

DIE IM FOLGENDEN PRÄSENTIERTEN INHALTE GEBEN AUSSCHLIESSLICH DIE ANSICHTEN DES AUTORS WIEDER; SIE STELLEN IN KEINER WEISE OFFIZIELLE ODER AUF ANDERE WEISE GENEHMIGTE ODER ABGESEGNETE AUSSAGEN, ABSICHTEN, PLANUNGEN ODER ZIELE DES DLR ODER DER MIT IHM VERBUNDENEN ORGANISATIONEN DAR.

# Asteroidenalarm !

...oder : “~~Houston~~ *Frascati*, haben wir ein Problem?”



Wissen für Morgen

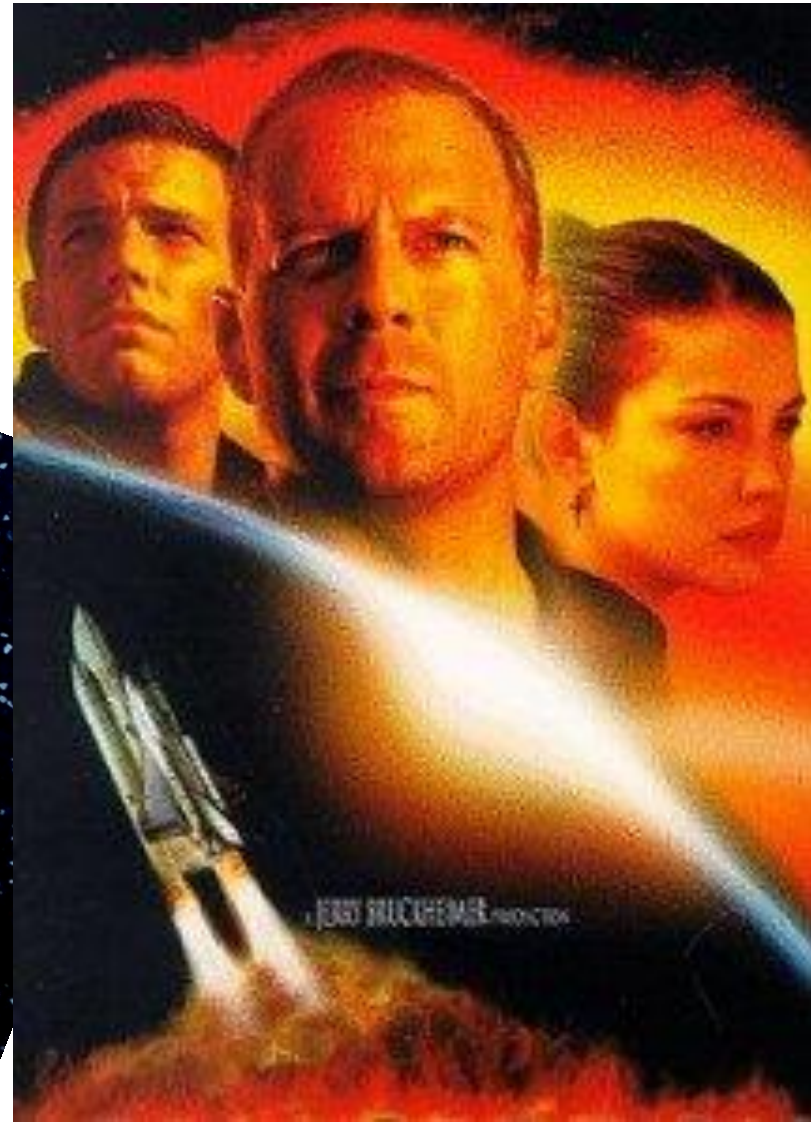


Es war einmal...



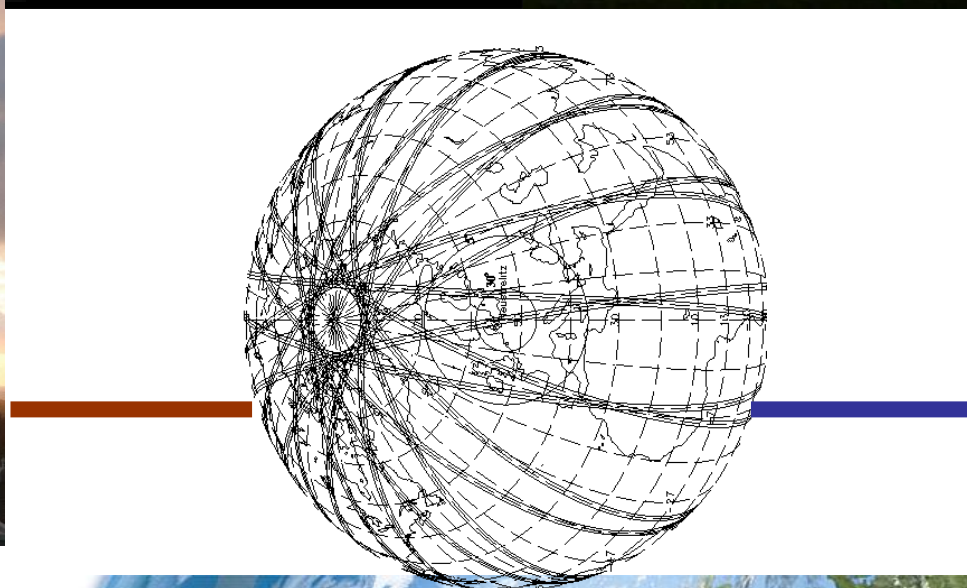
...? „Ja klar!“ ...

BRUCE WILLIS WISSEN



*Es war einmal...*

**... vs. „Ist doch längst erledigt ... oder ?“**



Bilder: i.o., i.u., o.m.: NASA; o.m.: UdSSR /  
Videokosmos via rasmuhs.com; r.o., u.m.:  
DLR; r.u.: U.S.Navy; i.o.e.: buddhaland.de



# Bleibt alles anders – ein Wintermärchen geschah...





*... ?? ... Win-ter-mär-chen !?!*



... Ja.

... Warum?



← 440 kt TNT →



Chelyabinsk – 15FEB2013 – 40 km S & 23 km über 1¼ Millionen Menschen

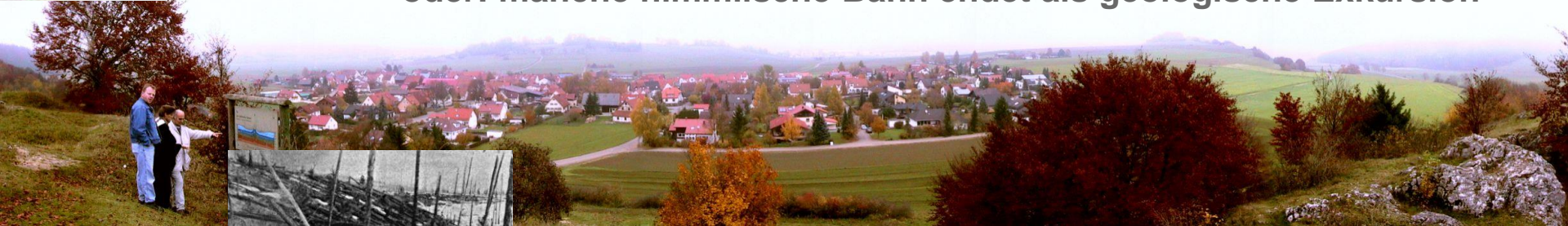
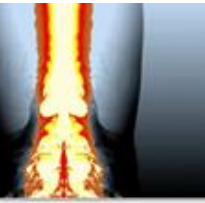


- **keine Toten** – weder unmittelbar noch in Folge
  - nur 2 Schwerverletzte – 52-jährige Frau mit Wirbelsäulenverletzung ausgeflogen
  - 112 stationär behandelte Verletzte
  - insgesamt 1491 Menschen in ärztlicher Behandlung, davon nur 311 Kinder
- 6040 Wohnblocks, 718 Bildungseinrichtungen, 293 Krankenhäuser und Kliniken, 100 kulturelle Einrichtungen und 43 Sportstätten reparaturbedürftig beschädigt
- Fernwärmenetz bei -15°C Tageshöchsttemperatur und tausenden Gebäuden mit zerstörten Fenstern nicht zusammengebrochen
- **und: über >100 km blauer, eisklarer Morgenhimmel kurz vor Sonnenaufgang**



# was vorher immer schon anders war, aber viele Astronomen sich nie gefragt zu werden trauten...

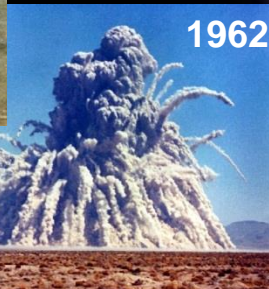
– oder: manche himmlische Bahn endet als geologische Exkursion



**1908:** Tunguska-Ereignis durch Augenzeugen als Einschlag identifiziert



**1960:** Meteor Crater durch Hochdruckminerale bestätigt



**1962:** Sedan-Krater kerntechnisch erzeugt

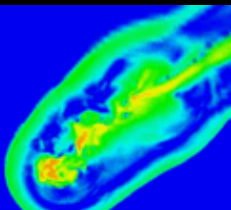


**Alvarez-Hypothese zum Aussterben der Dinosaurier (K-T-Wende) :1980**



**Shoemaker-Levy 9 Großeinschlag ‚live‘ :1994**

**umfassende Tunguska-Simulation :2008**



Bilder: pan.: H. Raab (Westal); diag.: Mark Boslough / Sandia Natl Labs (2); Kulik Expedit., USGS; U.S. DoE (2); G. Shoemaker / USGS; http://NASA (3) – alle via wikipedia





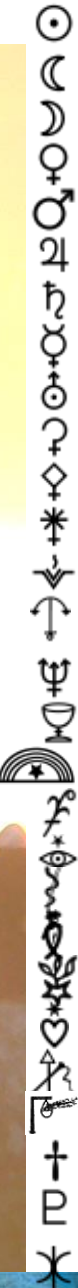
# Praktische Astronomie: ...und es betrifft sie doch.

- Asteroiden: Eine Entdeckung des 19. Jahrhunderts
- „zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatten die Astronomen das Sonnensystem im wesentlichen verlassen“
- professionelle Astronomie
  - ↔ wirklich relevante große Fragen des All-tags:
    - Stern- & Galaxienentwicklung, Kosmologie, Relativität, Strahlung
    - das „unphysikalische“ Sonnensystem kommt in Verruf
      - „Marskanäle“, „Planet X“ ↔ Science Fiction, SETI
- „***giggle factor***“: das Sonnensystem wird teleskopisch eher minderbemittelten Instituten sowie allerlei zufällig interessierten Amateurastronomen und Freizeit-Bahnenrechtern überlassen ...



# moderne Astronomie: von den Hirten im Felde zum Lenkungsausschuß

- die Astronomie hat sich traditionell immer eher mit der Gesamtheit der Objekte und ihrer beispielhaften Klassifizierung beschäftigt
- wechselnde Ziele:
  - prähistorisch: Jahreszeitbestimmung für die nomadische Jagd
  - vorgeschichtlich: Kalendererstellung für die Landwirtschaft
  - Antike ... Mittelalter: Astrologie im Dienste der Mächtigen
  - Aufklärung und Neuzeit: Begründung des Determinismus
- heute: gesellschaftlich geplante Arbeit nach wissenschaftlichen Zielvorhersagen zum nachprüfbareren Nutzen des Steuerzahlers
  - Wissenschaft wird heute durch Gremien meist nach als sicher begutachteten Erwartungen bewertet und finanziert
  - Neugier kann nicht mehr frei unter dem Mantel von Elite oder des Aberglaubens mit fachlicher Ausrede verfolgt werden
- ...bei den Hirten waren's schließlich auch Überstunden ;-)



# Astronomie: eine Geschichte aus Augen, Geist und Papier

- >5000 Jahre gefestigte Tradition in der Beobachtung und Deutung von Himmelszeichen für die menschlichen Sinnfragen und das Verständnis der Zukunft – und in zunehmender Abstraktion

- Saat und Ernte  $\Leftrightarrow$  Astrologie und Religion  $\Leftrightarrow$  Physik und Kosmologie

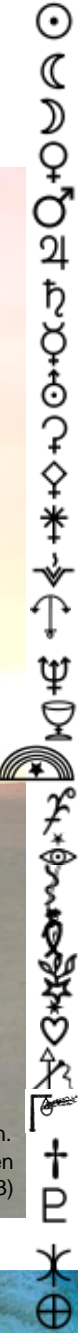
- alle planetaren Objekte:

*eine* bewegte Punktquelle zwischen *vielen* stationären Punktquellen

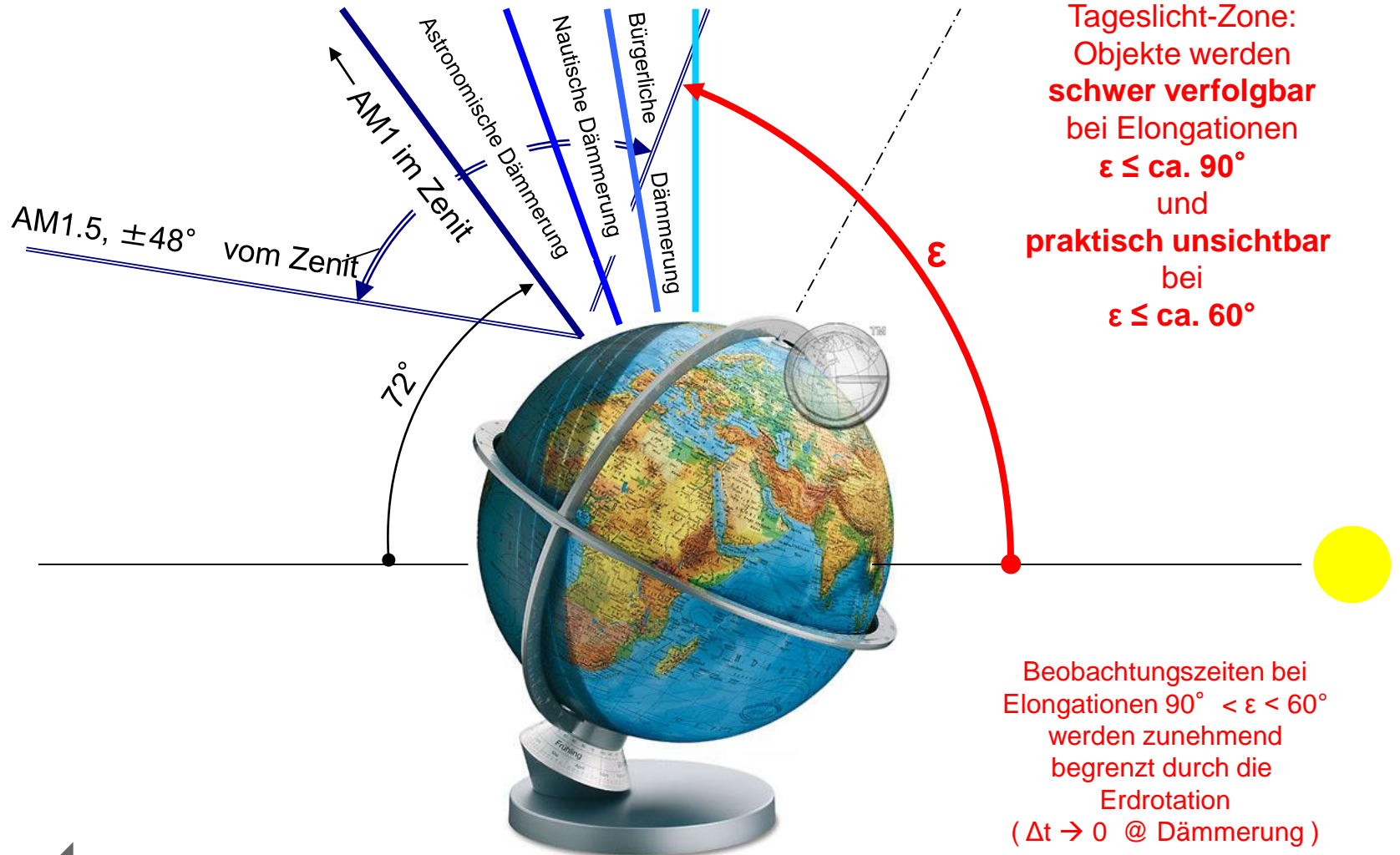
-	πλάνητες ἀστέρες	$\Leftrightarrow$	planetes asteres	$\Leftrightarrow$	Wandelsterne, oder
	πλανήτοι	$\Leftrightarrow$	planētoi	$\Leftrightarrow$	Wanderer
-	5	mit bloßen Auge	(seit vorgeschichtlicher Zeit) *		
-	464966	mit Teleskop	(bis jetzt) **		

\* Uranus und Vesta können unter sehr günstigen Bedingungen mit dem bloßen Auge erkennbar sein.

