



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.

Asteroid auf Kurs

Was nun? – Was tun!



Was vorgestern noch wie ein Märchen klang,
ist heute Wirklichkeit geworden. Zwischen
vielen Nationalstaaten arbeitet die
Menschheit an ihren Werken im Weltraum
zusammen. Man landet auf fernen Planeten.
Der Meeresboden ist als Arbeitsraum
erschlossen. Mit immer noch unvorstellbaren
Geschwindigkeiten durchheilen Raumschiffe
unser Sonnensystem. Einige dieser
Raumschiffe sind Teil eines globalen
Sicherheitssystems, das die Erde vor
Bedrohungen aus dem All schützt. Begleiten
wir sie und ihre Betreiber bei ihrem
Patrouillendienst am Rande ihres
Schreibtisches...

...3...2...1... Prolog

Hier ist ein Märchen von gestern...



...ein Wintermärchen:





... ?? ... Win-ter-mär-chen !?!



... Ja.

... Warum?





- **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 umzu blauer, eisclarer Morgenhimmel kurz vor Sonnenaufgang**



Ja, wo laufen sie denn?



...eigentlich erstmal in Bremen & Lilienthal

L'Observatoire d'astronomie physique, à Menton.



die erste „Himmelpolizey“

MONATLICHE – international und koordiniert von Anbeginn

CORRESPONDENZ

ZUR BEFÖRDERUNG

DER

ERD- UND HIMMELS-KUNDE,

herausgegeben

VON

FR. VON ZACH,

H. S. Oberwachtmeister und Director der Sternwarte
Seeberg.

ERSTER BAND.

G O T H A,

im Verlage der Beckerischen Buchhandlung

1800.



- inspiriert von Lalandes zonaler Himmelsdurchmusterung
- organisiert im August 1798 durch Frh. von Zach und J.H. Schröter
- 1 einfaches Ziel: Titius-Bode-Regel bestätigen – **findet den Planeten zwischen Mars und Jupiter!**
- 01.01.1801 – Piazzi findet Ceres
...war eingeladen, aber nicht dabei...
- C.F. Gauß berechnet die Bahn aus sehr wenigen Beobachtungen
- 07.12.1801 – von Zach, Olbers und der Himmelpolizey gelingt die Wiederaufindung von Ceres
- 3 weitere Asteroiden entdeckt

was bleibt? – Fachzeitschriften!

CORRESPONDANCE

ASTRONOMIQUE,

GÉOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE

ET STATISTIQUE

DE

FRANÇOIS DE ZACH.

Sans franc-pensée en l'exercice des lettres,
il n'y a ni lettres, ni science, ni esprit, ni rien.

PLUTARQUE

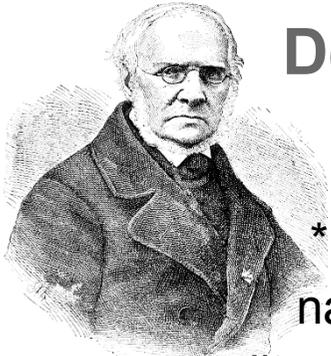
Premier Volume.

À GÈNES,

Chez A. PONTRENIER, imprimeur-fondeur,
Place Pollaroli, n.º 1.

An 1800.





Der erste Amateur – Karl Ludwig Hencke

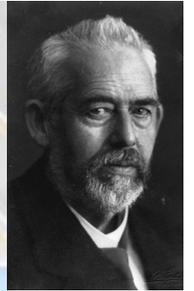
- *1793 - †1866, zeitlebens astronomischer Beobachter nach Kriegsversehrung bei Großgörschen Postbeamter
- erstellte >200 Himmelskarten in Korrespondenz mit Encke
- entdeckte (5) Astrea und (6) Hebe (1845 bzw. 1847)
 - **38...40** Jahre nach (4) Vesta
 - Berufsastronomen hatten das Sonnensystem als vollständig angesehen
 - Neubeginn der Asteroidensuche → 8 große Planeten (Humboldt 1851)
- königliche Belohnung 1847:
 - jährlicher Ehrensold von 1200 Goldmark vom preußischen König
- heutiger Wert
 - 1200 M \cong 14500 € nach Goldwert (10062 ...18480 € nach üblichen Konversionsregeln)
 - >180000 € jährlich nach Umrechnung über jahresarbeitszeitbezogene Kaufkraft
 - bezogen über mehr als 19 Jahre bis zu seinem Tode
- Kontext zur März-Revolution 1848: Astraea – Göttin des Rechts, Hebe – Göttin der Jugend



Kleinplanetenentdeckungen purzelnund das Interesse fällt

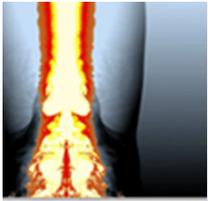
- Asteroiden: Eine Entdeckung des 19. Jahrhunderts
- „zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatten die Astronomen das Sonnensystem im wesentlichen verlassen“
- professionelle Astronomie
 - ↔ wirklich relevante große Fragen des All-tags:
 - Stern- & Galaxienentwicklung, Kosmologie, Relativität, Strahlung
 - 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 ...





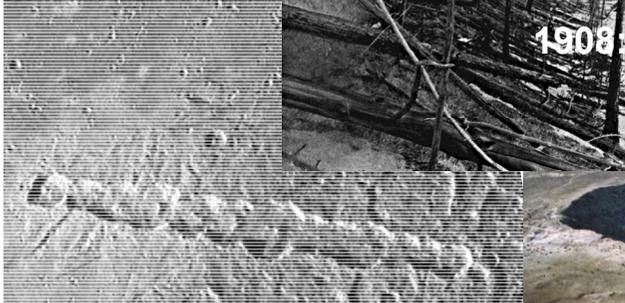
...was man schwarz auf weiß... – vom Auge zur Photoplatte

- die Himmelspolizey entwickelt sich zu Spezialisten
 - Störobjekte werden Themen: Veränderliche, Novae, Astrometrie,...
 - Schwerpunktwanderung der Durchmusterungen: Sterne → Nebel
- um 1900 versuchen Palisa und Wolf eine neue Organisation der Durchmusterungen wie 100 Jahre zuvor – mit wenig Erfolg
 - Johann Palisa – rein visueller Asteroidenentdecker, 122 von 1874-1923
 - Max Wolf – rein photographischer Asteroidenentdecker, 228 von 1891-1932
- einige langfristige Suchvorhaben folgen noch...
 - kaum oder begrenzte Koordination – wenn überhaupt 2 parallel laufen
 - meist an kleinen Teleskopen, zu „beschränkt“ für „echte“ Astronomie
 - E. Delporte – 66 Entdeckungen von 1925-1942
 - Debehogne – 617 Entdeckungen von 1965-1994
 - van Houten et al – 4466 Entdeckungen von 1960-1977
 - die Shoemakers et al – 385 Entdeckungen von 1980-1994



