 und 2002 AA29 Erdnähen <0.04 AE (5-6 Gm) erreichen [MPC.02].

8. Messung von Größe und Struktur – 1850 bis 2002

Kein Asteroid wird heller als 6-7^m, was schon bei Ceres und Pallas die Frage nach ihrer Größe aufwarf. Herschel schätzte beide ~300 km. Albedos von 0.2-0.7 (Mars, Jupiter) ergaben 20-40% des Mars oder ~2000 km – und baldige Zweifel (s. §4, *Bode 1806*). Noch heute können Kleinasteroide 50-150% falsch sein, weil die Albedos stark variieren (0.02 - 0.50). *Direktmessung* und Oberflächenerkundung ist ja erst seit ~1990 möglich (Raumsonden, Hubble).

Ceres hat in Opposition 0.77" und ist ab 25 cm Apertur als Scheibchen erkennbar. An Piazzis präzisiertem *Ramsden*-Okular verschwand es oft knapp hinter dem Faden, sodaß er *Erdgröße schätzte*, doch später bei Helligkeitsabnahme bezweifelte – als Fehlerquelle vermute ich Luftunruhe. Echte Winkelmessung mit Heliometer oder Fadenmikrometer wurde 1840 möglich und um 1880 durch *Repsold* etwa $\pm 0.1''$ genau [Ge.02].

8a. Meßmethoden 1900-2002 am Beispiel Ceres

Größenmessung mikrometrisch: visuelle Winkelmessung am Refraktor mit Faden + Meßspindel (Vergrößerung > 300);

fotometrisch: aus scheinbarer Helligkeit (Albedo A aus Schätzung, Farbe oder Phasenanalyse); kombiniert und *thermisch* (infrarot wirkt mit 1-A) an Sternwarten über 2000 m Seehöhe.

Methoden ab ~1960: 2D-Albedomodelle, Polarimetrie [ESA02, Widorn ~1970, s. Ha.01], Speckle Interferometrie [He.00], Radarabtastung mit Antennen > 100 m (Kap.9), Sternbedeckungen (besonders genau).

Raumsonden: fotografisch oder Video, bzw. ab 1985 mit CCD und digitaler Bildverarbeitung. Thermische Infrarot-Fotometrie (Albedo seit IRAS 1983), Modelle von Temperaturverteilung und Rauigkeit bei Rotation, z.B. ISO Infrared Space Obs. [ESA02].

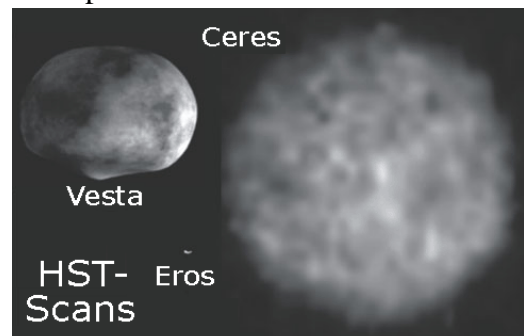
Resultate: 1900-30 600-900 km, 1935-55 Mittel 765 km, *fotometr.* 677 km $A \sim 0.1$ [Scha.60], kombiniert 1003 km [1985-99], *thermisch* 930 km ($A = 0.054$), Direktmessung HST **952 \pm 9** (Hubble 2001) – woraus ich als gewichtetes Mittel **960 \pm 20 km** berechne.

Fachbücher, Internet nennen "aktuelle Werte" von 900-1030 km.

Die Infrarotsonde IRAS gab **848 \pm 20 km** bei $A = 0.11 \pm 1$. Widersprüche bis 20% auch an andern Asteroiden will ich in einer Fortsetzung 2003 behandeln.

Die Masse der Ceres "wuchs" 2001 um 30% – aus Kleinasteroiden bei engen Begegnungen $\rightarrow 11-12 \cdot 10^{20}$ kg [Yu.02], woraus die Dichte 2.6 folgt: Kohligler Typ C mit etwas Eis + kleinem Eisenkern? Laut Hubble kugelig auf ± 14 km, rotiert in 9.075^h. Überraschend kaum Krater zu sehen, nur ein dunkleres 250 km-Oval [SuW01].