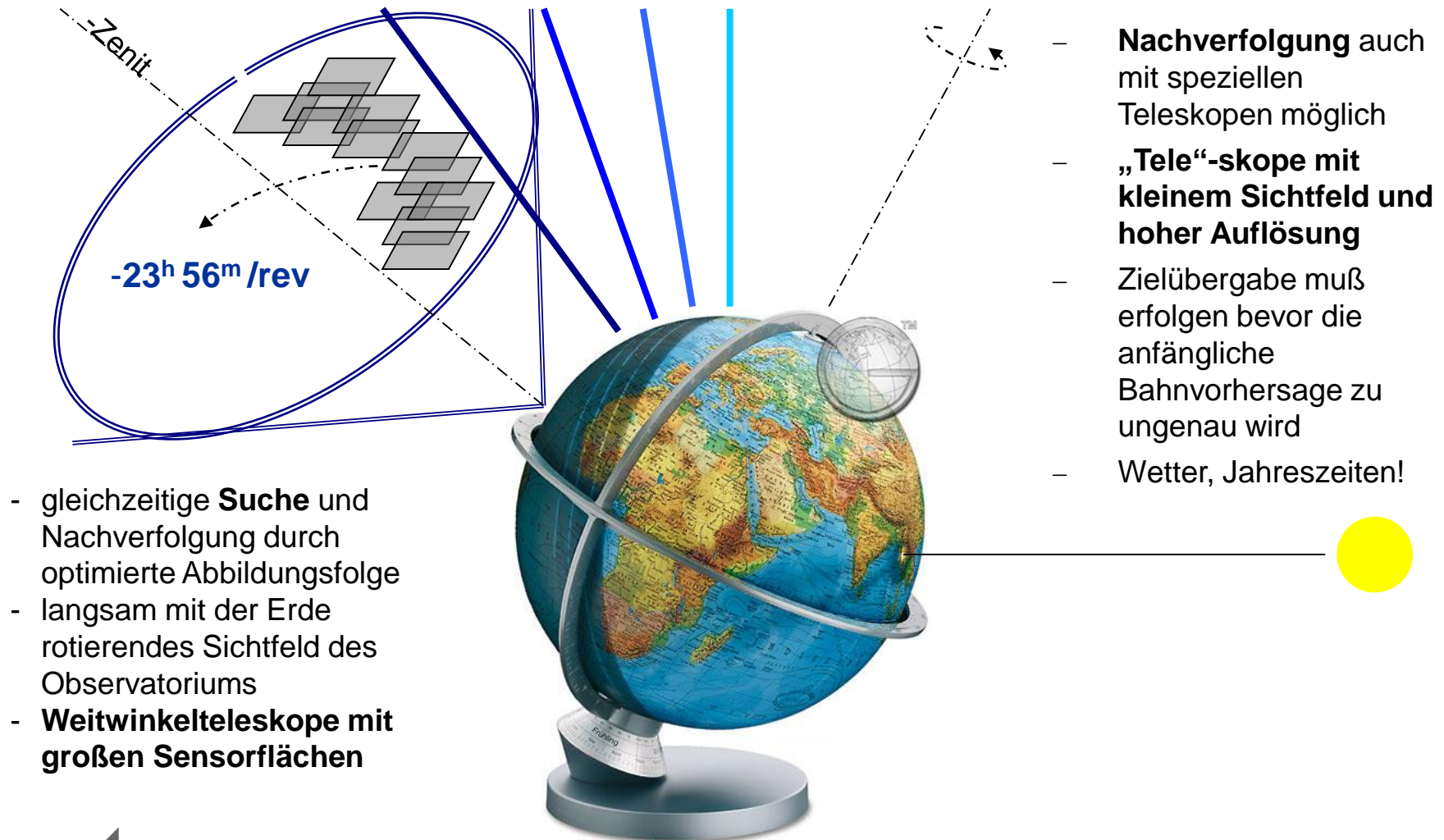
\*\* (464622) 2016CB<sub>245</sub> war der höchstnummerierte Kleinkörper des Sonnensystems, plus 8 Planeten, plus 336 nummerierten periodischen Kometen (MPC-Datenbank Stand vom 2016 MAR 23)



# 464622 Asteroiden finden leicht gemacht



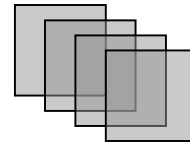
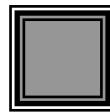
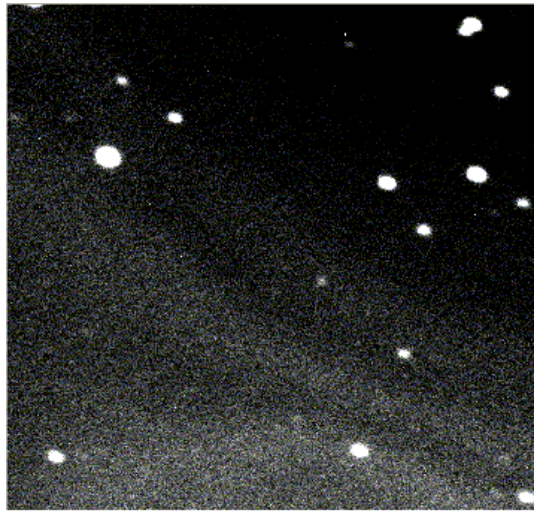
## (bisher nur) erdgebundene Suchprogramme



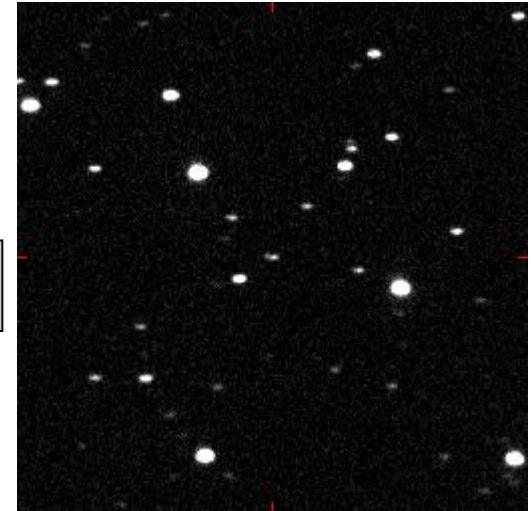
- gleichzeitige **Suche** und Nachverfolgung durch optimierte Abbildungsfolge
- langsam mit der Erde rotierendes Sichtfeld des Observatoriums
- **Weitwinkelteleskope** mit **großen Sensorflächen**

# Bewegung im Rauschen: Planet, Stern oder Partikel?

suchen



verfolgen



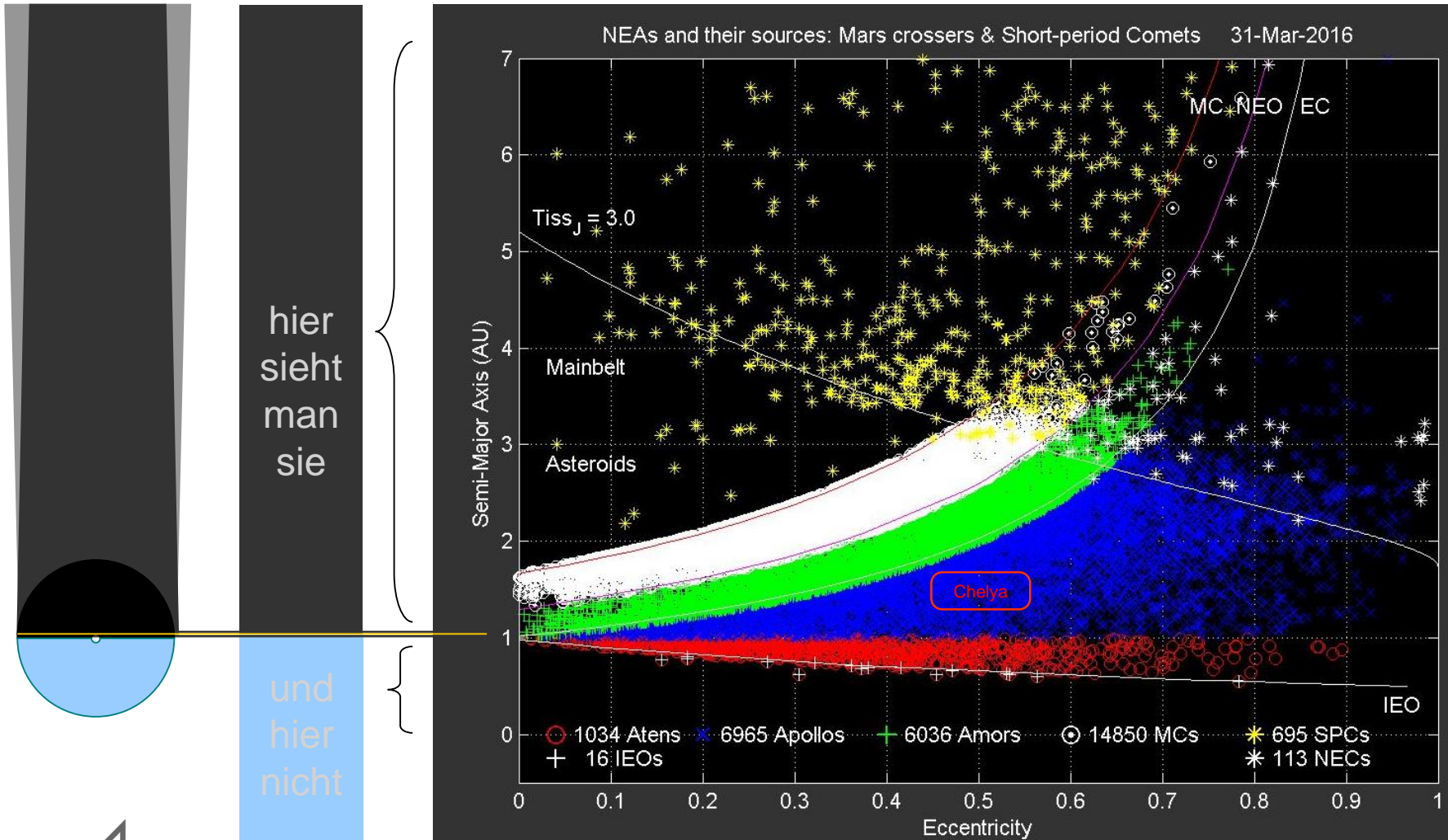
2004FH

- einen vermutlich ertragreichen Himmelsausschnitt auswählen
- periodisch  $\geq 3$  mal abbilden
- nach Veränderungen absuchen
- nach auf einer Linie bewegten Punkten filtern

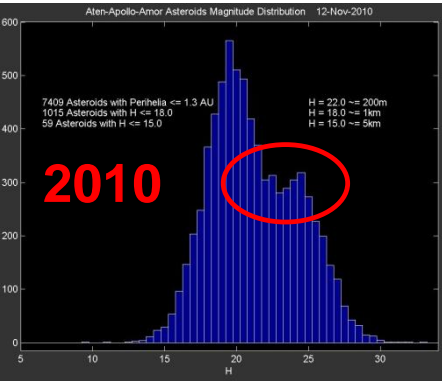
- mit der erwarteten Bewegung eines Objektes mitziehen
- so lange wie möglich verfolgen
- nach Abweichungen suchen
- Bahnberechnung verbessern durch Referenzsternvergleiche



# Was ist da oben eigentlich los? (...kurz vor'm 1.4. ... ;-)



# ...nur die im Dunkeln sieht man. ... nicht?



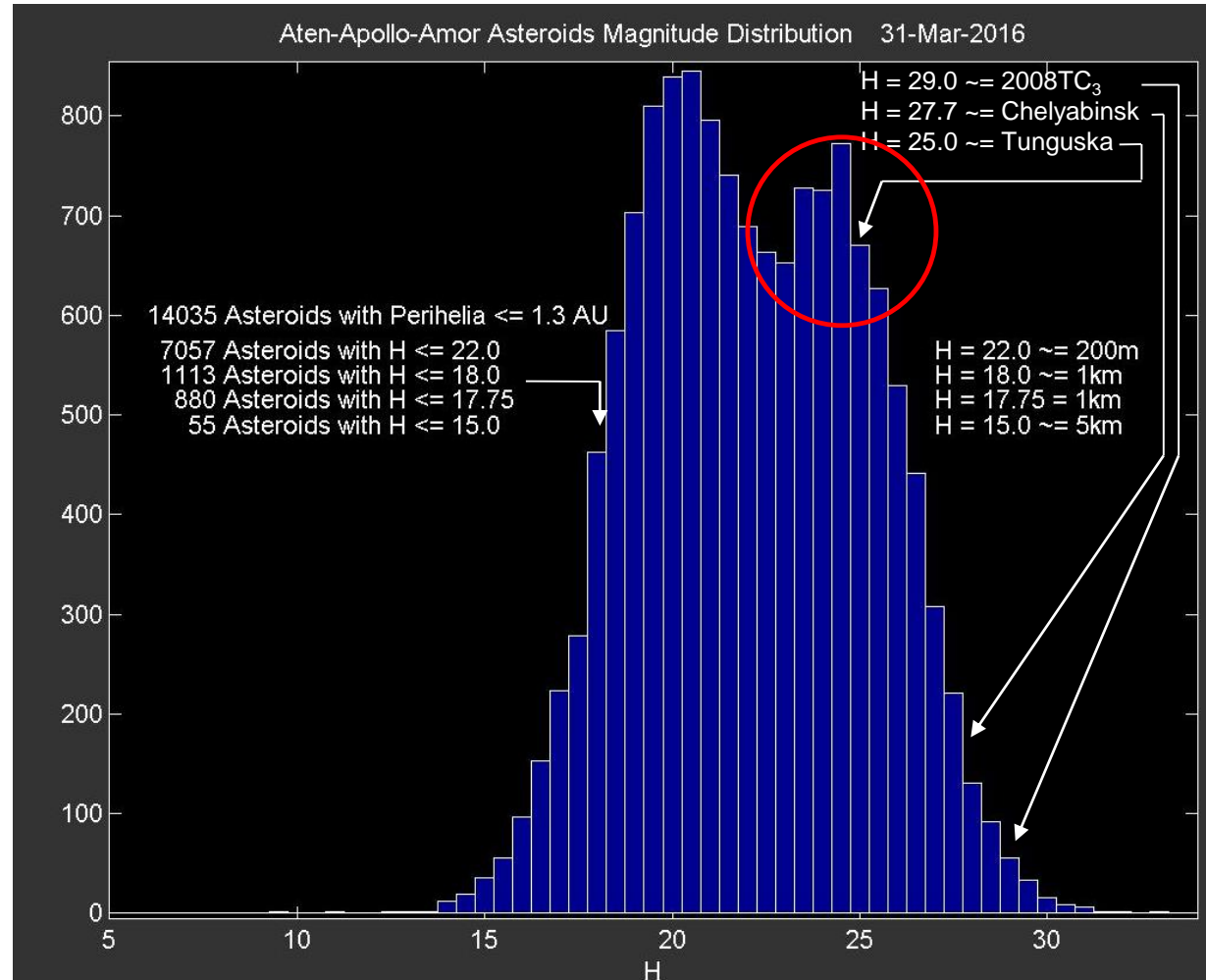
**2010**

Material: steinig / Eisen... .. kohlig  
 Dichte: ~2 / ~8 ... 0.5 g/cm<sup>3</sup>

Albedo: 0.5 0.25 0.05  
 rel. Vol.: 0.1 : 0.3 : 3.4 \*)

H =			Ø =
13.0	4700	6700	14900 m
15.0	1900	2600	5900 m
18.0	470	670	1500 m
22.0	75	110	240 m
25.0	19	25	60 m
28.0	4	5	12 m
30.0	2	3	6 m

\*) Konvention:  
 H= 18 ⇔ Ø = 1 km ⇔ Albedo = 0.1114  
 ⇔ hier: relatives Volumen = 1





# Was wäre wenn...? – Frascati, Italien, Fri. 13APR2015 – eine Übung in 5 Teilen

## - Übungsziele:

- Kommunikationswege definieren:  
Wissenschaft ↔ UN ↔ Katastrophenschutz ↔ Bürger
- Koordinierungsmechanismen finden
- Probleme in der gegenwärtigen Kommunikation finden
- wie vermittelt man Fachfremden, daß eine reale Gefahr droht?
  - ...daß sofort Taten nötig sind, wenn doch der Einschlag noch Jahr(zehnt)e entfernt und unsicher ist?



Szenario 2013PDC-E courtesy Debbie Lewis, Director Resilience Planning, Axiom (Alderney) Ltd & team: Mark Boslough, Barbara Jennings, Bill Fogleman, Paul Chodas, Souheil Ezzedine, et al

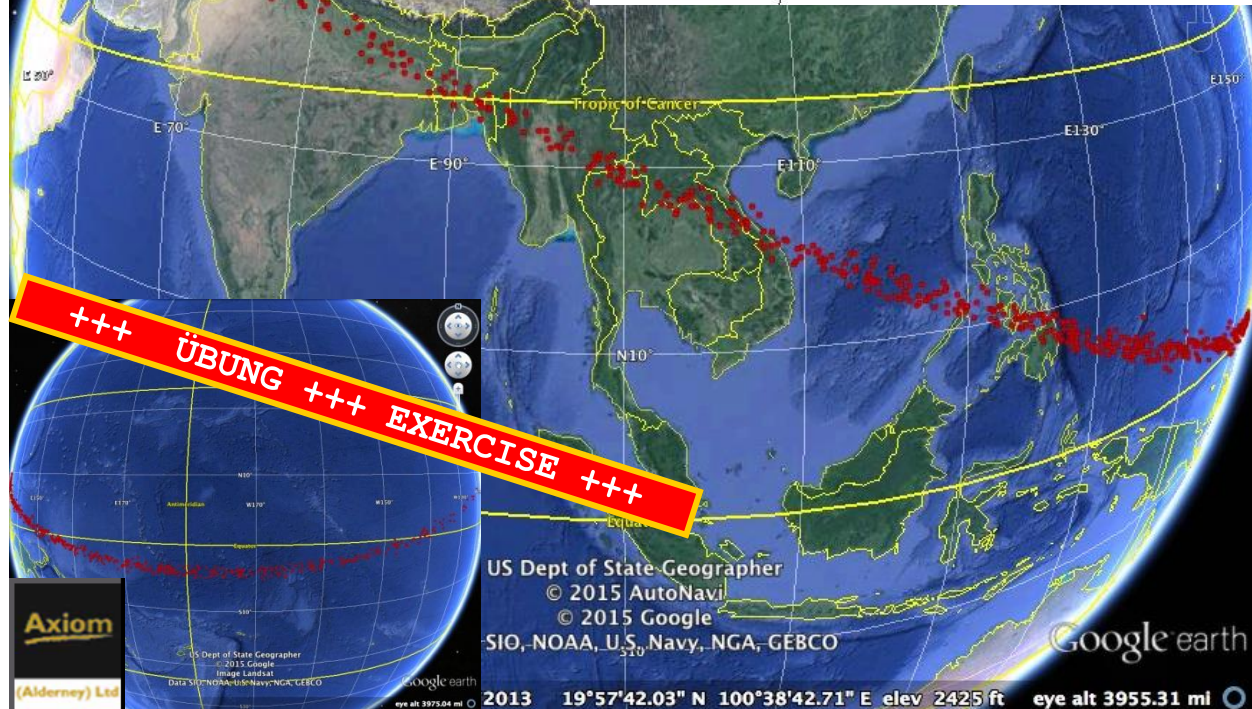
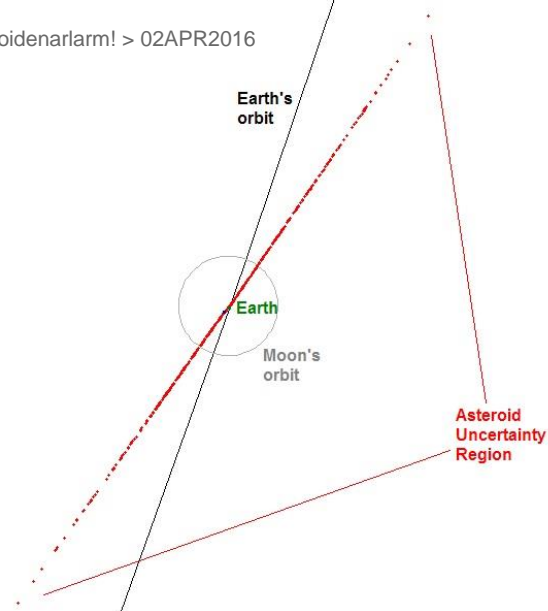


Szenario 2013PDC-E courtesy Debbie Lewis, Director Resilience Planning, Axiom (Alderney) Ltd & team: Bill Ailor, Lindley Johnson, Don Yeomans, Paul Chodas, LtCol Peter Garretson, L.A. Lewis, Nahum Melamed, Margaret Race



# Was wäre wenn...? – die Entdeckung

- Asteroid 2015PDC \* :  
140...400 m NEA
- Entdeckt am Freitag, 13. April 2013
- International Asteroid Warning Network IAWN meldet Risiko für 03SEP2023
- 0.9 % Einschlagswahrscheinlichkeit



\*) hier wurde bewußt eine „falsche“ Bezeichnung gewählt, damit es keine Medienpanik gibt. Ursprünglich angedacht waren z.B. 2015PD (konnte noch nicht entdeckt sein, da ‚P‘ 1. Augusthälfte) oder 2013ZI013 (Buchstaben I und Z bzw. I werden nicht verwendet für Halbmonat und Zählung, und es gibt keine führende ‚0‘ in der Zählung der ABC-Gänge)



# Was tun !?

- ...?