Der lange Weg der Erkenntnis

– oder: manche himmlische Bahn endet als geologische Exkursion



1908 Tunguska-Ereignis durch Augenzeugen als Einschlag identifiziert



1960: Meteor Crater durch Hochdruckminerale bestätigt



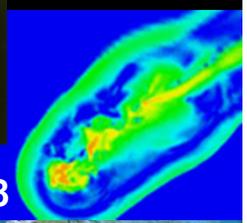
1962: Sedan-Krater kerntechnisch erzeugt



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

Shoemaker-Levy 9 Großeinschlag ‚live‘ :1994

umfassende Tunguska-Simulation :2008



...vom Photon zur Datenbank: die CCD-Revolution – Spacewatch, Linear, Catalina, Siding Spring

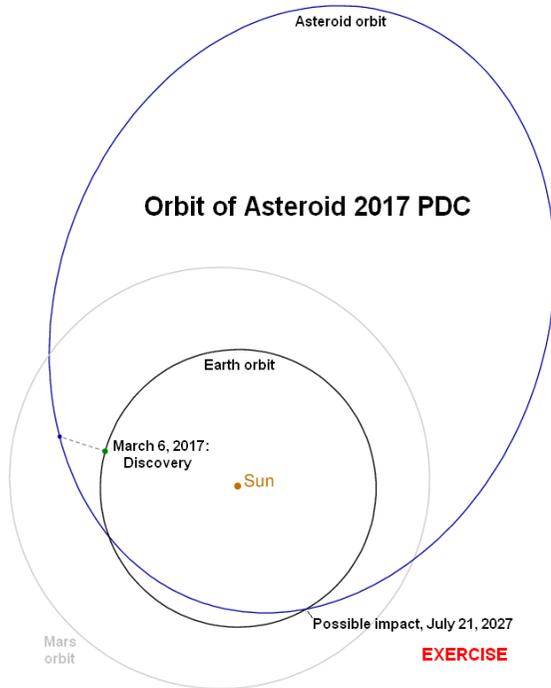
- Spacewatch® **1980** gegründet von Tom Gehrels & R.S. McMillan
- nutzt „abgelegte“ Teleskope der unteren Mittelklasse (0.9 m und 1.8 m)
- aktiv seit 1985 – 43735 Entdeckungen in den ersten 25 Jahren
- kontinuierliche Leistungssteigerung: von einem 320x512 pixel CCD zu vier 4608x2048 CCDs
- LINEAR – seit 1997, Zusammenarbeit U.S. Air Force, NASA, MIT
- nutzt ausgemusterte Teleskope zur Satellitenverfolgung mit neuen CCDs
- lange führend bei der Anzahl der Entdeckungen
- Catalina Sky Survey & Siding Spring Survey
- gemeinsame Überwachung des nördlichen und südlichen Himmels
- z.Zt. führend bei Entdeckungen

Da kommt was auf uns zu...



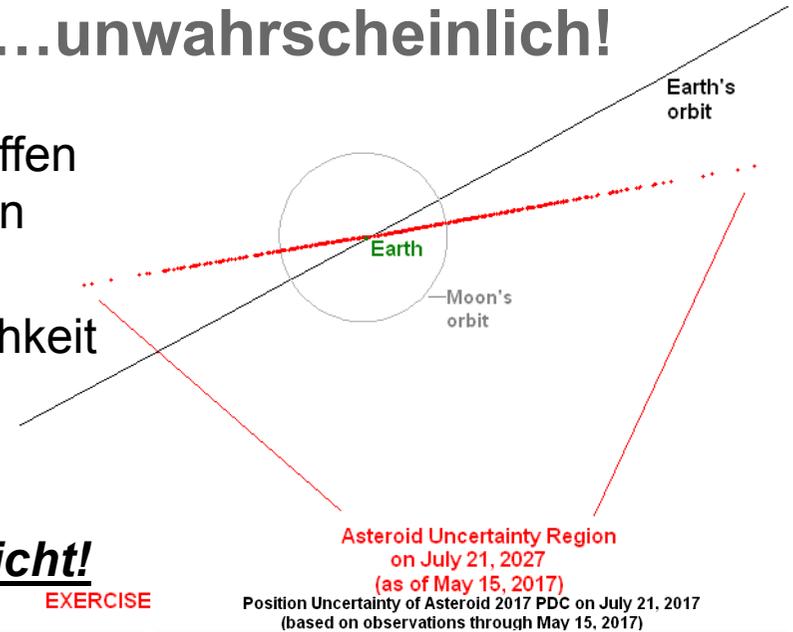
...man bekommt ja täglich
neues auf dem Schirm...



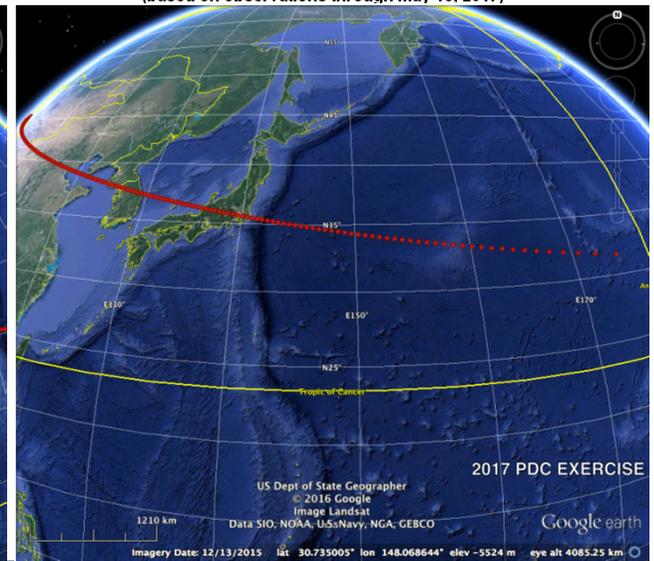
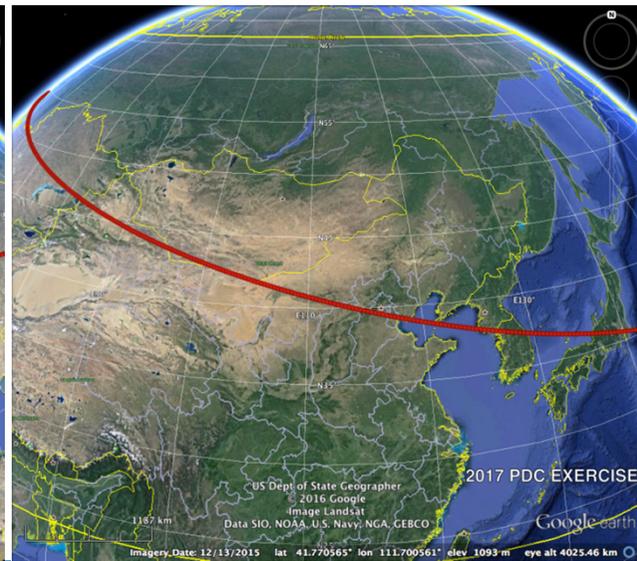


Aller Anfang ist... ..unwahrscheinlich!