Bild 6: Ceres, Vesta und Eros im Hubble Space-Teleskop.



Andere Asteroide (Mittelwerte): Pallas 580 km (galt 1930 als größter), Juno 250, Vesta 530 km; ¹⁰Hygiea 430, ⁵²Europa 310, ⁸⁷Sylvia 270, ⁵¹¹Davidia 340 km. Etwa 35 Asteroide des Hauptgürtels sind über 200 km und $\sim 1200 > 30$ km [Be.83]. Bis 1 km schätzt man 1 Million, mit neuen ESA Infrarotdaten 2 Millionen.

Dies und einige Analogien lassen mich vermuten, daß die Zahl der Körper etwa quadratisch zum Kehrwert ihrer Größe zunimmt. Für Meteoriten und kosmischen Staub setzen manche den Exponenten auch höher an – bis zu 3 oder 3½.

8b. Form und Typen der Asteroiden

Große Planetoiden sind fast kugelig – bei 50-100 km aber kaum ein Viertel [Be.83]. Seit ~1850 analysiert man die Lichtkurven der Rotation (3-20 Stunden). Olbers vermutete schon 1802 an Pallas eine leichte Asymmetrie, deutlich ist sie bei ¹⁰Hygiea (1849, 350 x 500 km). Körper von 300 km sind meist 5-15% deformiert, 150 km 10-50% [Ge.02]. Manche Asteroiden dieser Größe haben Linsen- oder Knochenform (⁴⁴Nysa, ²¹⁶Kleopatra; **Bild 8**); kleinere wirken oft wie Bruchstücke (Ida, Eros, **Bild 2**). Im Juli maß HST das KBO Qaoar trotz nur 0.04" mit 1300 ± 190 km.

Die Albedo (Rückstrahlung) liegt bei großen Planetoiden um 0.10, variiert aber von 0.02 bis 0.40 (laut IRAS 0.55). Sie hängt vom Sonnenabstand ab (Innengürtel hellere Silikate, außen

Karbonate), also von der Entstehung. Vielfalt herrscht auch in Farbe (kohlig; dunkelrot bis weißlich-gelb) und Struktur. Seit ~1975 klassifiziert man wie Meteorite [He.57, Mo.85]:

Typ C Kohlenstoff-Chondrit, $A < 0.07$, Gestein schwarz-krümelig mit Eis. **50-75%**, v.a. äußerer Hauptgürtel. Ceres 0.06, Hygiea 0.04. Jenseits Hauptgürtel auch dunkelrot, einige Trojaner.

Typ S hellgrau, rötlich, 0.08-0.23. Wie Eisenstein oder Chondrit + Olivin. **15%** (innen 40, Mitte 0). Juno 0.15, Silikat + NiFe wie $\frac{3}{4}$ der **Meteorite**. Ähnlich R-Typ (hell, Innenrand) 5%.

Typ M metallhell 0.09-0.18, Musterbeispiel ¹⁶Psyche. Fe+Ni ohne Silikat; kollidierte Kerne? Nur 3-5%, eher in Mitte des Asteroidengürtels.

Typ P+D dunkelrot, ~**15%**; bei 4Æ bzw. Trojanern primär. Ferner seit 1992 Transneptune (Kuiper Belt): dunkle Kerne früherer Kometen oder evt. Jupitergruppen.

Vermutlich sind Asteroide protoplanetare Restbestände, doch ähnlich wie Merkur bis Mars entstanden (Planetesimal-Akkretion plus 'Metalle'). Daher sollten sie Krater zeigen, was 3 Raumsonden 1991-99 bestätigten (**Bild 2**). Auf Eros überwiegen Felsbrocken die Kleinkrater, was auf Schutt oder Konglomerat hindeutet. Manche Asteroide sind zweigeteilt (**Bild 8**), poröser als erwartet oder haben winzige Monde.

9 Joh. Palisa und Spitzenforschung – nach 100 Jahren

Johann Palisa ist mit Wolf das "Doppelgestirn" der Asteroidenforschung (Kap. 5). Doch fast wichtiger als die 122 Entdeckungen sind seine Arbeiten für Bahnsicherung und Sternatlanten.