# Lad os bygge et rumskib !!! :)



**Let's build a spaceship !!! :)**

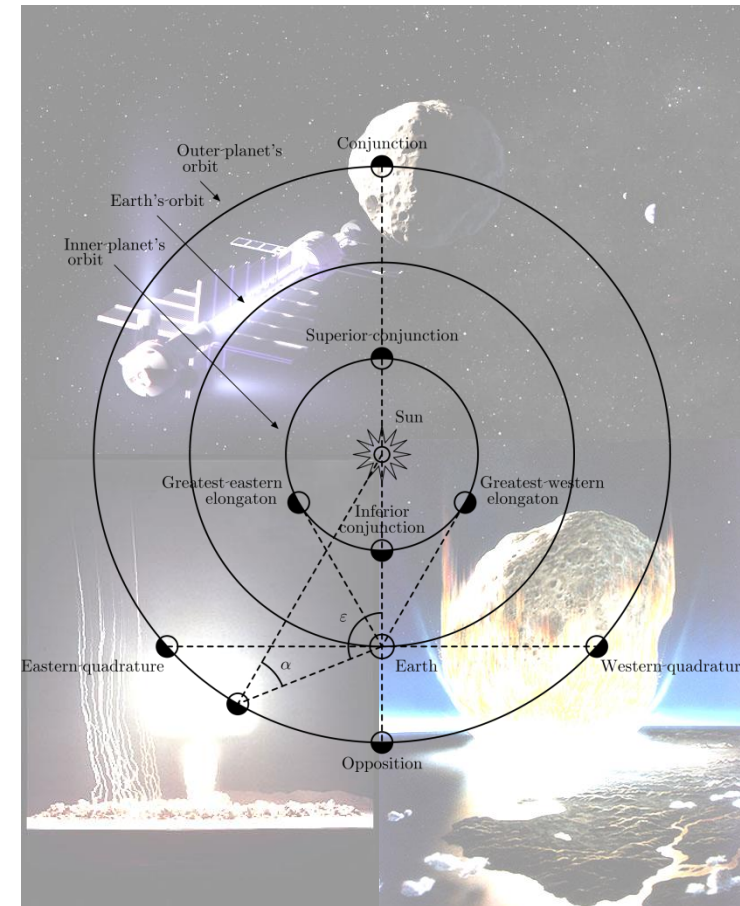


# Laßt uns ein Raumschiff bauen !!!



# Der Vorhang steigt und alle Fragen offen:

- Was können wir wirklich?
  - Asteroiden schubsen?
    - Asteroiden erreichen?
      - Asteroiden treffen?
        - Asteroiden finden?
- Was erlauben uns die Naturgesetze?
  - Bahnmechanik
    - Optik
- Wie groß ist die Gefahr wirklich?
  - Wieviel Sicherheit macht Sinn?
    - Was müssen wir hinnehmen?
      - die Freiheit im Restrisiko?
- Und was wenn doch...?



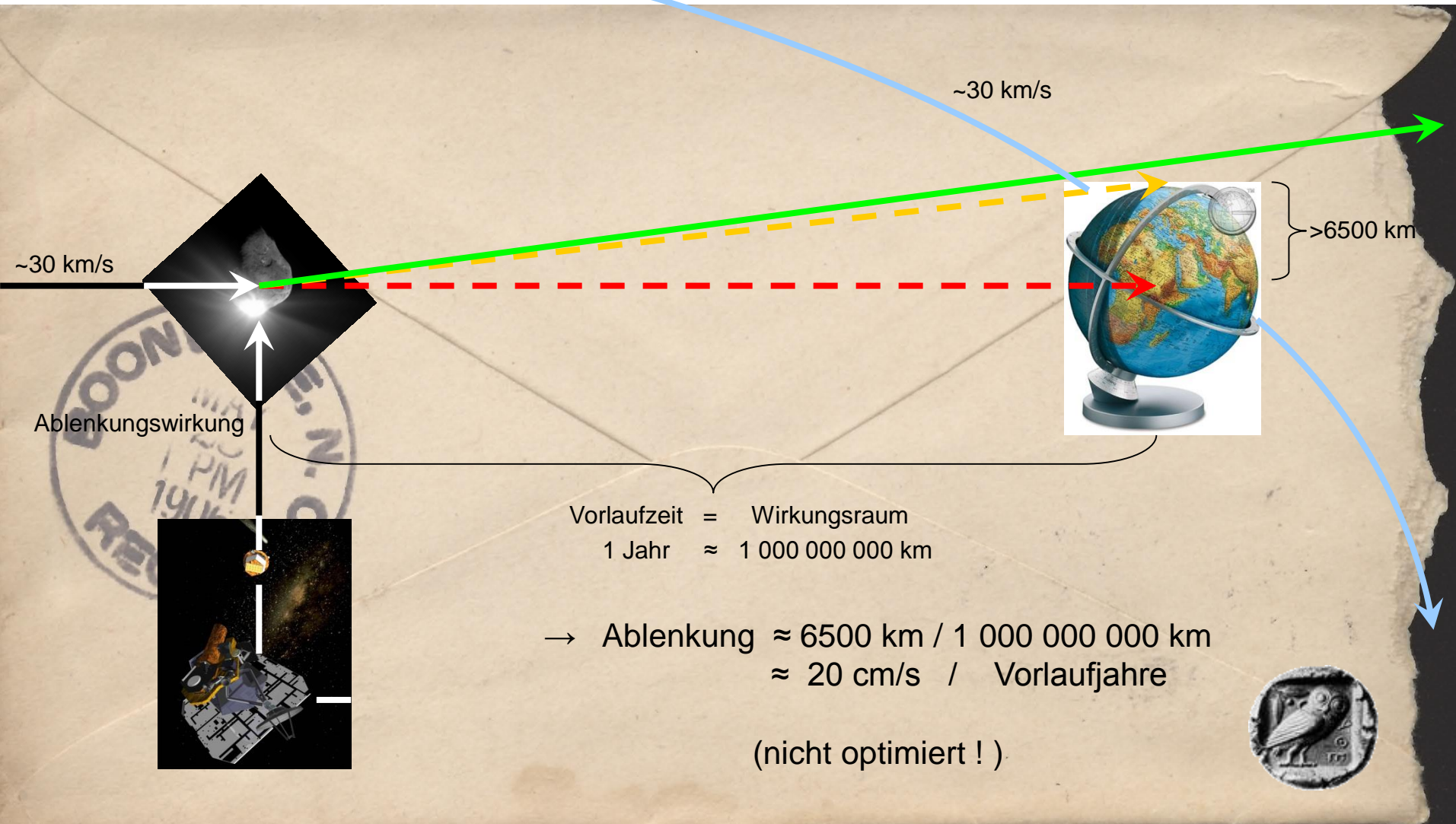
# Was wäre wenn...? – das Szenario geht weiter

- **04APR2016**
- Einschlagrisiko für 2023 steigt:
  - Juni 2015: 1%
  - Juli 2015: 3%
  - Aug 2015: 10%
  - Sep 2015: 20%
  - Okt 2015: 30%
  - Nov 2015: 33%
  - Dez 2015: 34%
  - Jan 2016: **43%**
- unsichtbar bis Ende 2016 selbst für größte Teleskope

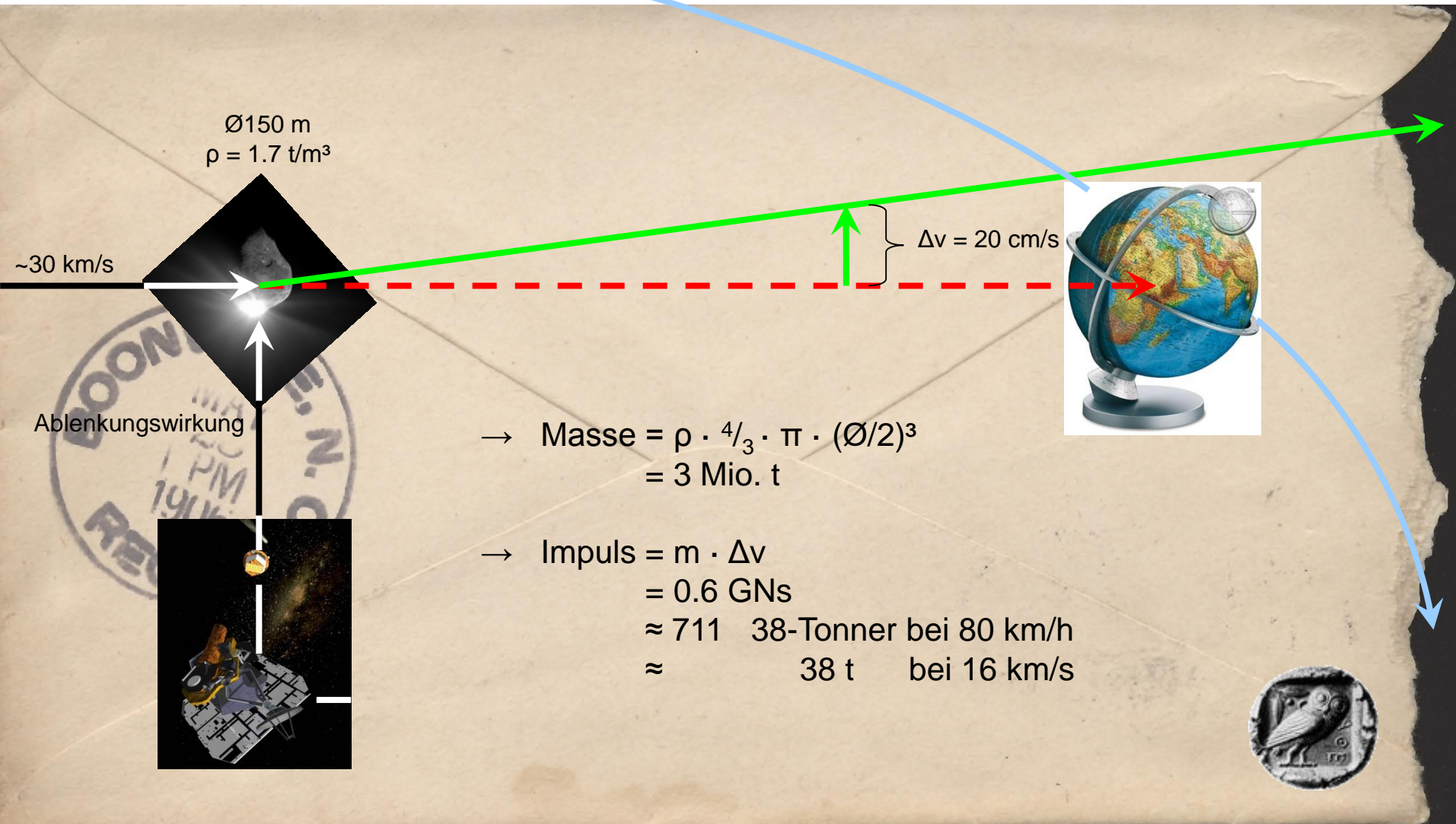




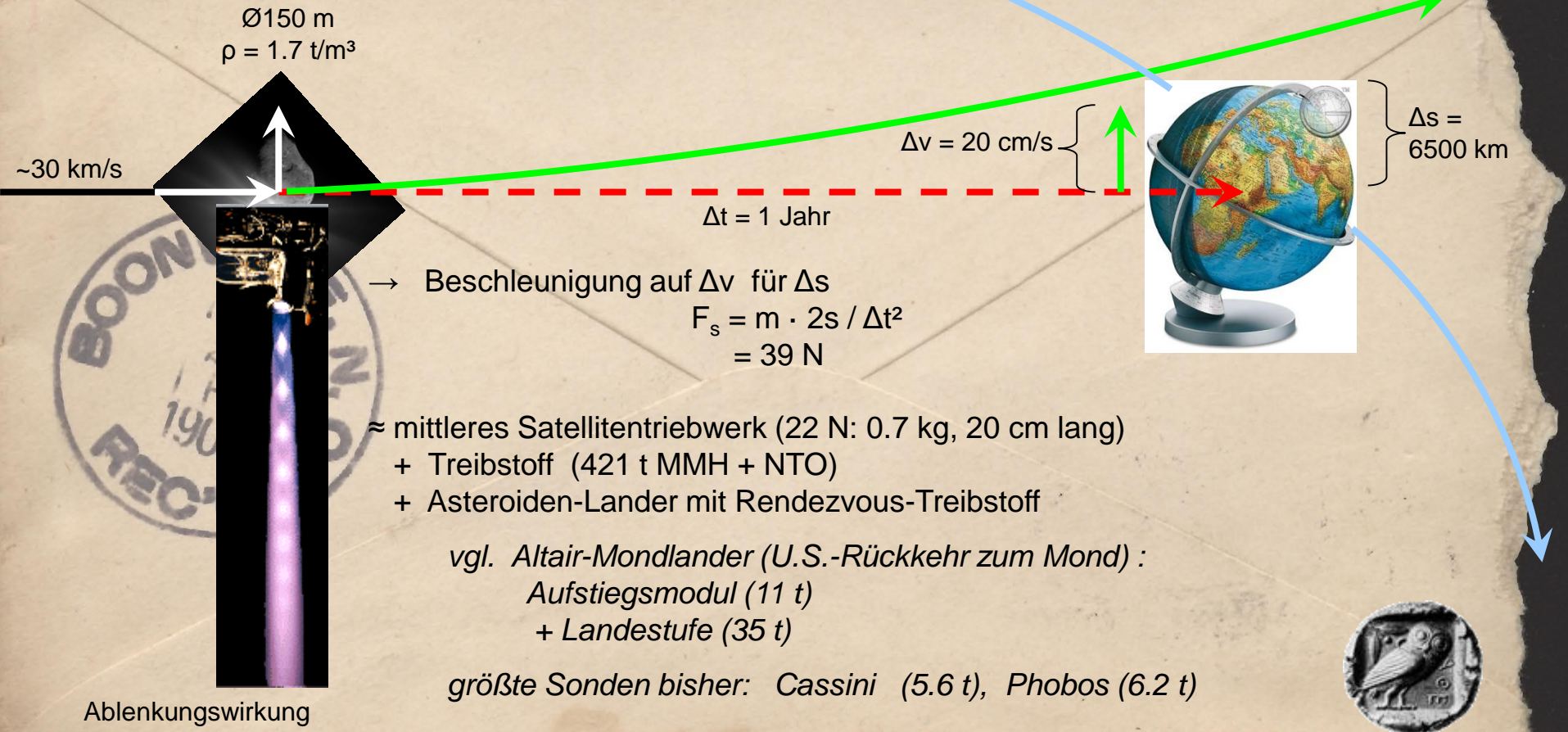
# ...war gerade abgelenkt...



# “Peng!” oder...



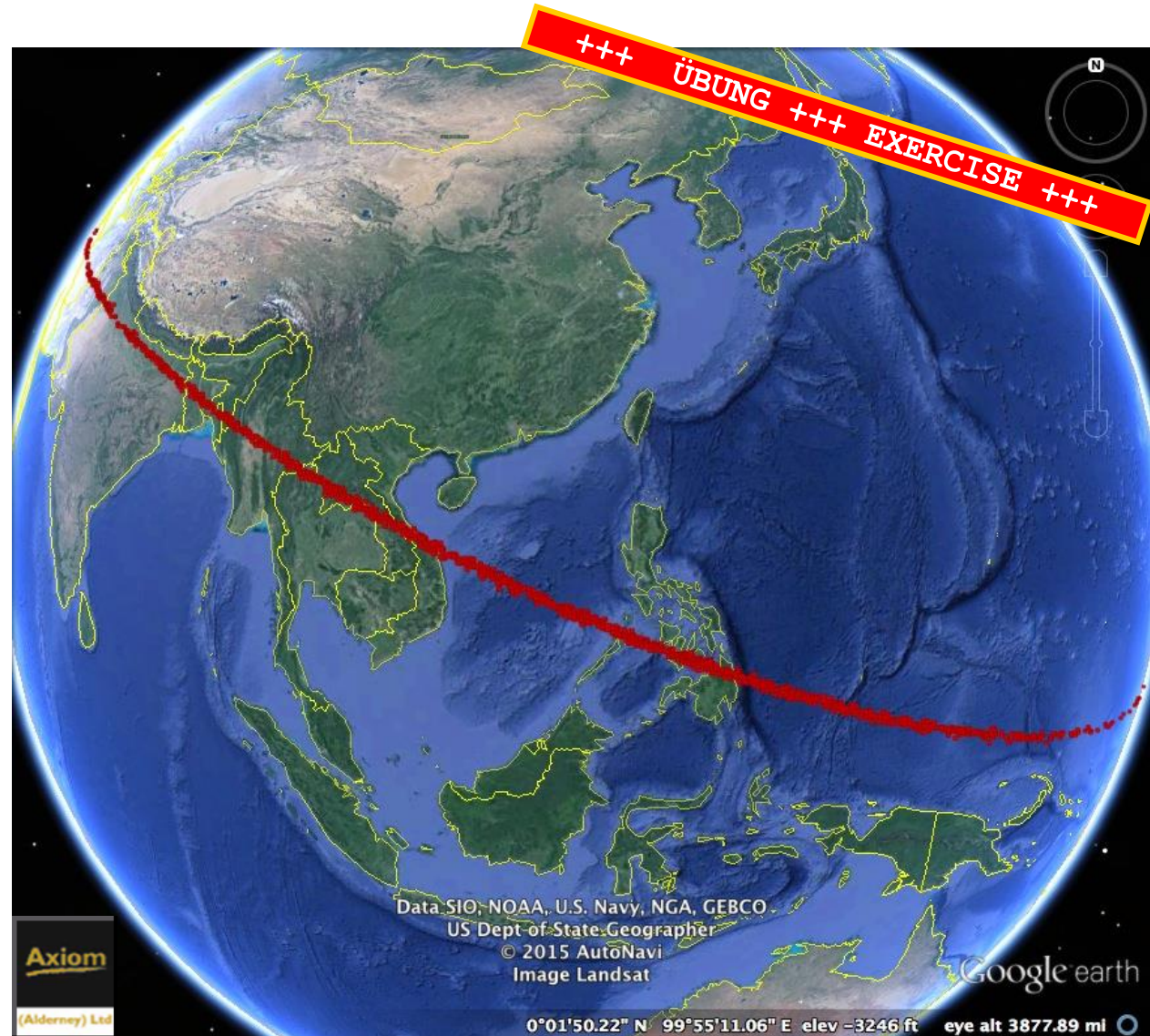
...“schhh...”...