- nach der Entdeckung treffen nur wenige der möglichen Bahnen die Erde
- Einschlagswahrscheinlichkeit ca. 1%
- Größe: Ø 100...250 m



...und mehr weiß man nicht!



**EXERCISE - EXERCISE
not a real world event**

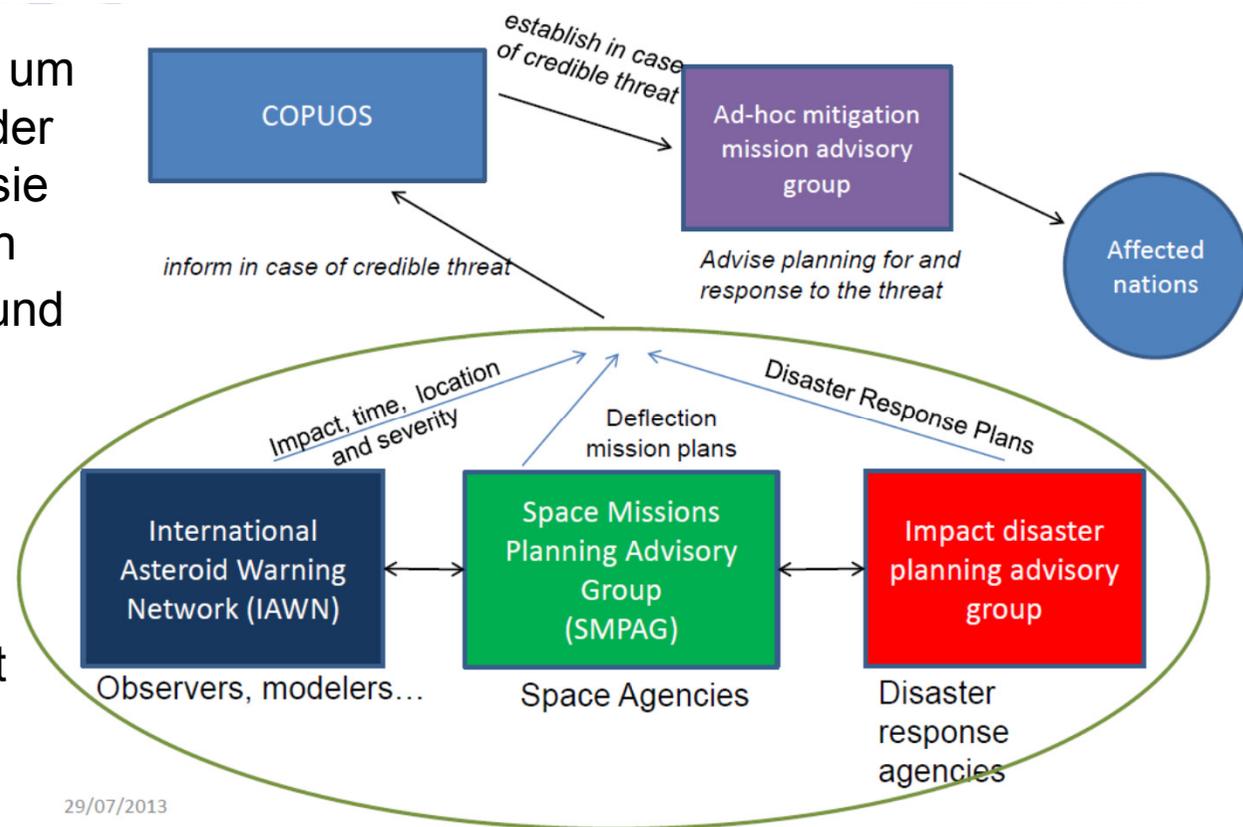
Images: Chodas, Barbee, et al
2017 (PDC Exercise)

Na, reden wir mal über 1% ...

- was kostet das?
- brauchen wir das?
- geht's nicht auch so?

...reden geht immer – und inzwischen ist man sogar vorbereitet! ;-)

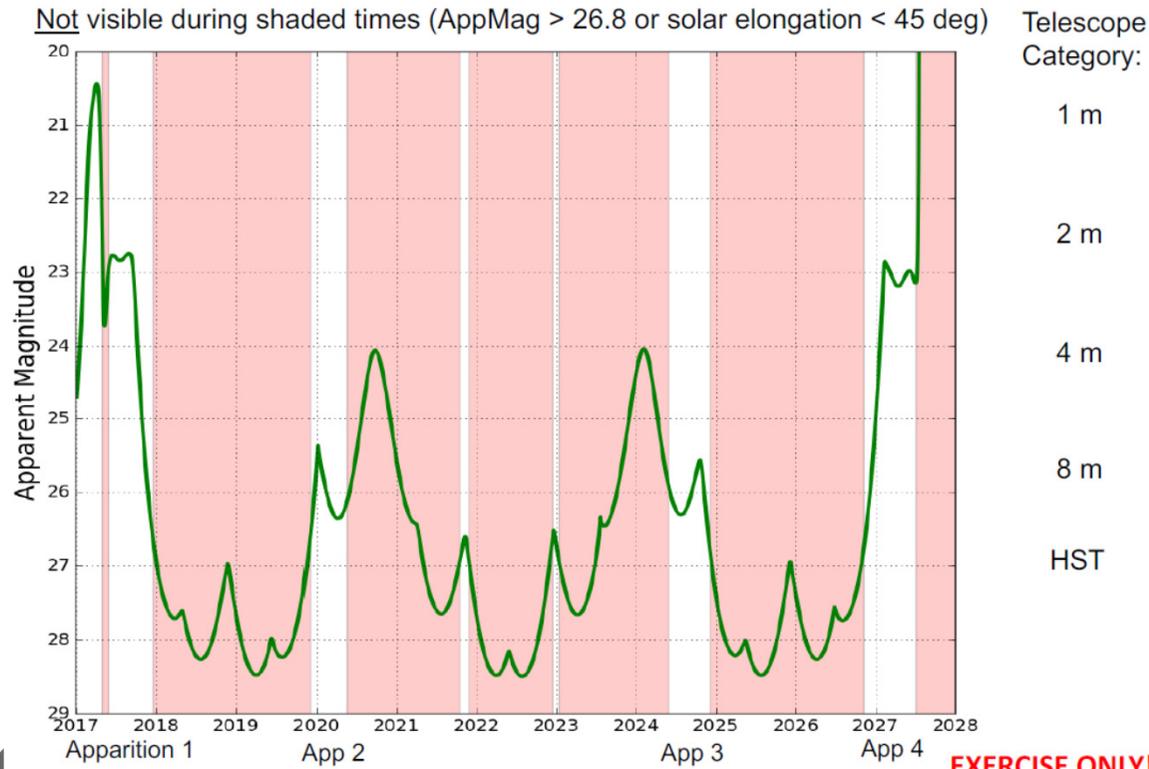
- „normale“ Vorgänge benötigen etwa 5 Jahre, um auf eine Tagesordnung der UN zu gelangen, bevor sie diskutiert werden können
- vorbereitete Strukturen und Prozeduren sind nötig
- Astronomen, Raumfahrtagenturen, Katastrophenschützer, Diplomaten haben sich entsprechend aufgestellt
- „Tischübungen“ werden bereits durchgeführt



Horrido! – auf zur Asteroidenjagd!