Als Palisa 7 Jahre an der Wiener Sternwarte Erfolg hatte, führte Wolf 1892 in Heidelberg die fotografische Suche ein – bald eine Konkurrenz. Da Palisa mit "dem 68cm" ein neues Großteleskop langer Brennweite hatte, blieb er bei visuellen Methoden; er war ja auch Mond- und Sonnenforscher. Die Finsternisexpedition 1883 Tahiti nutzte er zur Suche nach *Vulkanus*, der wegen Merkurs Periheldrehung innerhalb dessen Bahn vermutet wurde.

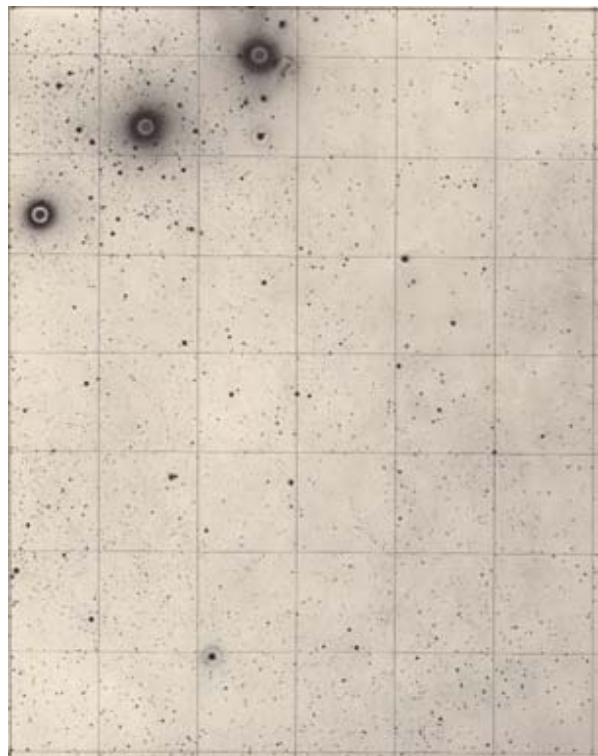
Seit 1895 kooperierte er mit Wolf, woraus 1900 der weltweit erste "Photograph. Sternatlas Palisa-Wolf" in 210 Blättern >A4 entstand. Er wurde ab 1907 von J. Rheden auch in Wien (*Normalastrograph* 1'/mm) genutzt → Probeblätter im Internet [Pa.10].

Bild 7: Photographischer Sternatlas Palisa-Wolf, Wien 1900. 210 Blätter 11x9Zoll, fot. Heidelberg. Blatt Orion Südwest.

Bis 1902 editierte Palisa 2 Sternkataloge mit 4700 genauen Örtern – wichtige Grundlage zur Bahnsicherung, die er auch für Heidelberger Entdeckungen übernahm. Dafür erhielt er 1906 den Preis der Pariser Akademie.

Fünf seiner Asteroiden sind heute aktuelle Forschungsthemen:

Der erste *Amor*-Planetoid ⁷¹⁹Albert wurde zwar 1911 auch in Dänemark gemessen und auf 30 Gm Distanz geschätzt, ging aber doch verloren. Erst 2000 fand man ihn am 90cm Spacewatch Teleskop Kitt Peak, Arizona – nach 9 Jahren intensiver Suche des MPC, als einziger von 14.778



benannten Asteroiden mit unbekannter Position. Man nützt ihn nun z.B. für Studien zu Jupiterstörungen.

Zwei Asteroiden Palisas wurden von Raumsonden besucht: ²⁵³Mathilde von *NEAR* 1997, und ²⁴³Ida von *Galileo* 1993 (**Bild 2**); im Vorbeiflug wurde der 1 km-Mond *Dactyl* entdeckt. Mathilde (1885, 1.94 \AA) zeigte auf 59x48km mindestens 5 tiefe Krater über 20km! Da nicht zerbrochen, muß sie sehr porös sein (Typ C, Albedo 0.04). Die Sondenablenkung ergab die Dichte 1.4, sodaß Mathilde statt fest eher ein schaumig verdichteter Haufen Geröll sein dürfte.