Bild, im..l.u.: NASA, v. Columbus Verlag Paul Oestergaard, Kraichenwien, u.r.: antik via SWW; hint.: David Monniaux via wikipedia

# Was wäre wenn...? – Er ist wieder da

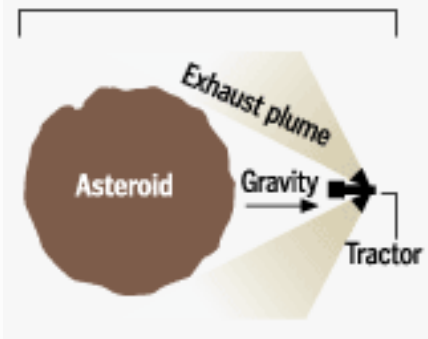
- **27DEC2016**
- 2015PDC war 8 Monate unbeobachtbar jenseits der Sonne
- Asteroid wieder gefunden  
→ starke Verbesserung der Bahnvorhersage
- Einschlagrisiko für 2023:  
**100%**
- Einschlags-Korridor verkürzt sich

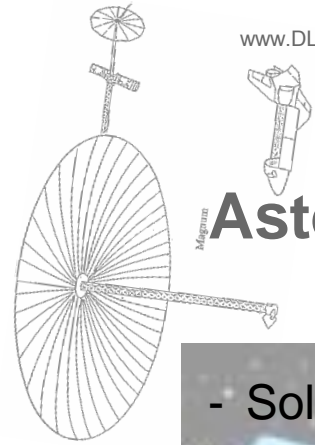


# Asteroiden schubsen – mit Schwerkraft leicht gemacht?!

- „Gravity Tractor“:
  - schwache Wirkung selbst bei großem Flugkörper
  - unabhängig von Eigenschaften des Zieles
    - Rotation & Oberflächeneigenschaften unerheblich
  - Rendezvous und Positionshaltung zwingend erforderlich
    - Interaktion Ziel – Triebwerksstrahl ?
  - eventuell in Einzelfällen machbar
    - wenn der Effekt über sehr lange Zeit wirkt
      - 1950 DA: Zeit bis zum 16. März 2880
    - wenn der Effekt natürlich verstärkt wird
      - Apophis: >10000 durch Erddpassage

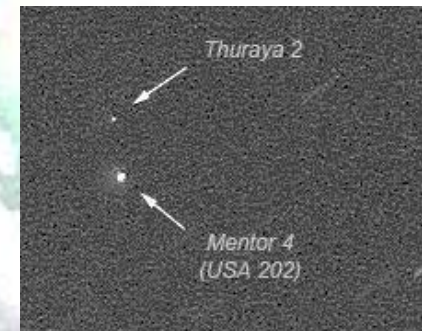
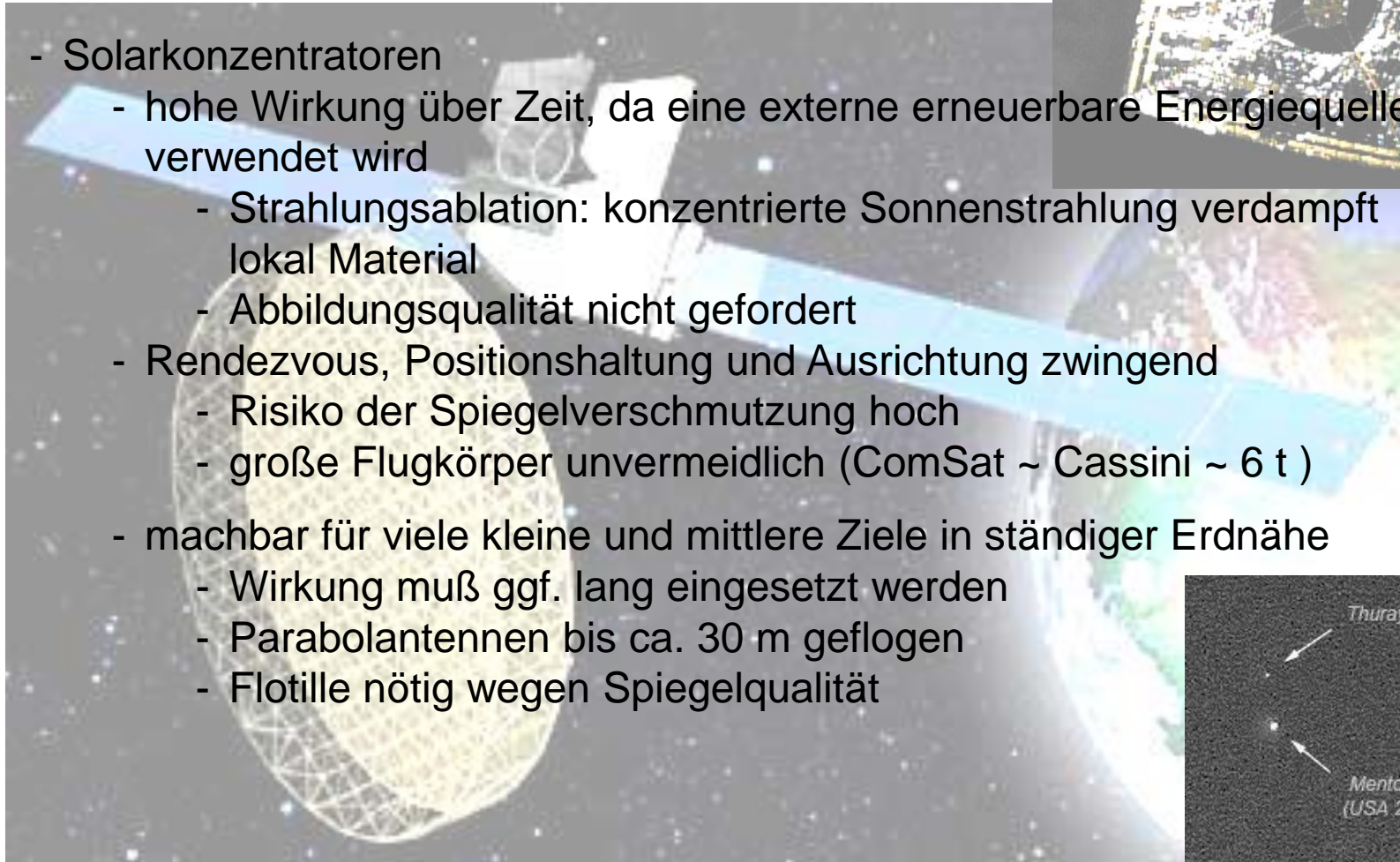
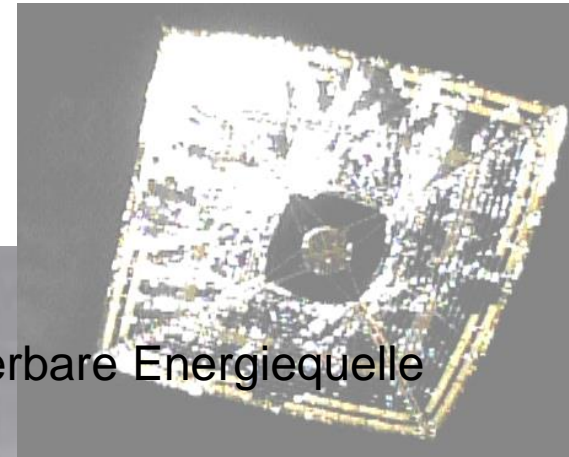
- Spacecraft hovers near enough to the asteroid to exert natural gravitational pull.
- Craft maintains distance from asteroid with nuclear-electric thrusters.
- Thrusters are angled outward so exhaust avoids the asteroid.
- *Distance remains constant as tug moves forward, pulling asteroid off collision course.* →





# Asteroiden schubsen – sanft mit Sonnenlicht

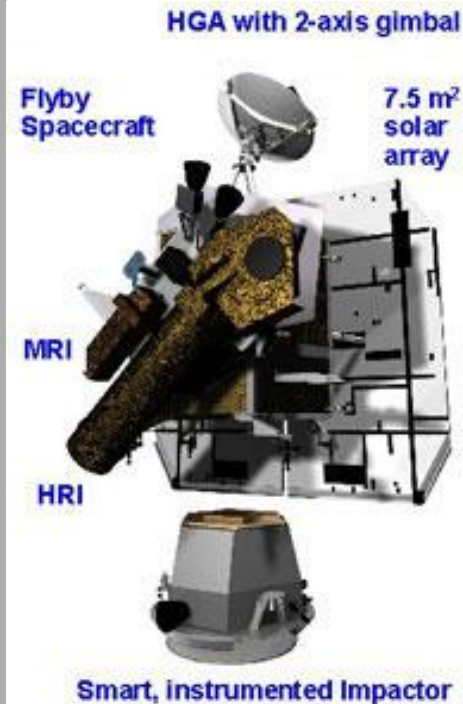
- Solarkonzentratoren
  - hohe Wirkung über Zeit, da eine externe erneuerbare Energiequelle verwendet wird
    - Strahlungsablation: konzentrierte Sonnenstrahlung verdampft lokal Material
    - Abbildungsqualität nicht gefordert
  - Rendezvous, Positionshaltung und Ausrichtung zwingend
    - Risiko der Spiegelverschmutzung hoch
    - große Flugkörper unvermeidlich (ComSat ~ Cassini ~ 6 t)
- machbar für viele kleine und mittlere Ziele in ständiger Erdnähe
  - Wirkung muß ggf. lang eingesetzt werden
  - Parabolantennen bis ca. 30 m geflogen
  - Flotille nötig wegen Spiegelqualität



# Asteroiden schubsen

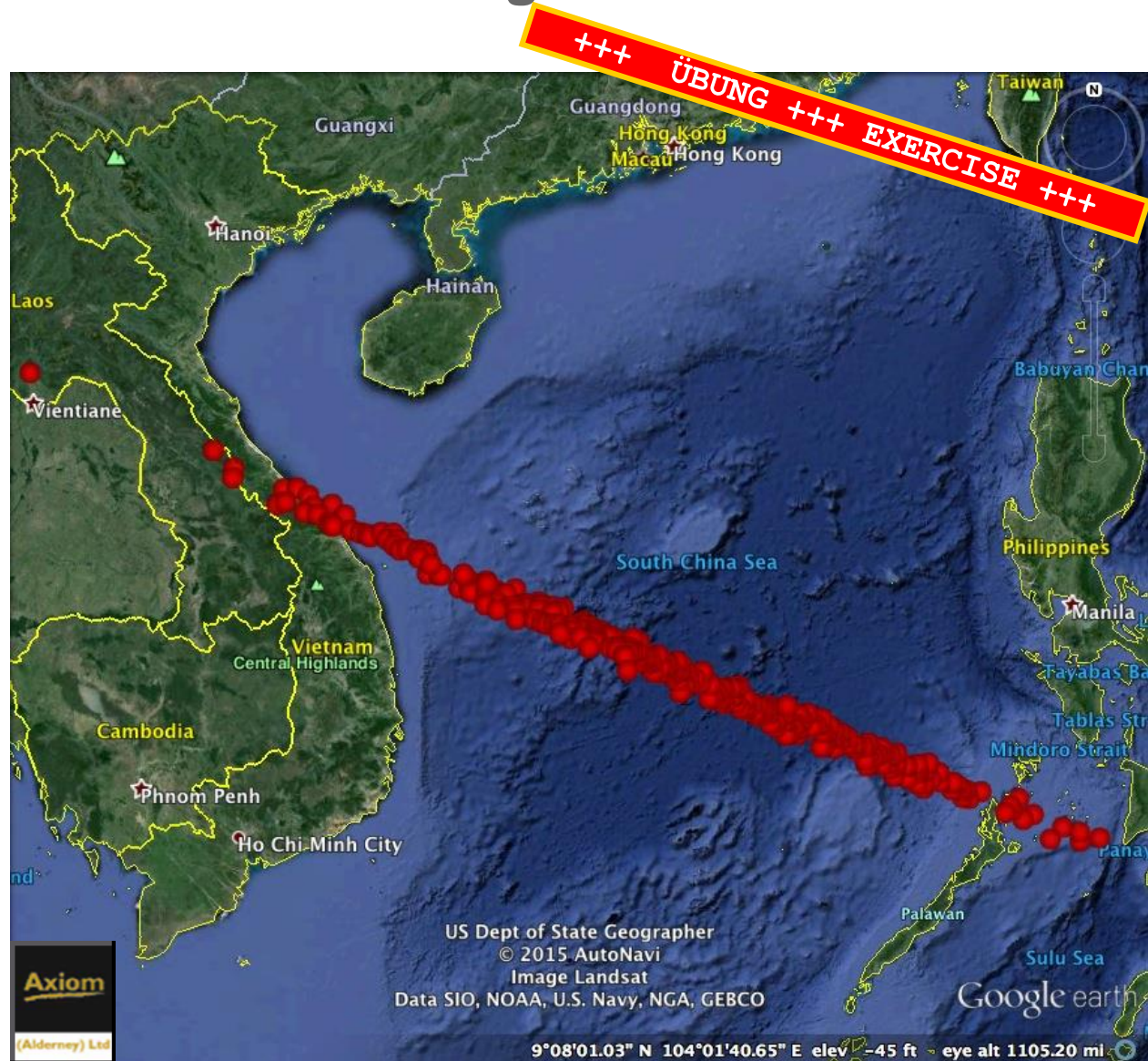
## – mit Einschlagkraft gegen den Einschlag

- Kinetischer Impaktor
  - deutliche Wirkung proportional zur Masse abhängig von Eigenschaften des Zieles
    - Umwandlung von kinetischer Energie in Impuls kann Wirkung deutlich erhöhen
  - kein Rendezvous erforderlich
    - aber: nur eine Chance – auf Kollisionskurs
    - gesteuerter Zielflug in Minuten
  - machbar für viele kleinere Körper bis ~200 m
    - bei hoher Relativgeschwindigkeit effizient
    - gesamter Flugkörper kann wirken
    - Aufteilung der Masse unerheblich
      - Flotille erhöht Trefferchancen stark



# Was wäre wenn...? – die Erde schlägt zurück

- **01AUG2019**
- Einschlags-Korridor zieht sich auf's Südchinesische Meer zusammen: ohne Eingriff fällt er hier rein!
- 6 Kinetische Impaktoren werden gestartet
- Asteroid während 200-tägigem Flug außer Sicht bis Nov.2020
- nötige Ablenkung: 20 mm/s
- Bahnbestimmung: 1 Jahr





# Asteroiden erreichen

## – überall, nicht jederzeit

- offensichtliches wird leicht übersehen
  - *jede* Umlaufbahn hat zwei Knoten in der Ekliptik
  - *jedes* erdnahe Objekt kommt der Erdbahn nahe
    - ein Knoten erdnah, ein Knoten erdfern
- kleine Sonden können von heutigen großen Trägerraketen nahe der Ekliptikebene sogar direkt aus dem Sonnensystem geschossen werden
  - jeder erdferne Knoten ist erreichbar
  - Flugzeit begrenzt eher als Masse
- Fluchtgeschwindigkeit: 11.2 km/s – Geostationärer Transferorbit: 10 km/s
  - erdnahe Knoten können mit den höchsten überhaupt interplanetar fliegbaren Nutzlastmassen erreicht werden
  - *man muß nur rechtzeitig abfliegen um passend anzukommen...*



# Asteroiden treffen – auf Kollisionskurs über 10 km/s

- agile Steuerungssysteme werden in ABM-Systemen verwendet
  - Entwurf seit 1956 (Sowjetunion)
  - 4. März 1961: erfolgreicher Abschluß einer Sprengkopfatrappe durch eine nichtnukleare Rakete (Sowjetunion)
    - USA: vergleichbare Leistung erst 1984 demonstriert
  - kontinuierliche Stationierung und Verbesserung seit 1972 durch drei Generationen (Sowjetunion & Rußland)
    - ab 2. Generation nuklear bestückt
      - USA: nukleare ABM in den 1970er Jahren komplett entwickelt und dann einseitig abgerüstet
    - neue Generation mit nichtnuklearen kinetischen Impaktoren noch in Entwicklung und Erprobung
- „Star Wars“ weltraumtauglich?