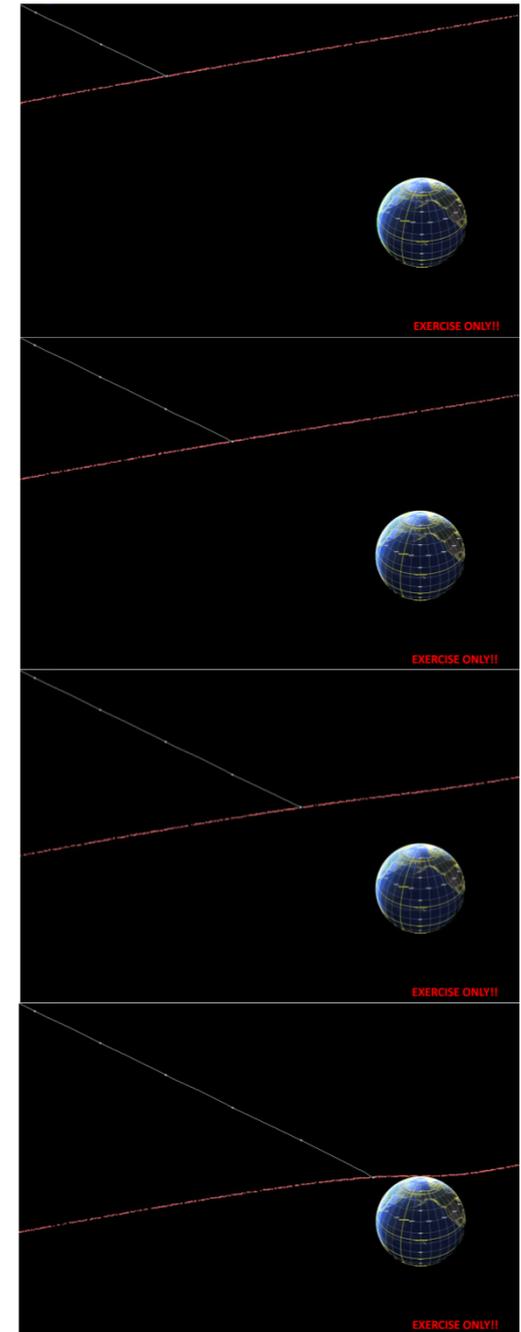
- kleine Asteroiden gehen leicht wieder verloren
- in dieser Übung gibt es kaum Beobachtungsgelegenheiten:
 - zu weit entfernt – selbst für Super-Teleskope & Hubble
 - zu nah an der Sonne für alle Teleskope

...außer:... in memoriam AsteroidFinder: dieser DLR-Satellit war für Elongationen bis herab zu 30° entworfen!



EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

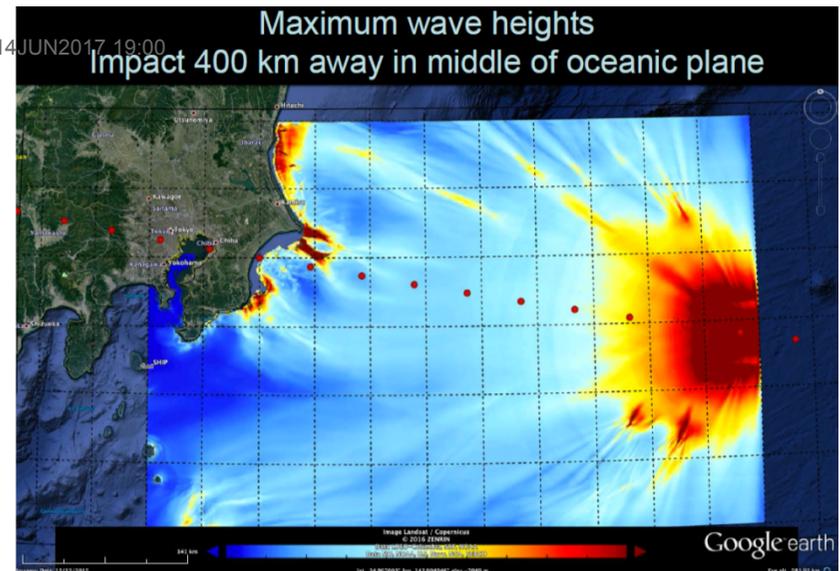
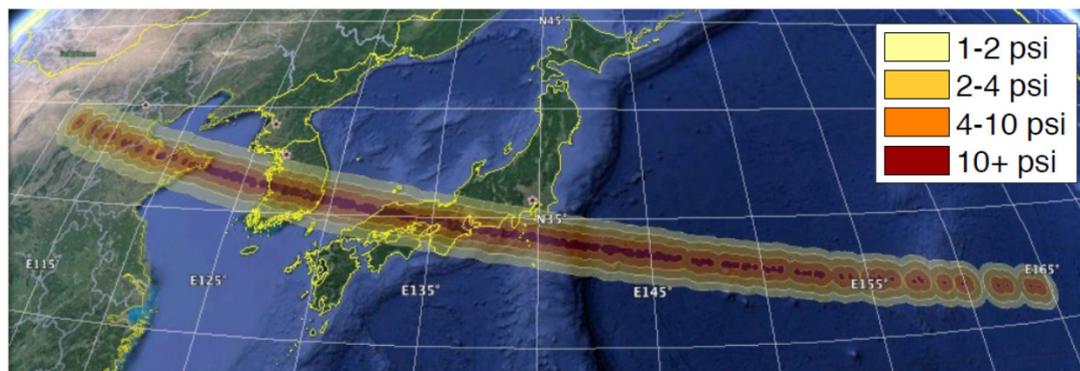
Images: Chodas, Barbee, et al
2017 (PDC Exercise)



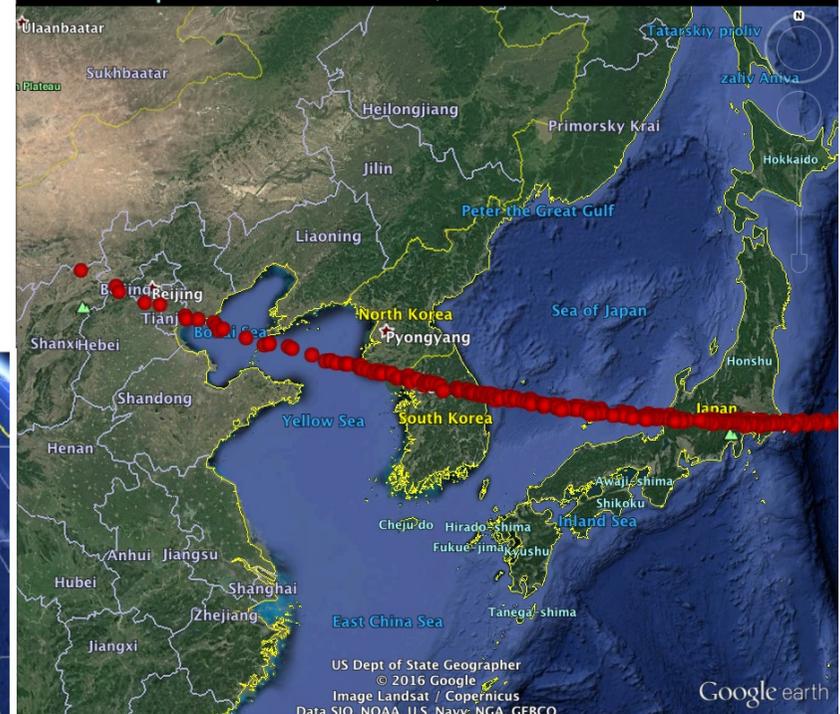
...nur die im dunklen...