Mit Funk vermessen wurde hingegen ²¹⁶Kleopatra (1880, **Bild 8**) Anfang 2000. Das 300m-Radar Arecibo zeigte statt *kosmischer Schönheit* einen "metallenen Hundeknochen" 215x90km. Haben sich im skurrilsten der nur 50 eindeutigen Typ M-Mitglieder Bruchstücke zweier Planetoidenkerne vereinigt, Schmelzkörper aus Gestein & Eisen vom frühen Sonnensystem? Es mag eine heftige Kollision ohne völliges Zerbröseln gewesen sein – oder sanftes Anschweben. Bei Dichte 3.5 ist der Zusammenhalt nicht fest, sondern eher ein poröser, von Kleinkratern oberflächlich zerwühlter Schutthaufen.

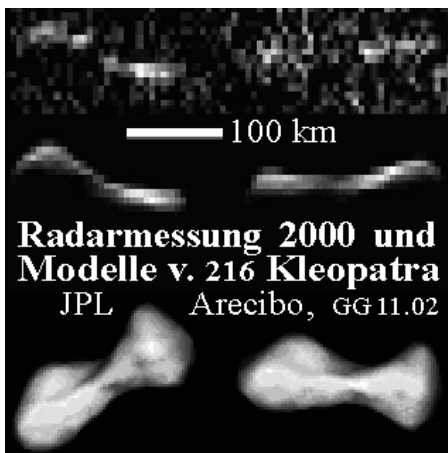


Bild 8: ²¹⁶Kleopatra Juli 2000. Oben Radarmessung mit 300m-Antenne Puerto Rico, Mitte gefilterte Daten, unten 3D-Modell.

Am 20. 1. 03 startet die ESA-Sonde ROSETTA zum Kometen Wirtanen. Nach *Swing-by* an Mars und Erde soll sie 2006-08 zwei Asteroide passieren [ESA02]. ¹⁴⁰Siwa ist Palisas Nr.3 (1874 Pola), dunkler Typ C mit 110km. Seine Lichtkurve ist kompliziert (Rotation 18 oder 22^h), doch dürfte er anders als Mathilde und Kleopatra kaum durch Kollisionen verändert sein: Fotos und Daten aus 3500km lassen viel Neues erwarten. Der andere Asteroid ist nur ~3km groß.

Diese 5 "Spätfolgen" Palisas sind wohl *noch* erfreulicher als die Sternboten-Artikel zu seinem Gedenkjahr und den Grazer Asteroidenforschern [11.00, 5.01]. Im Internet künden 800 Seiten von ihm: von Kroatien über Deutschland bis USA – was wohl manche der folgenden Aktivitäten angeregt hat.

10 Amateure suchen und sichern NEOs

Zur Ortung aller *Near Earth Objects* (NEOs, Kap.7) ab 1 km gibt es rund 10 Suchprojekte in USA, Europa und Ostasien, die meist halbautomatische 1m-Kameras mit CCD betreiben. Am bekanntesten sind LINEAR, die EU-Projekte Spaceguard und EARN, JPL (letztere 2 auch Radar), NEAT und Spacewatch.

Alle Entdeckungen (LINEAR 1-3 pro Nacht) brauchen zur Bahnsicherung rasche Verfolgung (*follow-up*), was meist Amateure und Volkssternwarten übernehmen. NEOs sind in MPC-Listen durch rasche Bewegung (Grade pro Tag) kenntlich. Potentiell gefährlich (PHA) heißen Körper >200m bei Erdnähe <0,05 \AA (mind. 22^{mag}). Derzeit kennt man 300 PHAs, doch für 1000 Jahre keine gefährlichen.

Gute CCD-Sensoren für Sternfreunde

wurden 1999 erschwinglich [Ge.02], was der früher teuren *Asteroidenjagd* Aufschwung gibt. CCD spart Filme, spricht Jugend an und bringt schon 25cm-Spiegel zu hoher Leistung. Viele Volkssternwarten bilden nun Fachgruppen. So beobachtet Essen jährlich 20-30 Kleinplaneten und stützt mit ~100 Messungen deren Bahnen – oft schon ½Tag nach dem Aufruf. Unter 20

deutschen Stationen führt Heppenheim bei Darmstadt seit 1998 mit 1500 Örtern von ~300 Asteroiden, darunter 44 Entdeckungen.