# Was wäre wenn...? – Henne und Ei

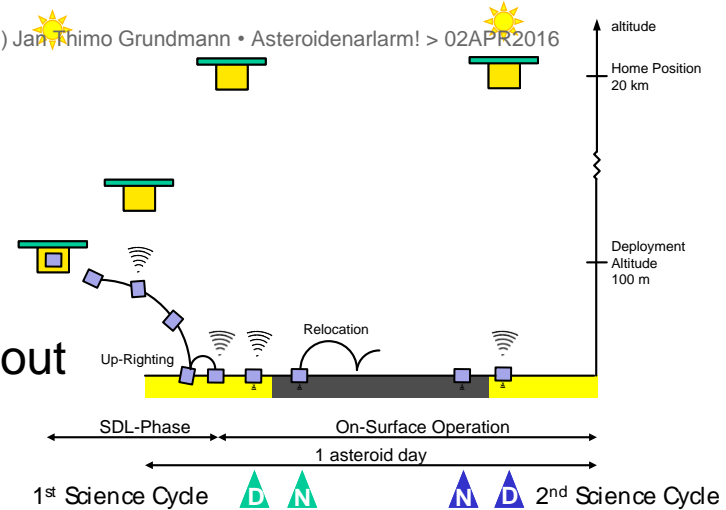
- **18JAN2021**
  - 4 von 6 Kinetischen Impaktoren treffen
  - 300 m langer Asteroid wird abgelenkt & **zerbricht**
  - **80-m-Fragment** weiter auf Erdkurs – **54%**
  - unbestimmte Ablenkung: 0 ... 20 mm/s
- **Korridor erneut offen**

+++ ÜBUNG +++  
+++ EXERCISE +++

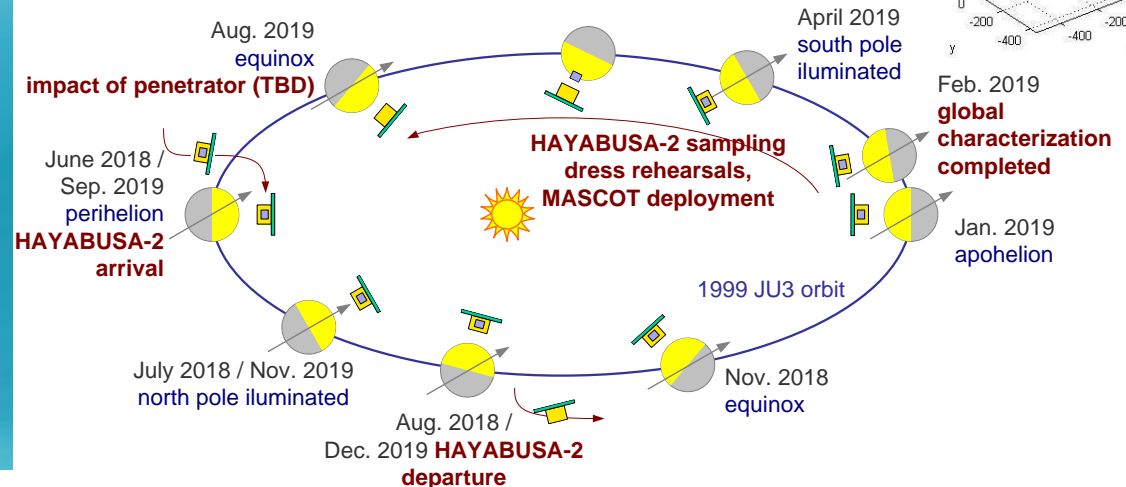
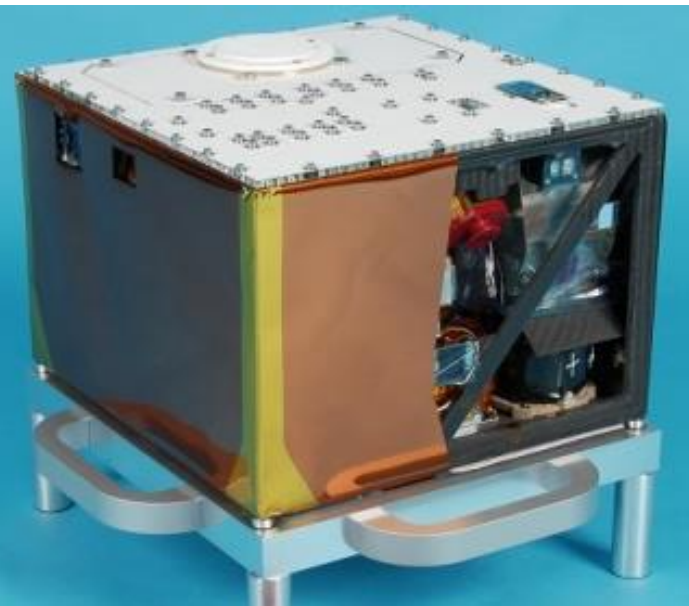
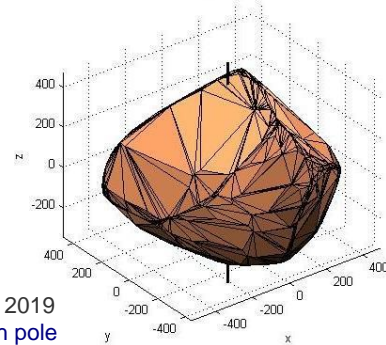


# Asteroiden verstehen: mal hin hopsen

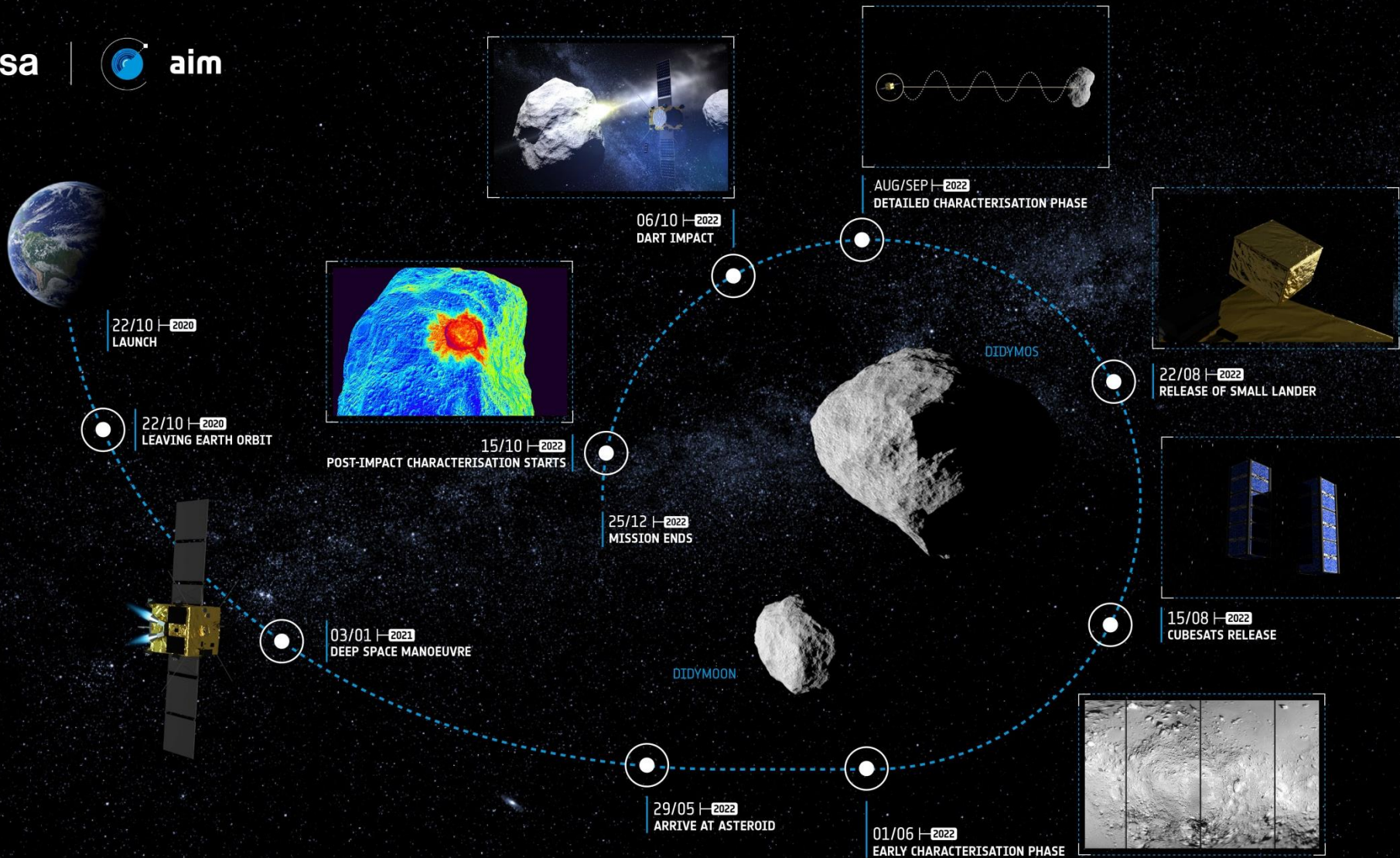
- MASCOT : Mobile Asteroid Surface Scout
- Ziel: C-Typ-Asteroid (162173) Ryugu
- Flug „huckepack“ mit HAYABUSA2
- Start am 3. Dezember 2014,
- Abwurf aufs Ziel 2018/19
- Messungen an 2..3 Landestellen nach 1..2 Sprüngen



1999 JU3 shape model - scaled

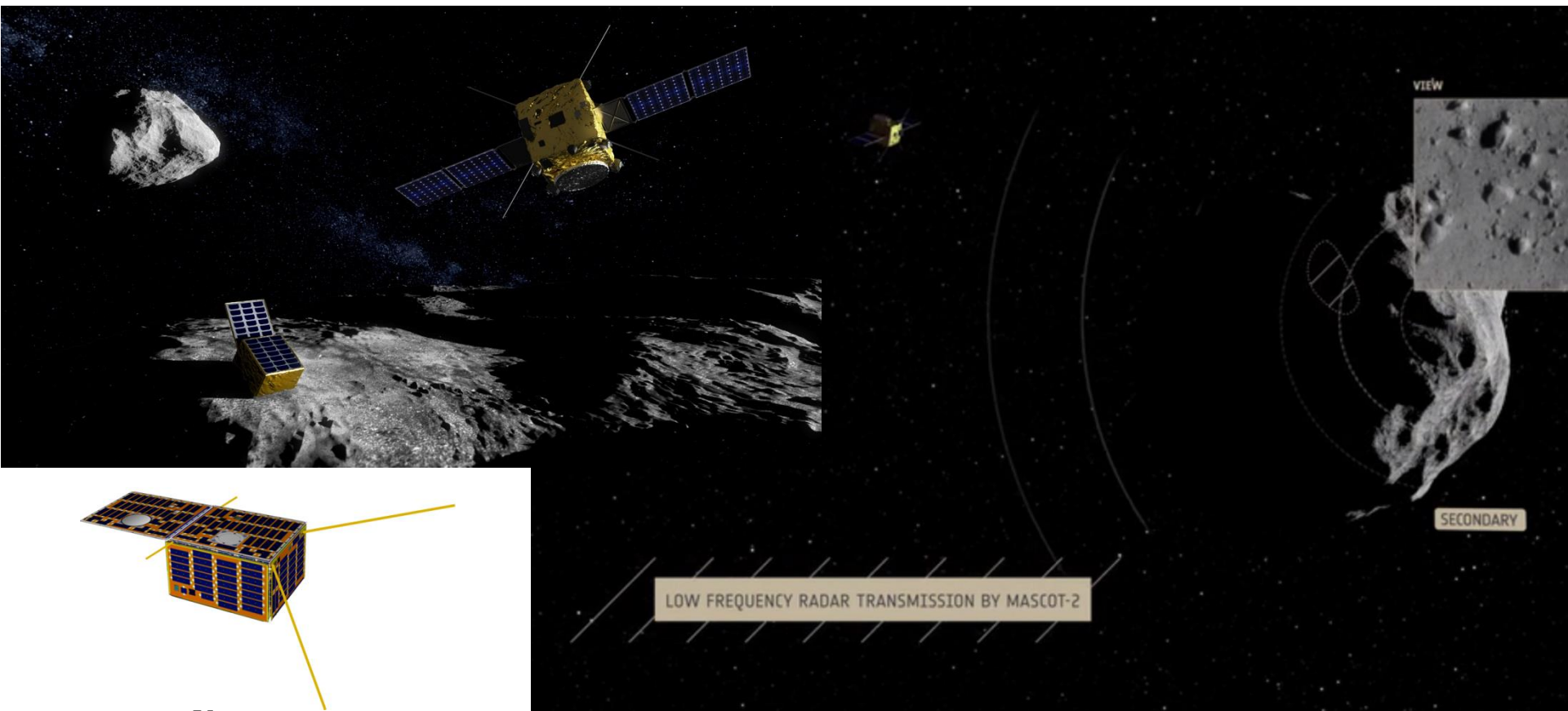


# MASCOT2 – mit der ESA und AIM zu Didymos



# MASCOT2 – Didymoon-Tomographie

- Kurzwellen-Radar durchleuchtet Didymoon
- Langzeitmission mit Sonnenenergie

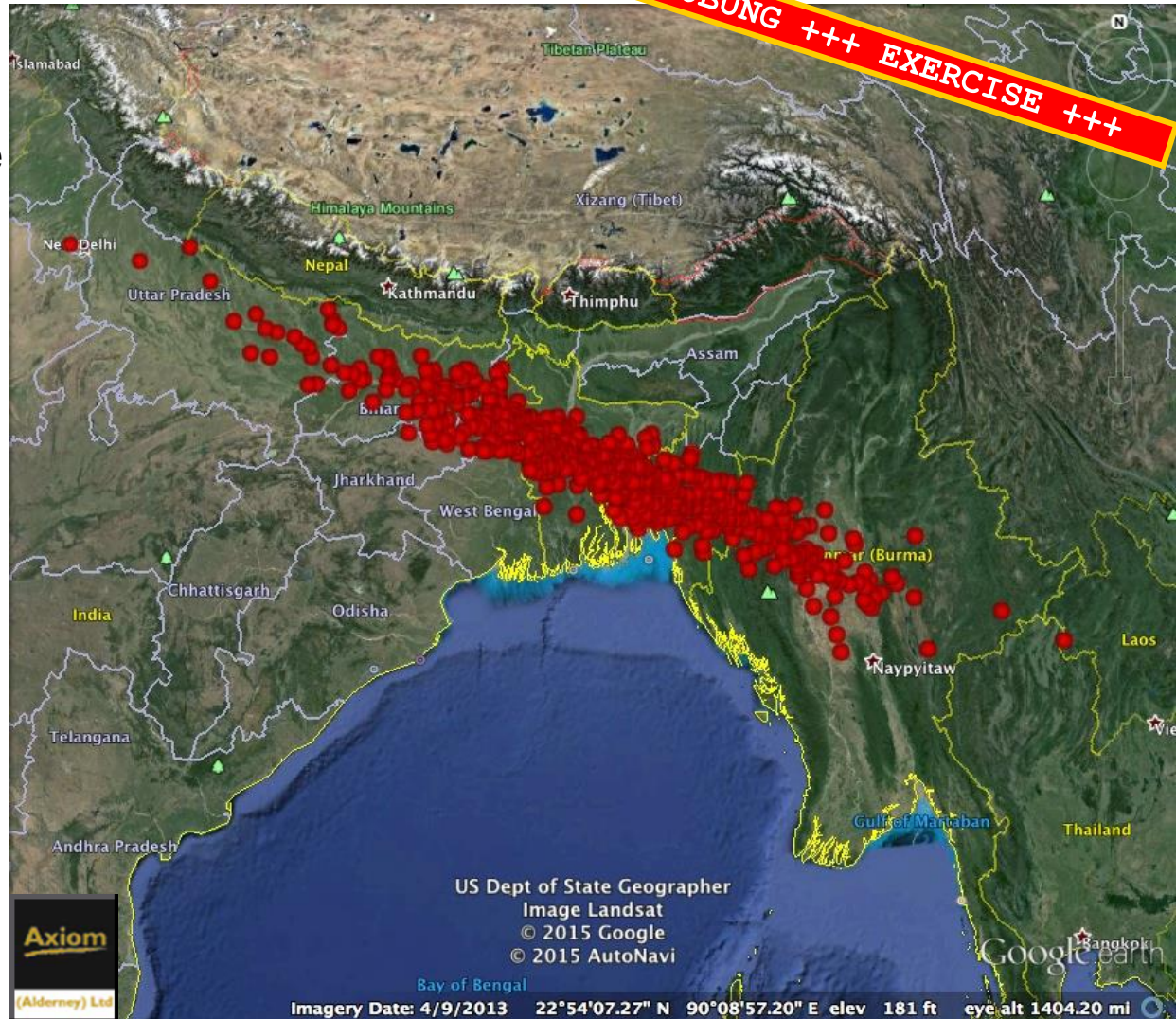


LOW FREQUENCY RADAR TRANSMISSION BY MASCOT-2

# Was wäre wenn...? – mit'm blauen Auge davonkommen

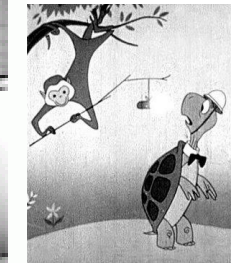
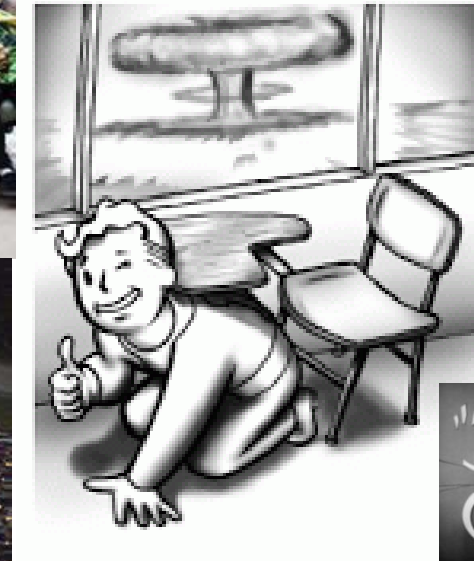
- **04FEB2022**
- nach 1 Jahr außer Sicht ist 2015PDC hinter der Sonne raus → präziser Orbit
- Einschlag **100%**-ig in Indien – Bangladesh – Myanmar 3.9.22 09:50 loc
- Korridor schrumpft:
  - Mai 22: 100 km
  - August 22: 50 km
  - Ende Aug.22: 15 km
- der Katastrophenschutz ist jetzt (*endlich!* ;- ) dran...

+++ ÜBUNG +++ EXERCISE +++



# Weglaufen, Eingraben...

- Katastrophenschutz-  
Maßnahmen:
- Evakuierung des Einschlagskorridors
- Verlagerung und Sicherung von Versorgungseinrichtungen
- Auslagerung von Kunst, Kultur, Denkmälern (soweit möglich)
- Schutz in Eigeninitiative
- Duck & Cover drills usw.
- Chelyabinsk: 44 Kinder werden von ihrer Lehrerin beim Blitz weg von Fenstern und unter ihre Tische geschickt – alle unverletzt ! Die Lehrerein bleibt stehen und wird schwer Glas-verletzt



If you see the flash, duck and cover!