- Beobachtung durch Hubble und Subaru-Teleskop (8 m) war knapp (!) möglich
- Einschlagswahrscheinlichkeit steigt auf 11%
 - weitere 11 Monate unsichtbar
- mit der Wiederauffindung steigt die Einschlagswahrscheinlichkeit auf 96%
- Radar-Kontakt war nicht möglich
- Größe durch Infrarot-Beobachtung mit NEOWISE bestmöglich bestimmt: Ø 200...280 m
 - dunkler Asteroidentyp, reflektiert nur 4...8%

jede dieser Einrichtungen ist einmalig!



Max depth at shore = 25 m, Flooded area = 46.5 km²



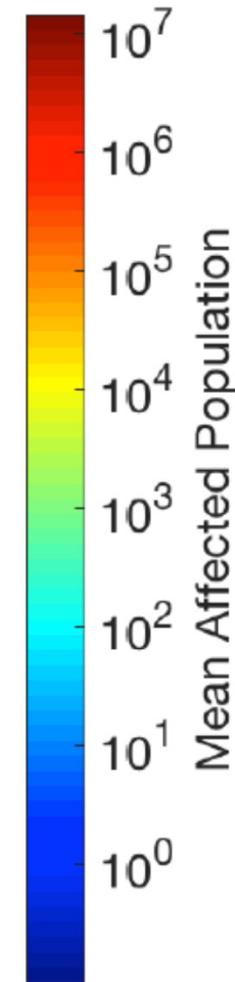
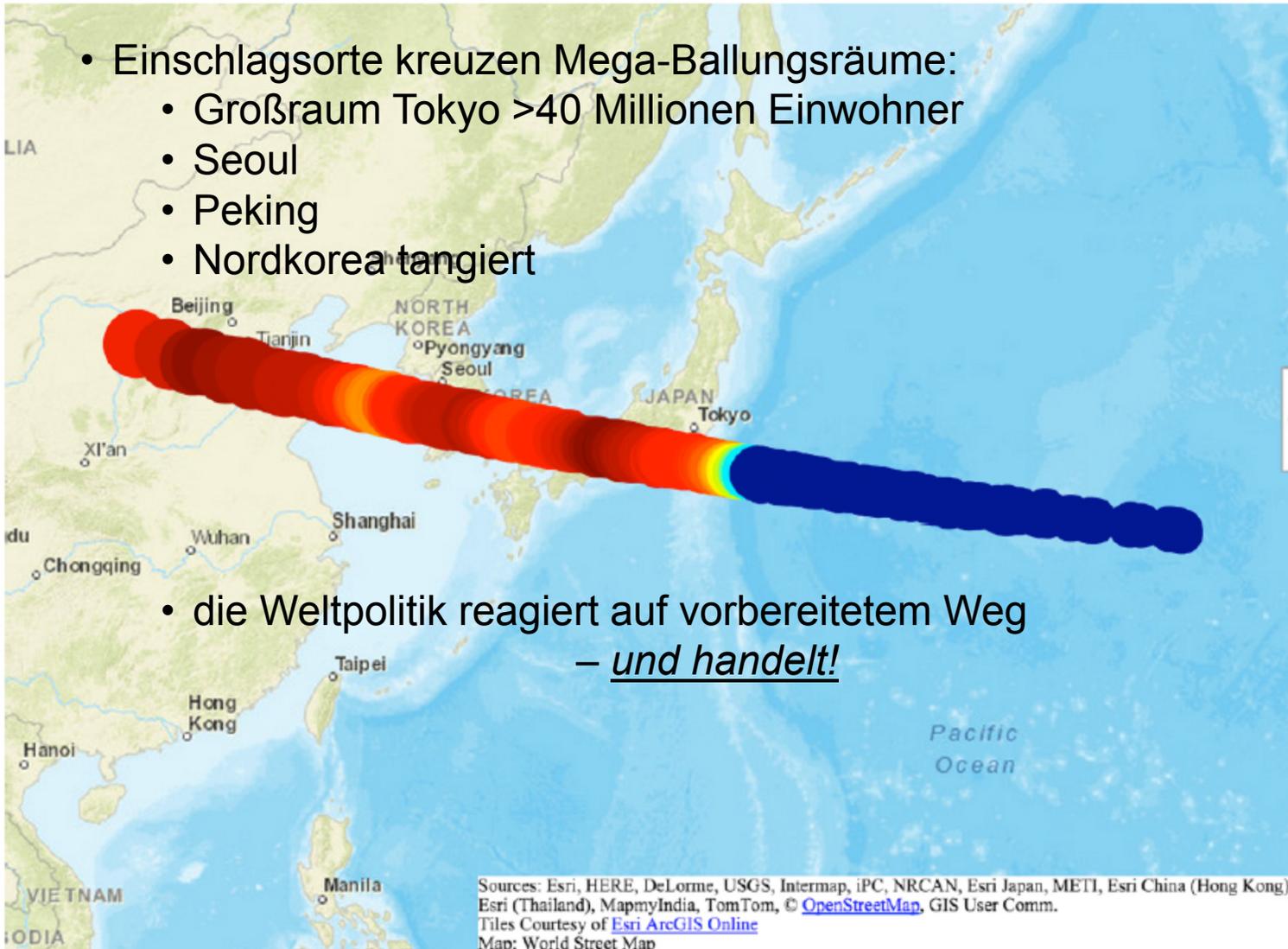
**EXERCISE - EXERCISE
not a real world event**

Images: Chodas, Barbee, et al
2017 (PDC Exercise)

den Knall ~~nicht mehr~~ gehört

- Einschlagsorte kreuzen Mega-Ballungsräume:
 - Großraum Tokyo >40 Millionen Einwohner
 - Seoul
 - Peking
 - Nordkorea tangiert

- die Weltpolitik reagiert auf vorbereitetem Weg
– und handelt!



Sources: Esri, HERE, DeLorme, USGS, Intermap, iPC, NRCAN, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri (Thailand), MapmyIndia, TomTom, © [OpenStreetMap](#), GIS User Comm.
Tiles Courtesy of [Esri ArcGIS Online](#)
Map: World Street Map

EXERCISE ONLY!!



EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

Images: Chodas, Barbee, et al
Wheeler, Mathis, 2017 (PDC
Exercise

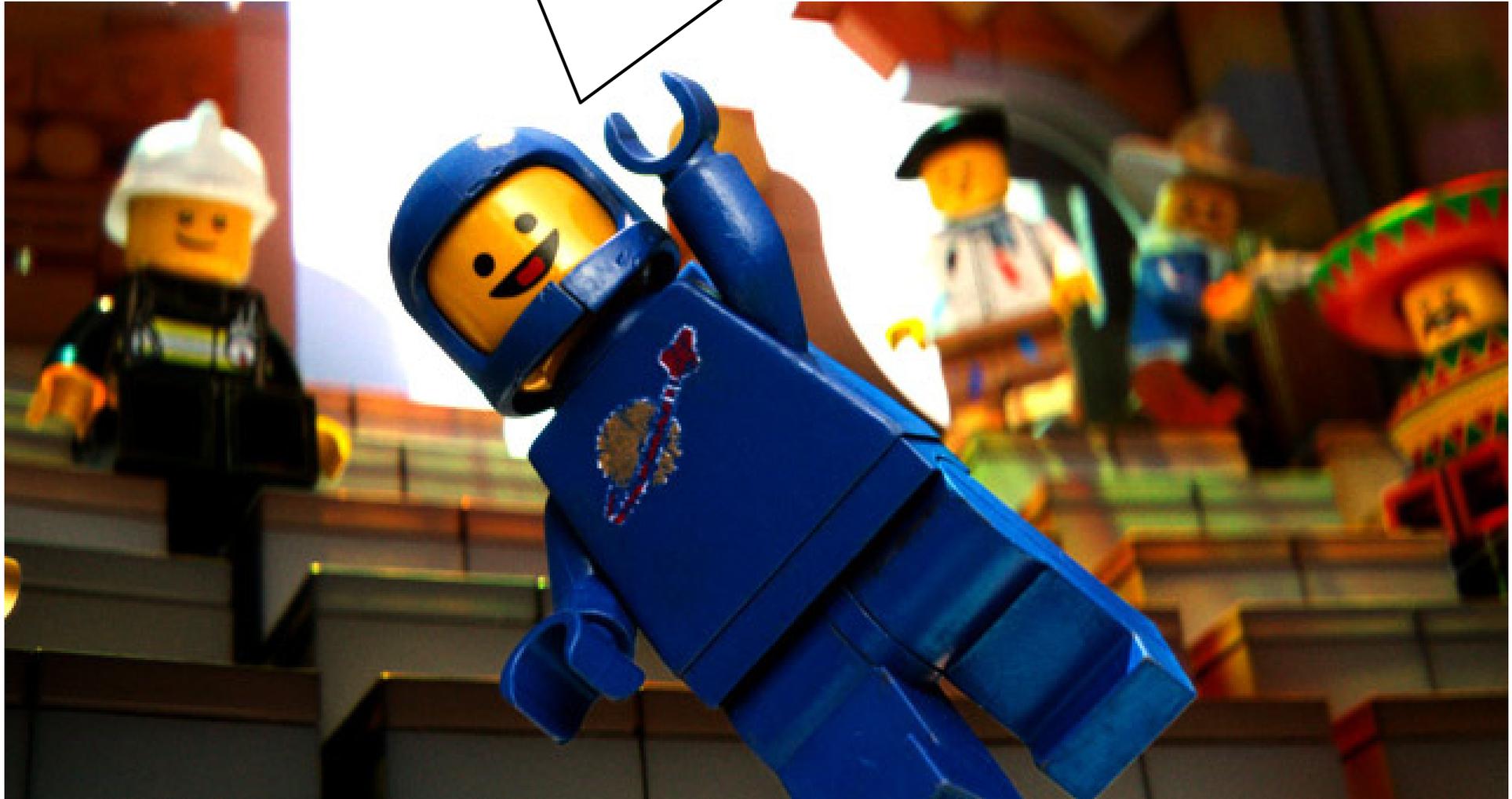
Antreten zur Weltrettung



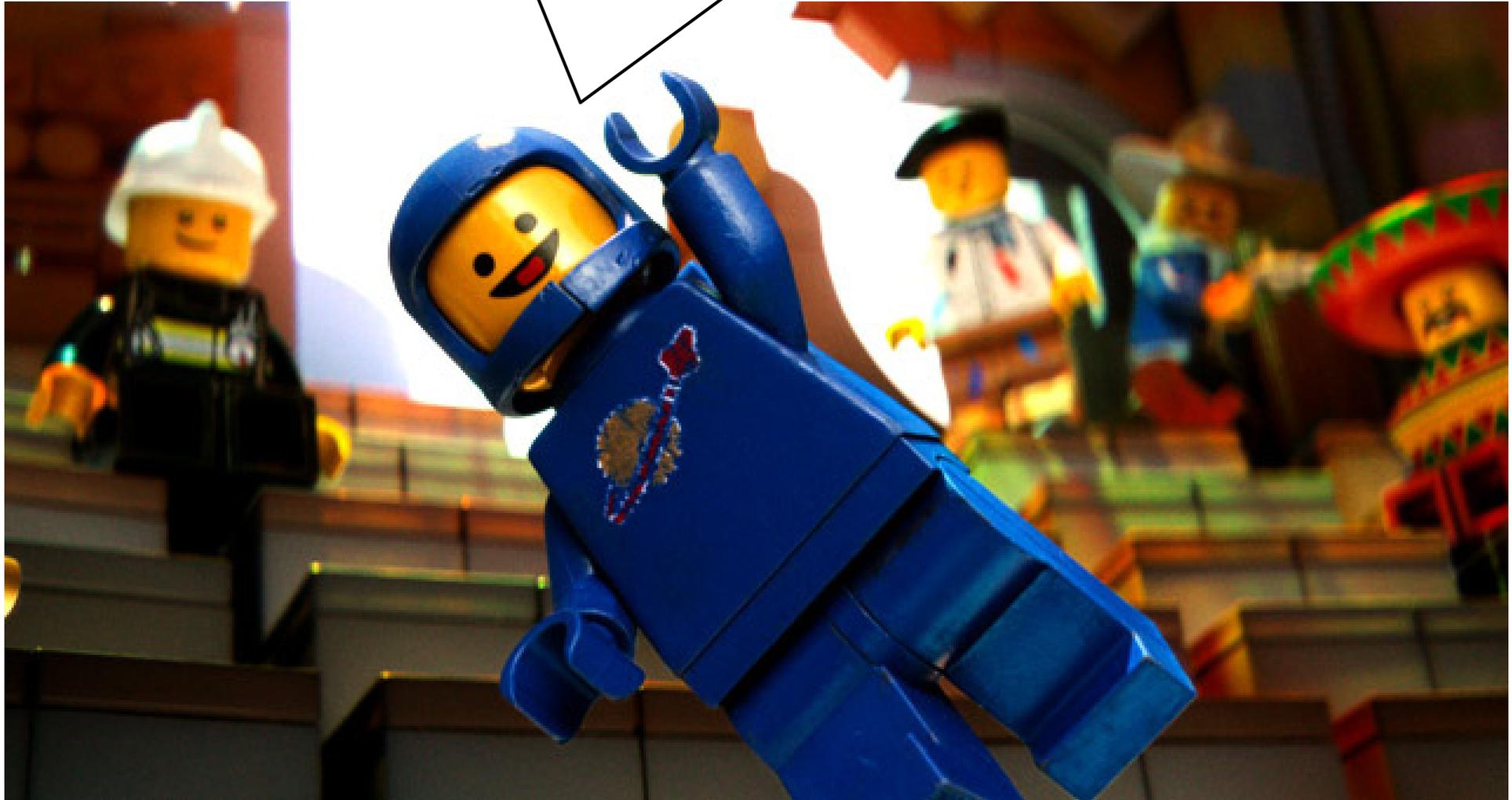
...oder so ähnlich:



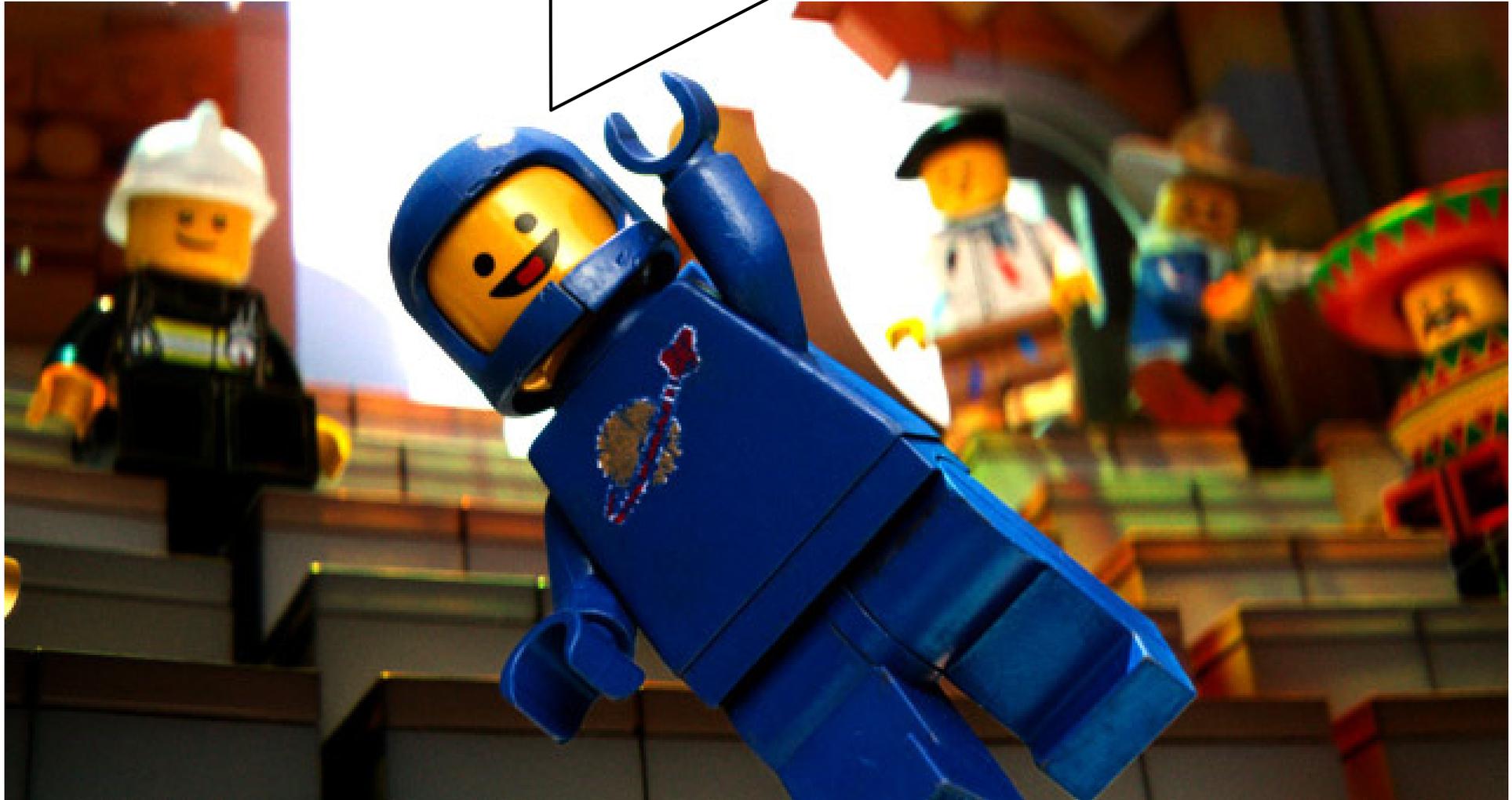
Lad os bygge et rumskib !!! :)



Let's build a spaceship !!! :)