In Drebach, Sachsen fand am 11. März A. Knöfel (VdS) den PHA 2002 EL6. Er hat 1 km und wird die Erde nur 80.000 km verfehlen – aber erst 2080. Andere werden zu *Archiv-Entdeckern* an alten Fotoplatten und verhelfen so auch NEOs zu guten Bahnelementen.

Dazu sind Programme wie *Astrometrica* (H. Raab) wichtig, was uns nach Linz-Davidschlag führt. Mit Erfahrung suchen E. Meyer / E. Obermair die besten MPC-Daten durch, finden Schnellläufer, Bahnfehler – und 1996 bis 2000 40 NEOs. Umso schöner, im *Sternboten* auch von Wiederauffindung "fremder" Entdeckungen zu lesen!

Da die Entdeckungsrate durch Automatisierung rasch steigt (wegen der PHAs nötig!), sollten die Amateure nachziehen. Zu zweit gelingen 3-6 Objekte pro Nacht, was sich 5-fach steigern ließe (Faktor meines *CCD-Projekts Lotrichtung*). Im Juli fand ein US-Senatshearing für finanzielle Förderung von Amateurgruppen statt – das wäre meines Erachtens ein ideales EU-Projekt für Kooperationen einiger Astrovereine: Zukunftssicher wie der ständige Meteorregen – man muß ja nicht auf den nächsten "Tunguska" in 100-500 Jahren warten!

Literatur

- Beatty K. et al., 1983: *Die Sonne und ihre Planeten*. 242 p., Physik Verlag Weinheim.
- Brosche P., 2001: *Der Astronom der Herzogin... Franz X. v. Zach*. 304 p., Verlag H.Deutsch, Frankfurt.
- ESA Science 2002: [http://sci.esa.int/...](http://sci.esa.int/); Mueller T.: *ISO and Asteroids*. ESA-Bull.108, Paris-Darmstadt.
- Foerster W., 1901: *Die Erforschung des Weltalls*. Band 3 "Weltall und Menschheit", p.1-288, Deutscher Verlag Berlin-Wien.
- Gerstbach G., 2000: *Auge, Sehen – und der lange Weg zu digitalem Erkennen* (mit kurzer Einführung in die CCD-Technik). *Sternbote* 43/8, p.142-157, Wien.
- Gerstbach G., 2002: *Astronomie. Vorlesung TU Wien*. Skriptum Teil 4, Sonnensystem, ~30 p, Wien.
- Haupt H., 2001: *Eine zweite Blütezeit der Kleinplaneten-Astronomie...* *Sternbote* 44/5, p.86-90, Wien.
- Heide F., 1957: *Kleine Meteoritenkunde*. 142 p., Verständliche Wissenschaft Band 23, Springer Berlin-Heidelberg.
- Herrmann J., 2000: *dtv-Atlas zur Astronomie*. 14. Auflage, 288 p., dtv, München.
- ICQ, 2002: <http://cfa-www.harvard.edu/icq/icqPluto.html> ; Asteroiden, NEAs, TNO und Kometen.
- MPC, 2002: *Minor Planet Center, SAO...* <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html> Circ.& Dienste, Daten zu NEO, Stationen, Ephemeriden, NEA-Bahnen (Amor, Apollo, Aten, close approaches)... Mass., USA.
- Moore P. et al. 1985: *Atlas des Sonnensystems*. 462 p., Herder Freiburg - Wien.
- Palisa J., Wolf M., 1910: *Photographische Sternkarten*. 180 bzw. 210 Blatt 11 x 9", Wien (Reprint → info@schicklerart.com)
- Roth G., 1960: *Die Planetoiden*. 74 p., Orion Bd.137, Oldenbourg München.
- Roth G., 1987: *Kosmos Astronomie Geschichte*. 192 p., Kosmos Stuttgart.
- Schäfers, Hoerner 1960: *Meyers Handbuch über das Weltall*. 370 p., Bibliogr. Inst. Mannheim.
- Sterne und Weltraum: *Kometen-Special* 1997/3, ~300 p.; Heft 2001/10, Heidelberg.
- Yugoslav Astronomers 2002: *National Conference XIII, 17-20 Oct., Section 4: Asteroids, families, gravitational perturbations...* <http://astro.matf.bg.ac.yu>
- Wuchterl G., 2002: *Die Ordnung der Planetenbahnen*. *Sterne & Weltraum* p. 24-33.