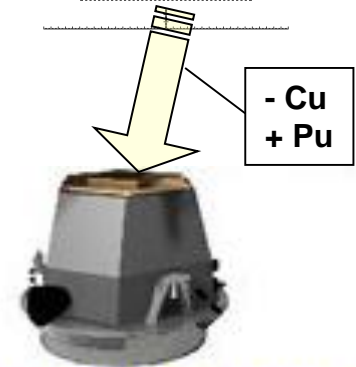
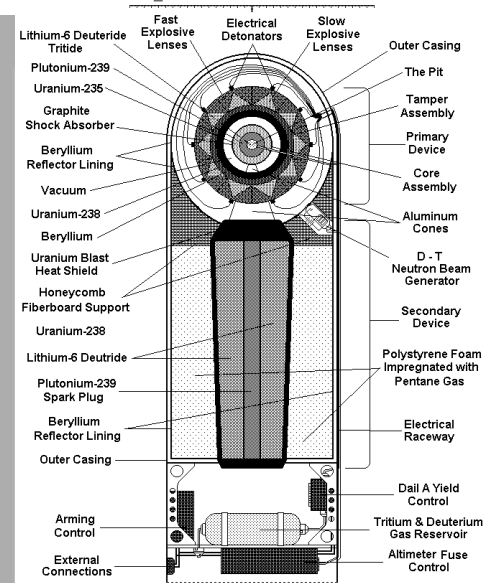




# ... last-minute Atomschlag ...

## – mit Megatonnen gegen Megakatastrophen

- nukleare Lösung
  - höchste Wirkung pro Flugkörpermasse
    - Strahlungsablation: Röntgenstrahlung oder Neutronen verdampfen einige cm Material
  - kein Rendezvous erforderlich (~Kollisionskurs)
    - Zündung in präzisiertem Abstand nötig
    - unbeabsichtigte Zerstörung möglich (Schrotschußgefahr)
- machbar für alle Ziele
  - Wirkung muß dosiert eingesetzt werden
  - verfügbare Sprengköpfe evtl. nicht optimal
  - Flotille nötig um sich heranzutasten
    - ⇔ flexibel falls Ziel zerbricht



Smart, instrumented Impactor

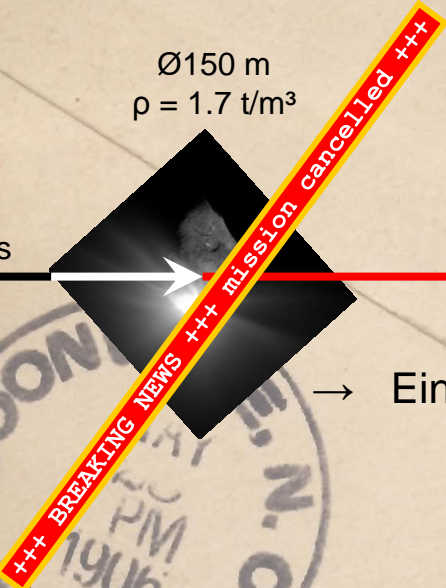
# ...oder nix tun.

Ø150 m  
 $\rho = 1.7 \text{ t/m}^3$

~30 km/s

$v_{\text{flucht},\oplus} = 11.2 \text{ km/s}$

~30 km/s



→ Einschlag mit  $\Delta v_{\oplus}$

$$E = \frac{1}{2}m \cdot (\Delta v_{\oplus}^2 + v_{\text{flucht},\oplus}^2)$$

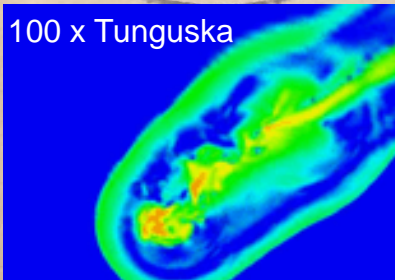
$$= 1.5 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

$$\approx 366 \text{ Mt TNT}$$

$\Delta v_{\oplus} = 30 \text{ km/s}$

≈ 1000 marktübliche strategische Atomwaffen

100 x Tunguska



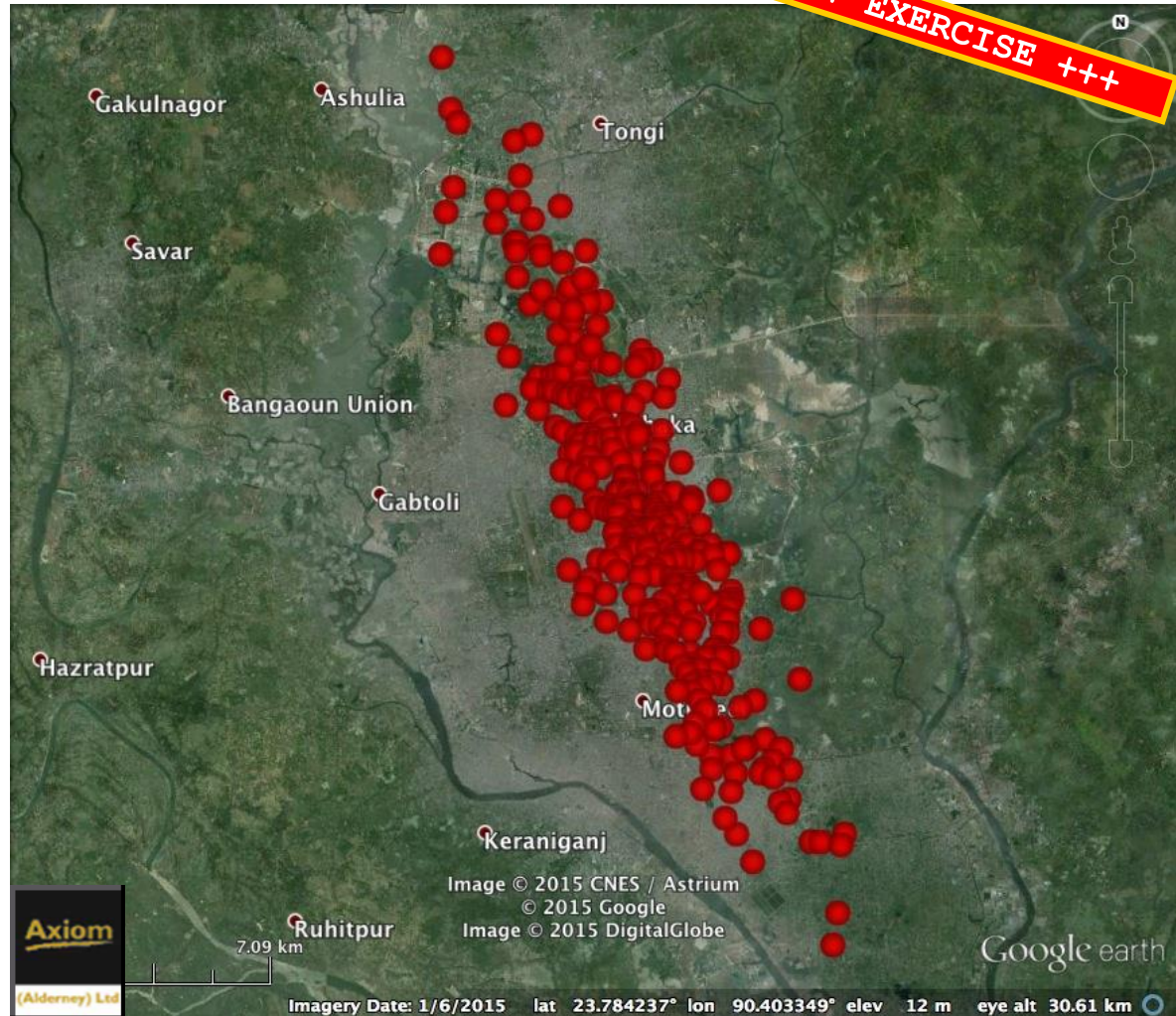
=



# Was wäre wenn...? – der Einschlag

- **27AUG2022**
- **zu spät** für Ablenkung
- der Einschlag trifft Dhaka, Hauptstadt von Bangladesh, >15 Mio. Einwohner
- 18 Mt TNT  
= „4fach-Tunguska“
- **Opferzahl hängt vom Katastrophenschutz ab, mehr noch von der Disziplin der Bürger:**  
*null bis einige Millionen Tote und Verletzte denkbar*

+++ ÜBUNG +++ EXERCISE +++



# laufende Arbeiten: EU-Programm *NEOSHIELD*, Alan Harris (DLR), Berlin-Adlershof



## NEOShield – Progress Towards an International NEO Mitigation Program



Alan Harris

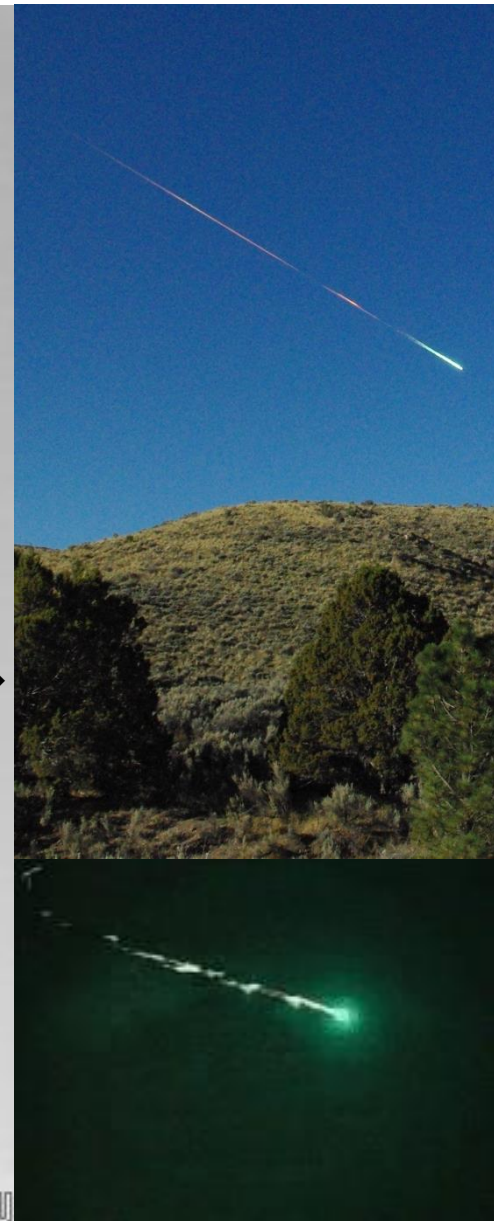
DLR Institute of Planetary Research, Berlin

and the NEOShield Consortium



## PS: Tourismusförderung

- Bei entsprechenden Vorwarnzeiten und guter Abdeckung des gesamten Himmels kann es möglich werden, die relativ häufigen Einschläge in der kt-TNT-Klasse regelmäßig zu beobachten
  - häufig: Luftdetonationen  
z.B. 2008 TC<sub>3</sub> , 20.04.12 →
  - gelegentlich: Meteoritenfälle
  - selten: Kleinkrater (z.B. Carancas)
- Wie SoFi-Reisen ... nur etwas mehr last-minute? ;-)
- PS: es dauert wohl noch *etwas* länger, bis man Autos und Briefkästen genau parken kann... ;-)))



Ferrara 2009/02/14 05:16:31.013(UT) 0056

V00014+059 U



## Fragen?



- **Who** knows whether, when a comet shall approach this globe to destroy it, as it often has been and will be destroyed, men will not tear rocks from their foundations by means of steam, and hurl mountains, as the giants are said to have done, against the flaming mass? - And then we shall have traditions of Titans again, and of wars with Heaven.



- Lord Byron, 1822

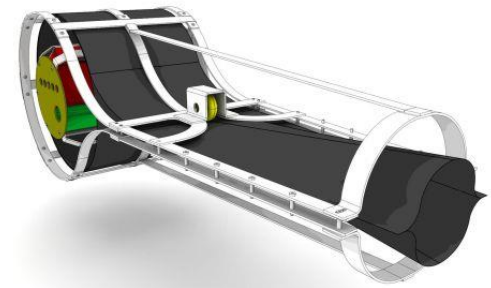


# noch mehr *pretty pictures*





# Ausblick – überall hin zu jeder Zeit: Sonnensegeln



- DLR-ESTEC *Gossamer roadmap*
- erste Technologiedemonstrator-Start *Gossamer-1* geplant für 3Q2015 mit EU-Hochatmosphären-Mission QB50
- Entfaltungsexperimente am Boden bereits durchgeführt:
  - Technik vom Ende der 90er Jahre
  - im Dornröschenschlaf bis 2011
  - leicht modernisierte Fortsetzung
- Ziele:
  - **erst** Technologie entwickeln in 3 Flügen, ohne von einer Wissenschafts-Nutzlast überfrachtet zu werden,
  - **dann** Wissenschaftsmissionen: Weltraumwetter, Sonnenphysik, NEA-Rendezvous-Tour



roll folding along



roll folding cross



coil







# post-mortem – die Zusammenfassung: Mission: Possible

- Kopie einer kürzlich geflogenen Mission – z.B. ...
  - Deep Impact modifiziert für Kollisionkurs-Missionen
  - geostationärer Satellitenbus + Rosetta-Instrumente für Rendezvous
  - ~3...5 Jahre Vorlauf mit „Massenproduktion“ von einigen 10 Stück
- Aufbau einer Trägerraketenreserve
  - von Delta-II-Klasse bis Ariane, Atlas, Delta IV, Proton
  - Startanlagen zeitweise exklusiv reserviert für sukzessive Startkampagnen
    - Vorerkundung mit geleichterten Sonden (nur Instrumente)
    - Parken von Flugkörpern (Erdorbit mit lagerfähigen Kickstufen)
    - Direktstarts zum Ziel
- Flotille fliegt das Ziel in der Nähe eines Bahnknotens an

NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	NAC	MAC	MAC	MAC	MAC	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W



# Zusammenfassung:

# Verlässlichkeit: Gegeben

- folgende Flugkörper beobachten die Wirkung der vorangehenden
  - laufende Anpassung des Anfluges bei Kollisionskurs-Missionen
  - flexible Wartestellung bei Rendezvous-Missionen
- Reservekapazitäten können zur „Nachbereitung“ genutzt werden
  - Abfangen von abgeplazten Zieltrümmern (Kollisionskurs-Missionen)
  - einstellen einer langfristig sicheren Umlaufbahn des Ziels (beide)
- Merke: Regel #1: Jeder abgefangene Asteroid ist ein Komet  
 Regel #2: Ist er es nicht, so ist es bloß der erste Versuch  
 Es gilt dann Regel #1
  - Impakt-Auswurf, verdampftes Oberflächenmaterial, Triebwerksabgase, Zieltrümmer ⇔ *künstliche Koma* !
  - Jeder Flugkörper muß kometensicher sein (Whipple-Schutzschilde)

$\Delta s \sim 0.05 \leq 0.2 \text{ AU}$   
 $\sim 5 \text{ Mbps}$

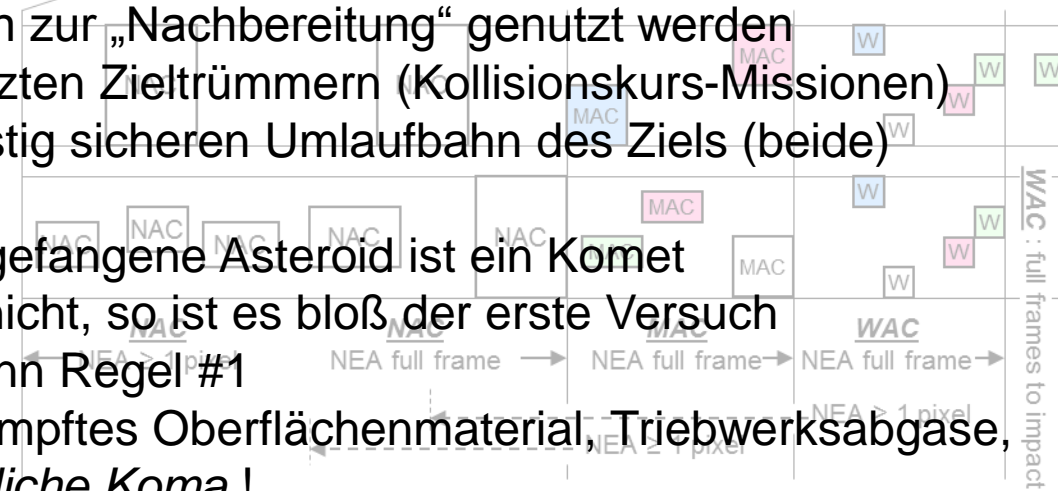
$\Delta s \sim 26000 \text{ km}$   
 $\Delta t \sim 25 \text{ min}$   
 $5 \text{ Mbps}$

$\Delta s \sim 26000 \text{ km}$   
 $\Delta t \sim 25 \text{ min}$   
 $5 \text{ Mbps}$

$\Delta s = 250000 \text{ km}$   
 $\Delta t = 4 \text{ h}$   
 $5 \text{ Mbps}$

$s = 5500 \text{ km}$   
 $\Delta t = 5.5 \text{ min}$

$\Delta v = 17 \text{ km/s}$   
 $\varnothing 140 \text{ m}$



# Zusammenfassung:

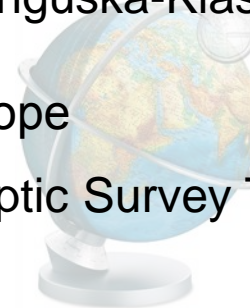
## ASTEROIDSQUADS/iSSB:

Serendipitous Quantitative Understanding and Assessment of Deflection Strategies using the DLR Kompaktsatellit bus kit evolved and improved for interplanetary flight

## Aufwand: Tragbar

- existierende interplanetaren Raumflugtechnik und Infrastruktur reicht aus
  - Erfahrung muß erhalten werden durch anhaltenden Flugbetrieb
  - in Extremfällen reicht punktuelle Unterstützung durch vorhandene militärische Technik aus (Raketenabwehr, Atomsprengkörper)
- ständig bereite „stehende Armee“ keinesfalls notwendig
- ABER: ständige Beobachtung des erdnahen Sonnensystems erforderlich!
  - Vorwarnzeit: > 1 synodische Periode für Anflug auf Bahnknoten
  - sehr erdnahe Objekte bis herab zu  $H = 25$  (Tunguska-Klasse / Mt-Impaktoren) vollständig erfassen
  - „tote Zone“ schließen: große Weitwinkelteleskope
- erste Schritte beginnen: PanSTARRS, Large Synoptic Survey Telescope

note: there ain't no such thing as a free launch.  
(payload not including space debris)



not to scale

# Zusammenfassung:

# Grenzen: Naturgegeben

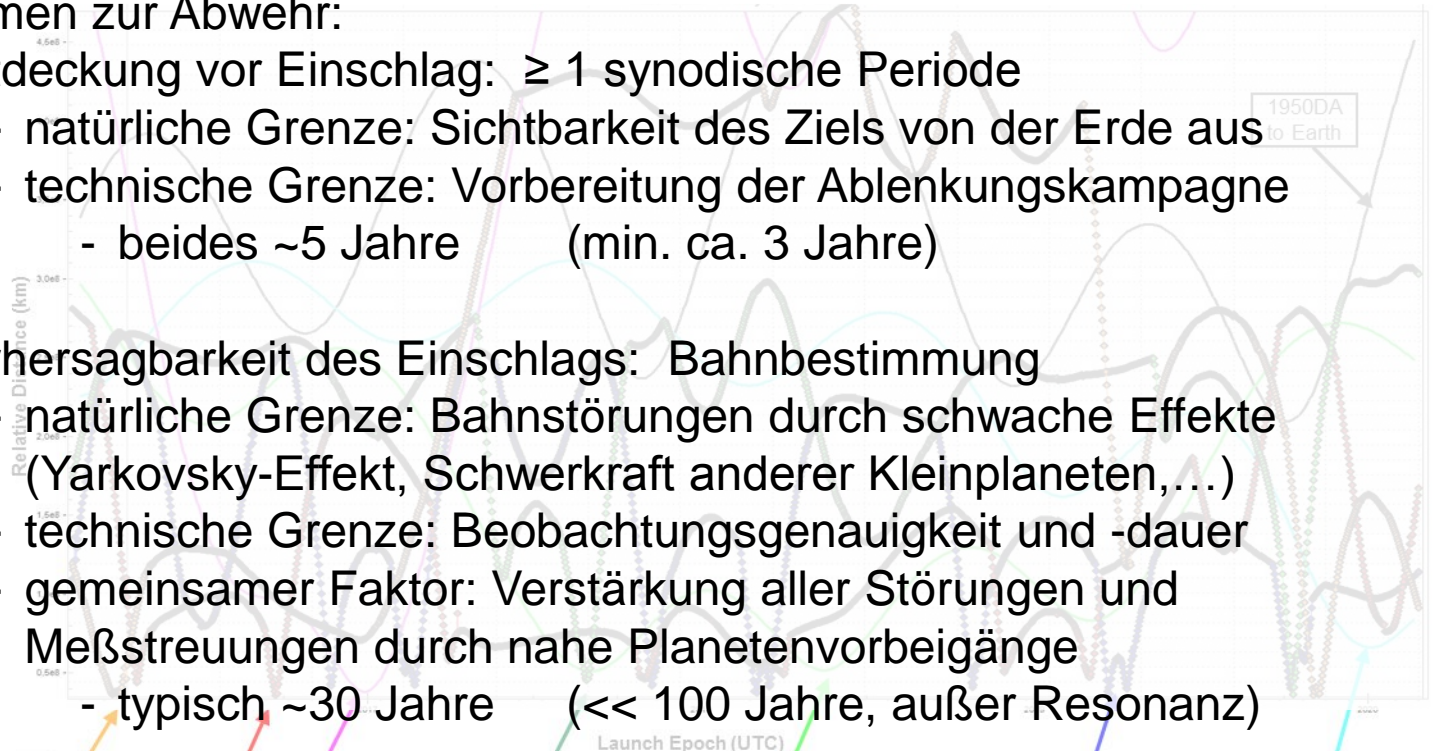
## - Zeitrahmen zur Abwehr:

- Entdeckung vor Einschlag:  $\geq 1$  synodische Periode
  - natürliche Grenze: Sichtbarkeit des Ziels von der Erde aus
  - technische Grenze: Vorbereitung der Ablenkungskampagne
    - beides  $\sim 5$  Jahre (min. ca. 3 Jahre)

## - Vorhersagbarkeit des Einschlags: Bahnbestimmung

- natürliche Grenze: Bahnstörungen durch schwache Effekte (Yarkovsky-Effekt, Schwerkraft anderer Kleinplaneten,...)
- technische Grenze: Beobachtungsgenauigkeit und -dauer
- gemeinsamer Faktor: Verstärkung aller Störungen und Meßstreuungen durch nahe Planetenvorbeigänge
  - typisch  $\sim 30$  Jahre ( $\ll 100$  Jahre, außer Resonanz)

Conjunctions between AsteroidSQUADS and Asteroids Depending on Launch Date (Transfer Time up to 500 Days)



AsteroidSQUADS to Toutatis

Toutatis to Earth

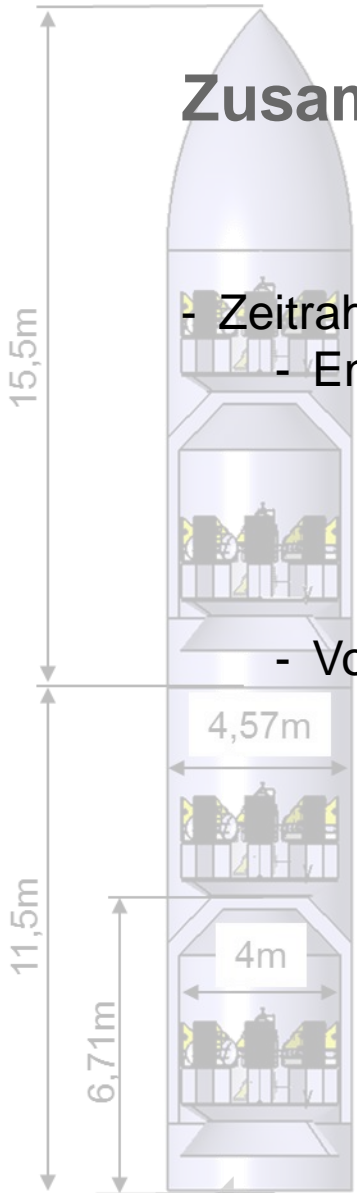
AsteroidSQUADS to 1950DA

1999RQ36 to Earth

AsteroidSQUADS to Apophis

Apophis to Earth

AsteroidSQUADS to 1999RQ36



## Zusammenfassung:

### Restrisiko

- ein großer Teil der potentiell gefährlichsten Objekte ist bereits entdeckt
  - 02AUG2012: 849 (87%) von  $976 \pm 30$  erwarteten NEOs >1 km\* entdeckt
- das Einschlagsrisiko bleibt unverändert – kein Objekt wurde abgelenkt
- das Restrisiko einer Überraschung ist stark zurückgegangen:
  - 20 Tote/Jahr durch lokal oder regional katastrophale Einschläge
  - 4 Tote/Jahr durch Einschlagtsunamis
  - 54 Tote/Jahr durch global katastrophale Einschläge
- kontinuierliche Reduktion des Risikos durch Katalogisierung von NEOs
- das Risiko durch eine „stehende Abwehr“ ist vermutlich größer
  - Havarie betanker Raketen, Wartungsunfälle, ggf. nukleare Risiken

\*) – 1 km  $\Leftrightarrow$  H = 17.75 – Daten: Alan Harris (USA), MoreData

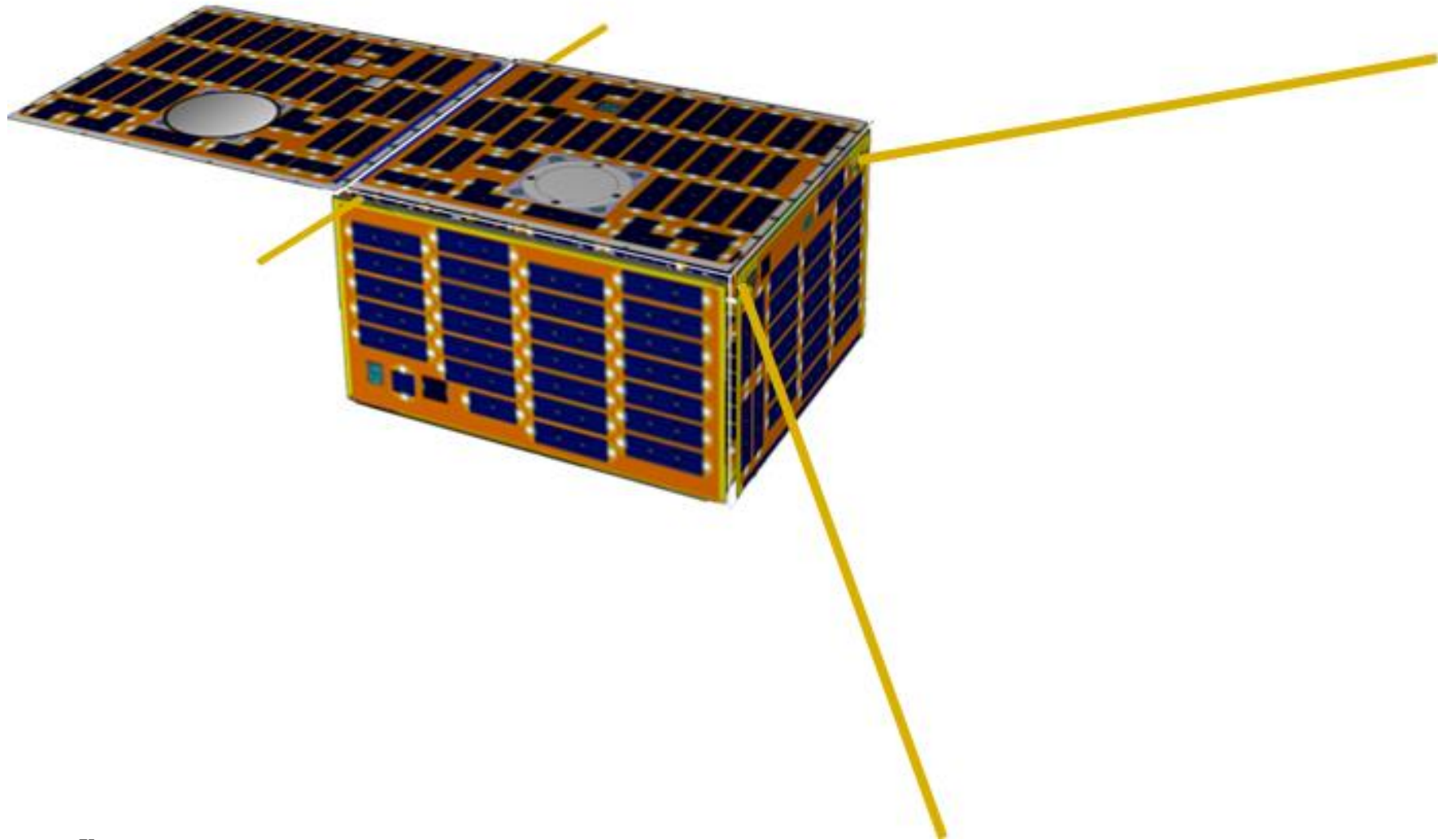


Diameter of impactor, km

K-T Impactor

Constant power law  
from 2003 SDT report  
Discovered to 06/10/08

# MASCOT2 (ESA)



## Risiko, ...aber:

- große Einschläge sind sehr selten
  - 1 km NEO: ca. alle 250 000 Jahre ~Nördlingen
  - 200 m NEO: ca. alle 160 000 Jahre Krater, Megatsunami
  - ca. alle 2500 Jahre Luftdetonation
  - 25-60 m NEO: ca. alle 100 – 600 Jahre ~Tunguska
  - 20 m NEO: ca. alle 10 Jahre ~1 Mt TNT
  - 6 m NEO: ca. monatlich ~Hiroshima
- kleine Objekte bleiben meist in der Atmosphäre „stecken“
  - schönes Feuerwerk mit Fundstücken...
    - 2008 TC<sub>3</sub>: ~ 1 – 2 kt TNT ~ taktische Atomwaffe
    - Bolide 20.04.12 ~ 3.8 kt TNT ~ nordkoreanischer Atomtest
  - ...oder Katastrophe!
    - Tunguska ~ 5 Mt TNT ~ Berlin weg bis zur A 10



# ...nur, daß uns der Himmel auf den Kopf fällt.

Alltägliche Risiken	Todesrisiko (Leben / Tod)	mittlere Ereignisopferzahl	mittlere Opferzahl p.a.
Rauchen (komplett)	10	1	~500000 (nur U.S.A.)
Rauchen (aktiv)	31	1	~33000 (nur Lungenkrebs, D)
Autounfall	100	1 .. 5	~5000 (nur D, U.S.A.: ~50000)
Mord	300	~1	
Feuer	800		
Rauchen (passiv)	1700	1	~600 (nur Lungenkrebs, D)
Stromschlag	5000	~1	
<b>Asteroideneinschlag</b>	10 000	100 000 000	300...400 (nur U.S.A.)
Anästhesieunfall	10 000	1	
Luftverschmutzung	10 000		(Los Angeles)
Flugzeugabsturz	20 000	< 581	(0...) 100...200
Überschwemmung	30 000	10 .. 100	
Vergiftung	3 000 000	~1	
BSE	15 000 000	1	(für Großbritannien)
Handstück-Meteorit	10 <sup>8</sup> ... 10 <sup>9</sup>	1	0.01 ... 0.1 (weltweit)
Cassini-Absturz	5 · 10 <sup>9</sup>	50	1 (weltweit, kpl. 33 kg <sup>238</sup> Pu)





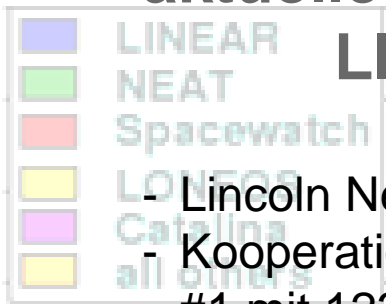
# Automatisierung der Astronomie: Spacewatch<sup>®</sup> erste große CCD-Durchmusterung, aktiv seit 1985

- breit angelegte Suche nach Kleinkörpern des Sonnensystems
- gegründet 1980 von Tom Gehrels und R.S. McMillan
- 43735 Entdeckungen 1985-2010 (Stand 2011 Jun 17: #2)
- CCD-Raster-Beobachtungen in 20 Nächten / Lunation
- Steward Observatory 0.9 m Spacewatch Telescope, Kitt Peak
- neues Spacewatch 1.8 m Telescope, Kitt Peak (seit 2002)
- kontinuierliche Leistungssteigerung
  - von einem 320x512 CCD zum Mosaik aus vier 4608x2048 CCDs
  - von 19.6 zu 22 mag Grenzmagnitude (Empfindlichkeit)
  - von 1.733 auf 1 Bogensekunde / Pixel Auflösung

All Asteroids

aktuelle CCD-Durchmusterungen – „die Großen“

LINEAR & CSS/SSS



- Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR)
- Kooperation von U.S. Air Force, NASA, MIT Lincoln Laboratory
- #1 mit 123752 Entdeckungen seit 1997
  - zwei 1 m Suchteleskope; 2 Quadratgrad Bildfeld, >19.5 mag Grenzmagnitude
  - ein 0.5 m Verfolgungsteleskop
  - benutzt alte Teleskope, die für die Beobachtung von Objekten in der Erdumlaufbahn entwickelt wurden, ausgerüstet mit neuen CCD-Kameras
- Catalina Sky Survey and Siding Spring Survey
- assoziierte Kampagnen auf Nord- und Südhalbkugel (Süd z.Zt. stillgelegt)
- wären zusammen #4 mit 21132 Entdeckungen seit 1998 (#5, #6, #15)
  - 1.5 m-Teleskop Mt Lemmon, Arizona, 1° Bildfeld, 21.5 mag
  - 68 cm Schmidt beim Mt Bigelow, Arizona, 9° Bildfeld
  - 50 cm Schmidt in Siding Spring, Australien
  - identische 4096x4096 pixel CCD-Kameras und Software



Half Year Intervals

19 January 2011

Alan B. Chamberlin (JPL)



image: Alan B. Chamberlin, JPL



# die erste Suchkampagne: Die Himmelspolizey

## – international und koordiniert von Anfang an

- ausgehend von J. de Lalande's Idee, vorgestellt beim Ersten Europäischen Astronomenkongreß am Seeberg-Observatorium, Gotha, Aug.1798
- organisiert von F.X. von Zach & J.H. Schröter, führt zur Gründung der Astronomischen Gesellschaft (heute noch bestehend)
- ein klares wissenschaftliches Ziel: Bestätigung der Titius-Bode-Reihe durch die Entdeckung des fehlenden Planeten zwischen Mars und Jupiter bei ~2.8 AU
- Leitung der Kampagne gemeinsam durch von Zach (Weimar) und Olbers (Bremen), mit Schröter (Lilienthal bei Bremen)

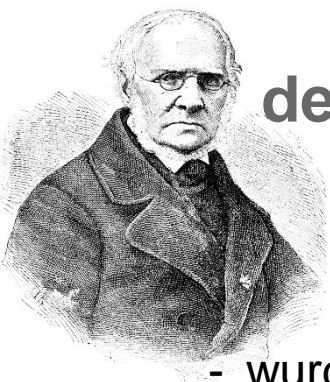
1.1.1801: Zufallsfund Ceres durch Guiseppe Piazzi

Wiederauffindung der Ceres durch von Zach (7.12.1801) und Olbers, ermöglicht durch C.F. Gauß' mathematische Methoden, in Verbindung mit anderen Himmelspolizey-Beobachtern

- Ceres wäre sonst verlorengegangen

- Gründung erster Fachzeitschriften, die wissenschaftliche Briefwechsel ersetzen





## der erste Amateur: Karl Ludwig Hencke – Astraea und Hebe

- \*1793 - †1866, lebenslang astronomischer Beobachter
- wurde Postbeamter nach einer schweren Verwundung in den Befreiungskriegen bei Großgörschen
- erstellte während seinen Arbeitelbens in Verbindung mit Encke >200 Sternkarten, die jedoch durch Argelanders parallele Arbeiten kaum bekannt wurden und infolge nicht mehr zu veröffentlichen waren
- ging 1837 in Rente und widmete sich ganz der Astronomie
- entdeckte (5) Astrea and (6) Hebe in 1845 and 1847,
  - **38...40** Jahre nach (4) Vesta
  - Berufsastronomen hielten das Sonnensystem für abgeschlossen
  - Neuanfang der Suche → es gibt 8 große Planeten (Humboldt 1851)
- K.L. Hencke erhielt ab 1847 bis zu seinem Tode über 19 Jahre lang einen Ehrensold von 1200 Goldmark von Preißischen König für seine Entdeckung von Astraea und Hebe; heute etwa
  - 1200 M  $\cong$  14500 € nach Goldwert Mitte 2011 (10062 ... 18480 € je nach Umrechnungsmethode)
  - >180000 € jährlich nach der zeitgenössischen Lebensarbeitskraft
    - enjoyed this benefit for more than 19 years until his death in 1866...
  - Kontext Märzrevolution 1848: Astraea – Göttin der Gerechtigkeit, Hebe – Göttin der Jugend



## weitere moderne CCD-Durchmusterungen: „Ehemalige“ und „Andere“ an der Spitze

- NEAT (1995-2007) & LONEOS (1998-2008) immer noch #3 & #4 mit 28630 bzw. 16563 Entdeckungen



- Takao Kobayashi, Professor an der Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering am Tokyo Institute of Technology
  - 2469 Entdeckungen 1991-2002 (#9, #682), am 25 cm-Teleskope des Oizumi Observatoriums, Präfektur Gunma (IAU Observatoriumskennung 411)



- William Kwong Yu 'Bill' Yeung
  - 1726 Entdeckungen 1999-2008 (#10, #682); vom Rock Finder Observatory bei Calgary (652), später am Desert Beaver Observatory (919) und Desert Eagle Observatory (333) in Arizona, mit seinem 18" (45 cm) Teleskop
  - entdeckte J002E3, die Saturn IVB-Oberstufe von Apollo 12 auf interplanetarer Bahn bei ihrer Wiederkehr zur Erde

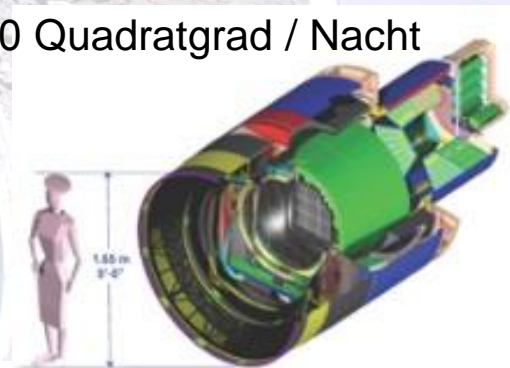


## die Zukunft beinnt jetzt:

### Nord & Süd, PanSTARRS & LSST

- zurück zu den Wurzeln: umfassende Vielzweck-Durchmusterungen
- andere wissenschaftliche Ziele bedingen mehr Instrumentenleistung als Asteroiden-Themen – die Suche ist kein „requirements driver“ mehr!
- Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System
  - 1.8 m, 3° Bildfeld, 1400 Mpixel, 0“.3 Auflösung, 6000 Quadratgrad / Nacht
  - erreichbare Himmel 3 mal pro Lunation zur Grenzhelligkeit 24 mag abgerastert
  - Bewegungskompensation ohne bewegte Teile im Sensor – OTCCD
- Large Synoptic Survey Telescope
  - 8.4 m, 3.5° Bildfeld, 3200 Mpixel, 0“.2 Auflösung, 18000 Quadratgrad / Nacht
  - technisches „first light“ 2017 erwartet
  - in Betrieb bis 2020

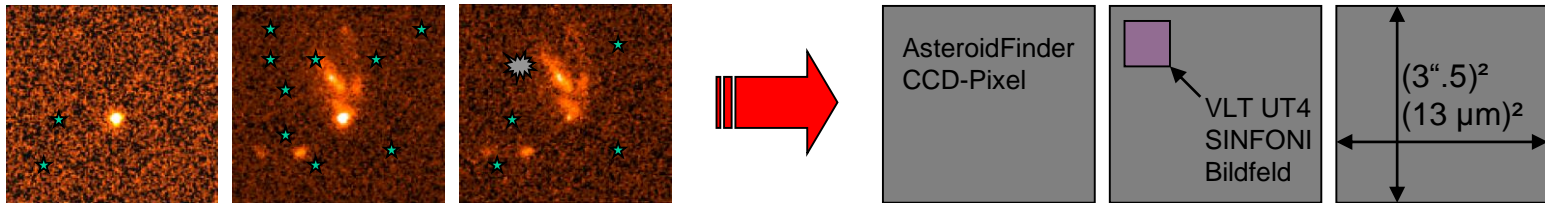
Hinweis: das ist bloß die LSST-Kamera, nicht das LSST-Teleskop! ☺ →



# Teleskop ≠ Teleskop

- Sterne und Nebel bilden einen diffusen Hintergrund bei jeder Auflösung (“Billions and Billions”)
- interplanetarer Staub bildet einen lokalen Hintergrund um die Sonne (Zodiakallicht, Erde-Mond-Staub- und Natrium-Wolken)
- die Korona bildet einen auf die Sonne zentrierten, variablen Hintergrund, der weiter reicht als die von SOHO LASCO C-3 abgedeckten  $32 r_{\odot}$

Bei jeder Kamera, bei jedem Abbildungsmaßstab kann...



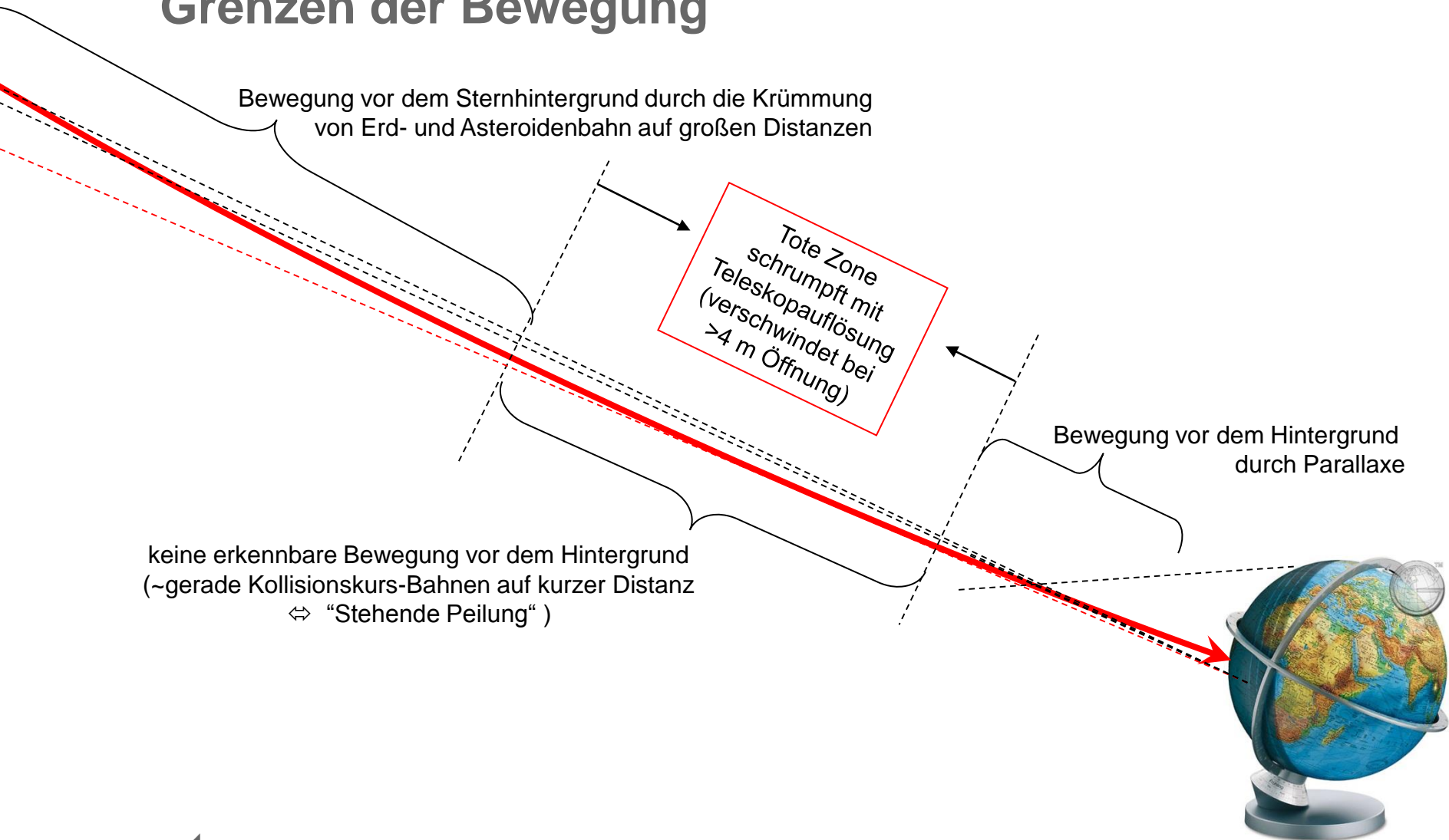
...diffuser Hintergrund, stellarer Hintergrund, oder ein durchlaufender Asteroid... ...GENAU GLEICH AUSSEHEN.

Hintergrundbild: GRB990123 mit HST STIS, auf  $(3''.2)^2$  Gesamtbildfeld,  $0''.05$  Detektorpixel,  $0''.025$  drizzled — Differenz Feb'99-Feb'00 – Feb'99 – Mar'99

HST FOC im hochauflösenden Modus:  $(3''.6)^2$  Gesamtbildfeld – VLT UT4 SINFONI im hochauflösenden Modus :  $(0''.8)^2$  Gesamtbildfeld



# Grenzen der Bewegung



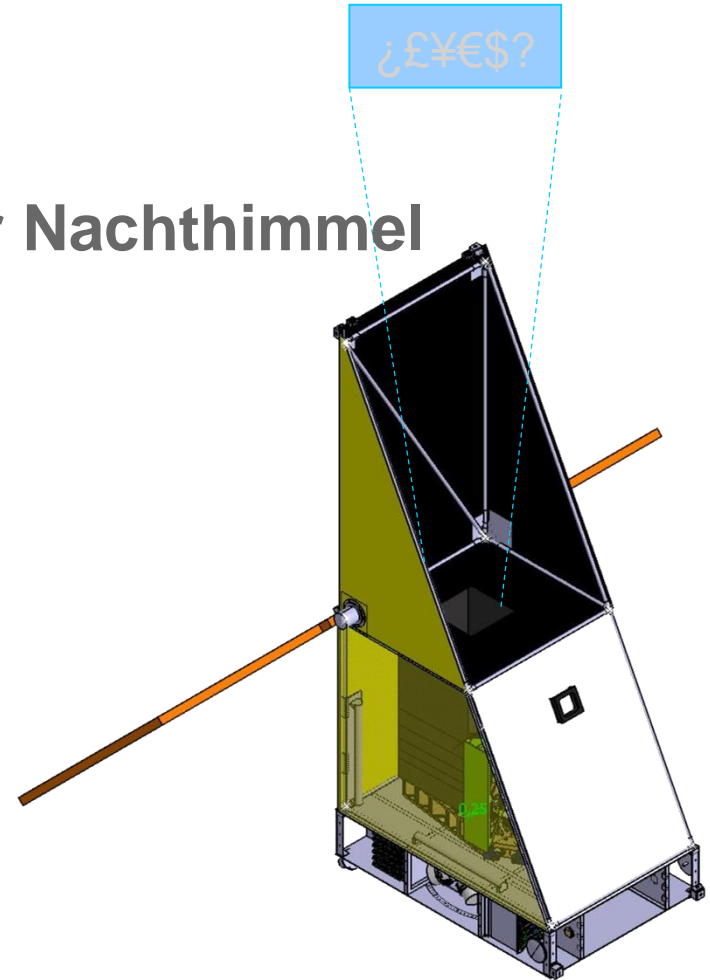


# Werbeeinblendung:

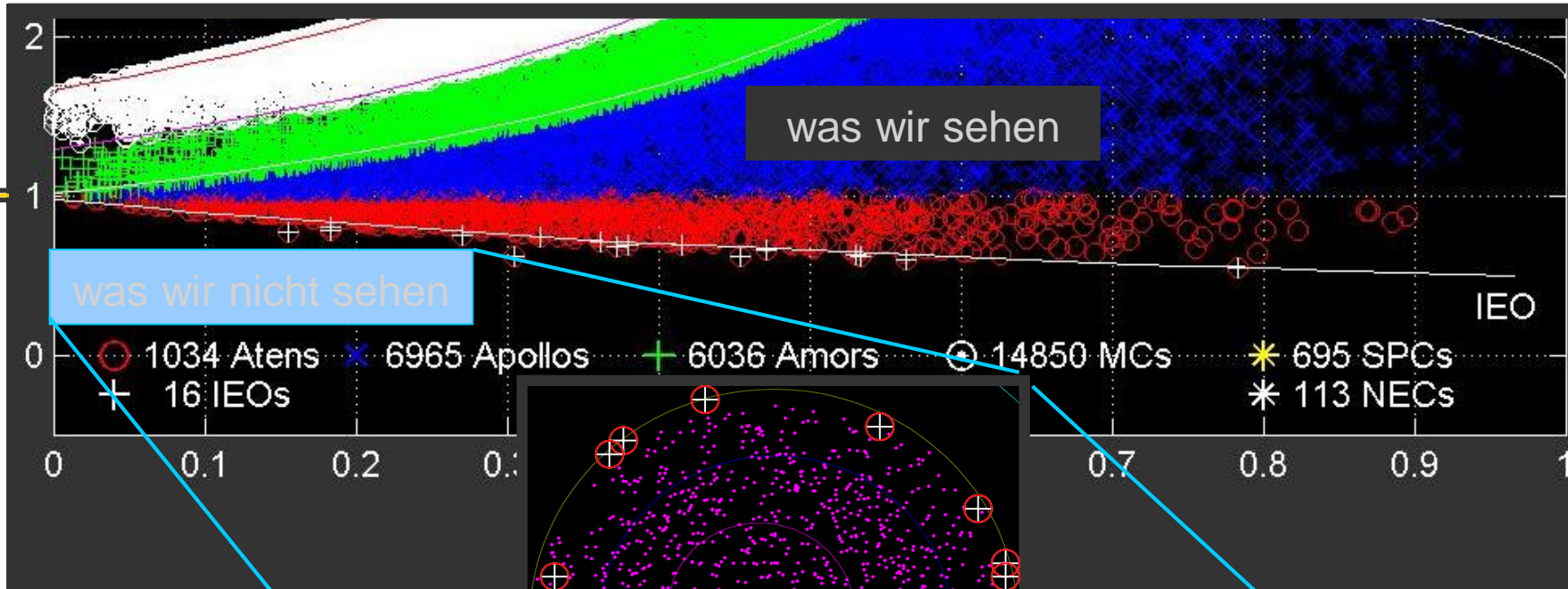
**+++ OLD NEWS +++ mission cancelled +++**

# DLR bietet Suchen tagsüber Nachthimmel

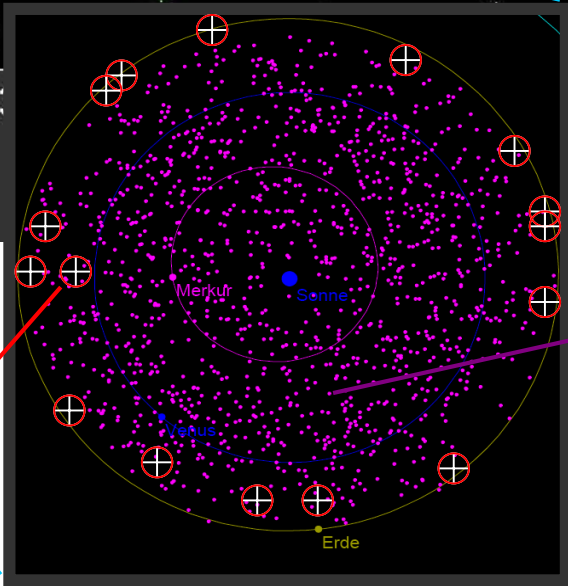
- AsteroidFinder
  - DLR-Kleinsatellit ~180 kg
  - Beobachtung zwischen  $60^\circ$  und  $\leq 30^\circ$  Elongation
- Off-Axis-Teleskop (Cook TMA)
  - effektiv- $\varnothing$  ~25 cm
  - Grenzgröße +18.5 mag
- Start **war** für 2014/15 geplant
- Hauptziel: Suche nach Asteroiden innerhalb der Erdbahn
- Nachverfolgung von Asteroiden die zur Tagseite ziehen



# die Lücke



16 IEOs bekannt  
 meist mit Aphelia ~ 1 AU  
 1 PHA; 1 quasi-PHA mit  $\varnothing < 140$  m

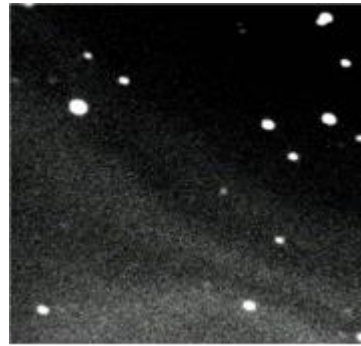


gut 1000 IEOs  
 bis herab zu  $\varnothing 100$  m

was wir erwarten



## Asteroid 101: The Devil is in the Details



(99942) Apophis

...benannt nach dem Altägyptischen Entschöpfer, der in der ewigen Dunkelheit der Unterwelt residiert. Ein naher Erdvorbeiflug am Fr. 13. April 2029 unterhalb der geostationären Höhe wird Apophis auf eine Bahn zwischen  $\sim 0.1$  AE Erdabstand und einem Erd-Volltreffer am 13. April 2036 schleudern, bei  $2.2E-5$  geschätzter Einschlagwahrscheinlichkeit.

Hinweis: (99942) + ☄ + ♃ → '666' + 42 ;-)



# Asteroid 101: IEOs, NEOs, Mitigation

## FAQ resources

- Gerhard Hahn, DLR EARN asteroid database: <http://earn.dlr.de/nea/> (*erstellt Populationsgraphiken*)
- IAU: Minor Planet Center – Lists and Plots: Minor Planets: <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/MPLists.html>
- NEODyS Near Earth Objects Dynamic Site: <http://newton.dm.unipi.it/cgi-bin/neodys/neoibo>
- Don Yeomans, NASA NEO Program – Current Impact Risks: <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>
- David Vokrouhlický, Paolo Farinella and William F. Bottke, Jr.; The Depletion of the Putative Vulcanoid Population via the Yarkovsky Effect, *Icarus* Volume 148, Issue 1, Nov. 2000, p. 147-152 (*google by title*)
- Patrick Michel, Vincenzo Zappalà, Alberto Cellino, Paolo Tanga; Estimated Abundance of Atens and Asteroids Evolving on Orbits between Earth and Sun, *Icarus* Volume 143, Issue 2, Feb. 2000, p. 421-424 (*google b.t.*)
- William F. Bottke, Jr., Alessandro Morbidelli, Robert Jedicke, Jean-Marc Petit, Harold F. Levison, Patrick Michel and Travis S. Metcalfe; Debaised Orbital and Absolute Magnitude Distribution of the Near-Earth Objects, *Icarus* Volume 156, Issue 2, Apr. 2002, p. 399-433 (*erstellt Populationssimulationen - google by title*)
- Tunguska Home Page, University of Bologna: <http://www-th.bo.infn.it/tunguska/> → Publications
- Michael J.S. Belton, Thomas H. Morgan, Nalin H. Samarasingha, Donald K. Yeomans (ed.), *Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids*, Cambridge University Press, 2004
- John S. Lewis, *Rain of Iron and Ice*, Addison-Wesley, 1997 (extended paperback ed.)
- Spaceguard Foundation: <http://spaceguard.rm.iasf.cnr.it/SGF/INDEX.html> <http://www.spaceguarduk.com/>
- Christian Gritzner, *Kometen und Asteroiden – Bedrohung aus dem All*, Aviatic Verlag (1999)
- Ralph Kahle, *Modelle und Methoden zur Abwendung von Kollisionen von Asteroiden und Kometen mit der Erde*, Doctoral Thesis, Technische Universität Berlin (2005):  
[http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2005/1127/pdf/kahle\\_ralph.pdf](http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2005/1127/pdf/kahle_ralph.pdf) , dies und mehr unter  
<http://www.weblab.dlr.de/rbrt/Publications/PubKahle.html>
- Jan Thimo Grundmann, *Betrachtung des Missionsszenarios zur Verhinderung von Einschlägen von Asteroiden auf die Erde unter Berücksichtigung des Bedrohungspotentials und der technischen Möglichkeiten*, diploma thesis, RWTH Aachen (2006): <http://www.kiwikommando.de/space4space/> (*provisorisch*)