"Vorsichtige" Bemerkung zu "Gefahren und Journalismus"

Trotz großem Respekt vor der Leistung all dieser Beobachter- und EDV-Gruppen, von denen **Kapitel 10** nur kurz erzählen konnte, sei ein wenig Kritik geäußert:

Bei Berichten oder Interviews über Messung, PHAs oder gar "Turin-Stufe 6" (Dez. 2001) übertreibt man aus Arbeitsfreude und eigener Anspannung leicht die Gefährdung durch solche Asteroiden... Dann muß nur ein frustrierter Reporter zur Unzeit anrufen (oder eine Rückfrage unterlassen), und viele Leser kriegen Angst vor dem nächsten Krater. Manchmal auch in seriösen Zeitungen, wie unlängst in Deutschland...

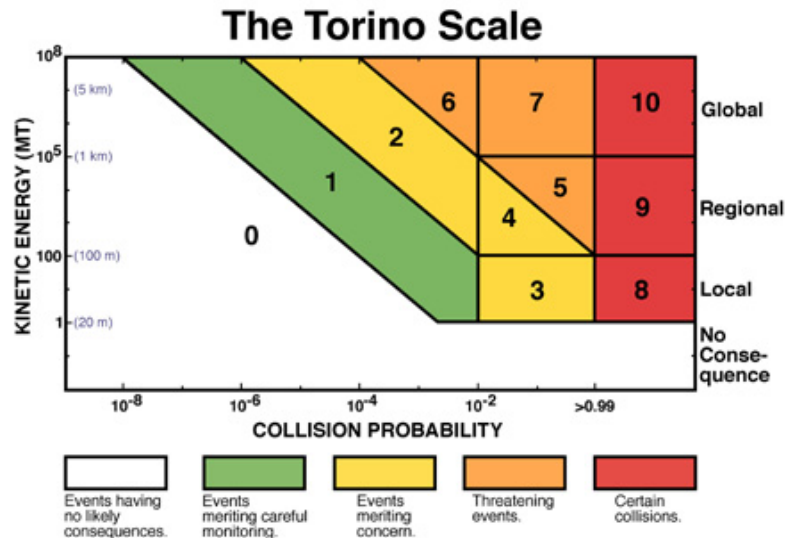
Die Gefahr gibt es, aber 1000x kleiner als durch Verkehrsunfälle (Kap.8). Alle 2-500.000 Jahre kommen 1km-Stücke, doch in etwa 10 Jahren werden uns Such- und Welt-raumprojekte selbst *davor* zu 90% schützen. Die Wahrscheinlichkeit von Tunguska-Meteoriten wie 1908 (ca. 60m) wurde im Juli von 200 auf **1000 Jahre** herabgestuft – auch solche eher glimpflichen Fälle sind künftig vermeidbar.

Just bei Manuskript-Abschluß Nov. 02 raste die am 12.11. entdeckte Nr. 2002 VS85 in 0.032AE mit 21°/Tag durch den Eridanus – vielleicht ein Stück Ur-Vesta? Im Jänner werden wir mehr wissen, dank ISO oder Arcibo-Radar...

Plus –

Die Forschung konzentriert sich auf automatische & Raumteleskope, CCD, Infrarot, Sonden zu Asteroiden (Kombiprogramm mit Kometen),

ferner weitere Suchprogramme (*innerhalb* der Erdbahn, außerhalb 60AE und der Ekliptik), Meteorlabors, Spektrometrie, Röntgen und Radar (ab 2001). Die Schlagzeilen aber beherrschen tüchtige Entdecker "gefährlicher Himmelsboten".
(;-) G. Gerstbach, 12.02.



und Minus

Ein "allzu anregendes" Beispiel:

Die Nasa ließ für ihre Homepage ein "Ereignis" zeichnen, das die nächsten **Milliarden Jahre** mit 99.9...% Wahrscheinlichkeit **nicht** eintreten wird ...