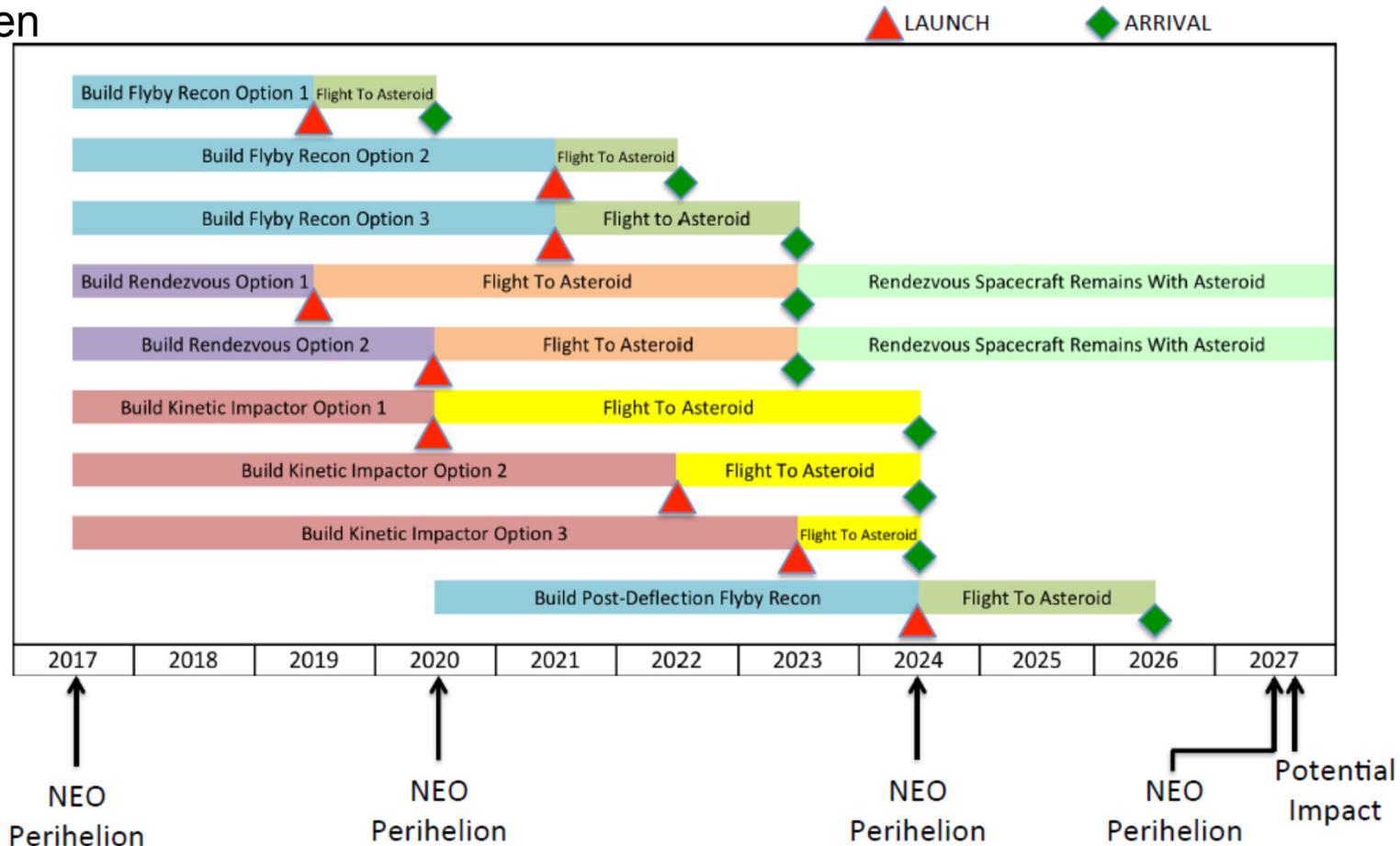


Laßt uns ein Raumschiff bauen !!!



die Raumflotte wird auf Kiel gelegt...

- trotz der schweren Erreichbarkeit – es gibt viele Kombinationen!
- Vorbeigucken
- Angucken
- Schubsen
 - West
 - Ost



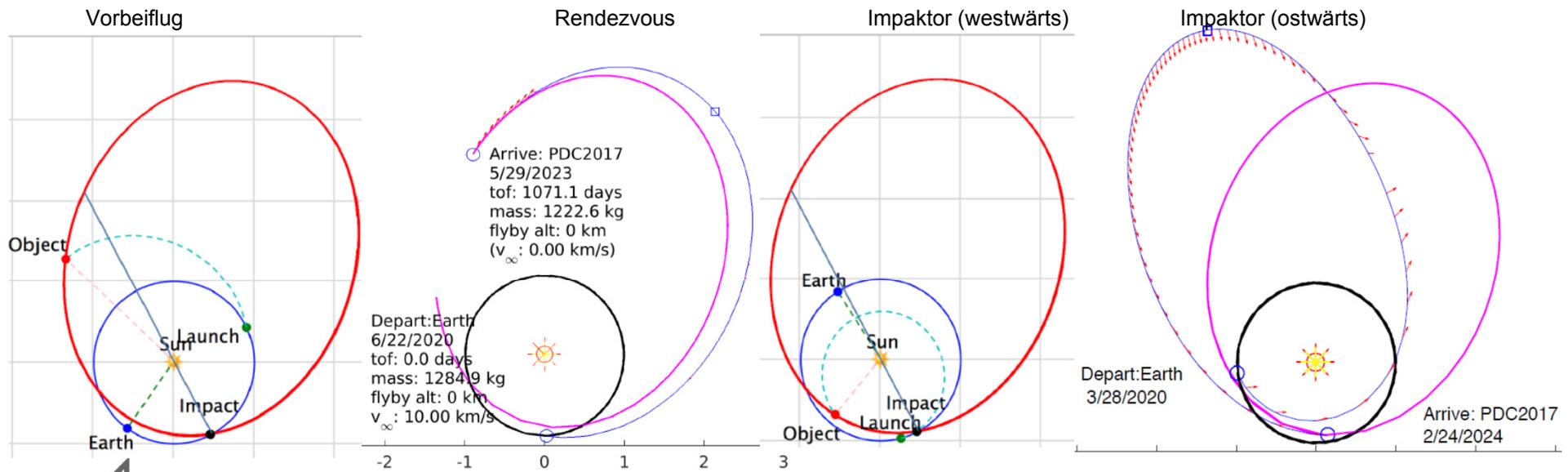
EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

Images: Chodas, Barbee, et al
2017 (PDC Exercise)



die Entscheidung – verflixte 7 Jahre vor dem ersten Treffer

- vom Stapel laufen...
 - früher & schneller Vorbeiflug – 2 Sonden – Start Okt.'19, flyby Mai'20
 - Rendezvous-Beobachter – 2 Sonden – Start Juni'20, Ankunft Mai'23
 - Kinetische Impaktoren (Ost) – 6 Sonden – Start März'20, Einschlag Feb'24
 - Kinetische Impaktoren (West) – 6 Sonden – Start Jul'23, Einschlag Feb'24



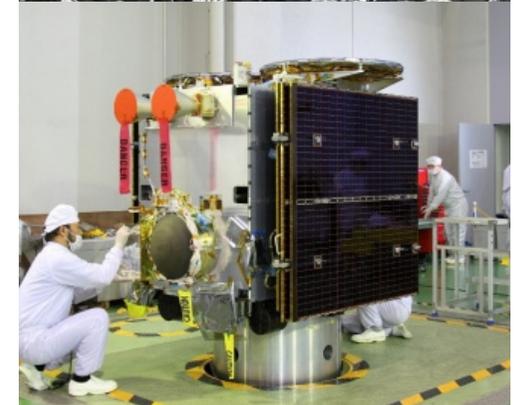
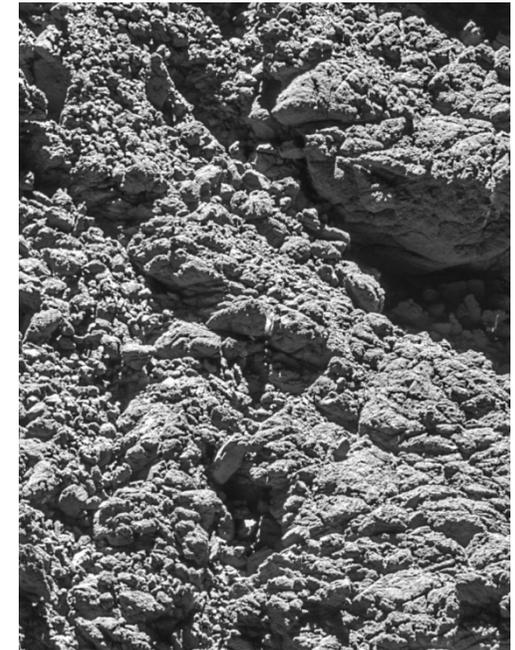
EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

Images: Chodas, Barbee, et al
2017 (PDC Exercise)



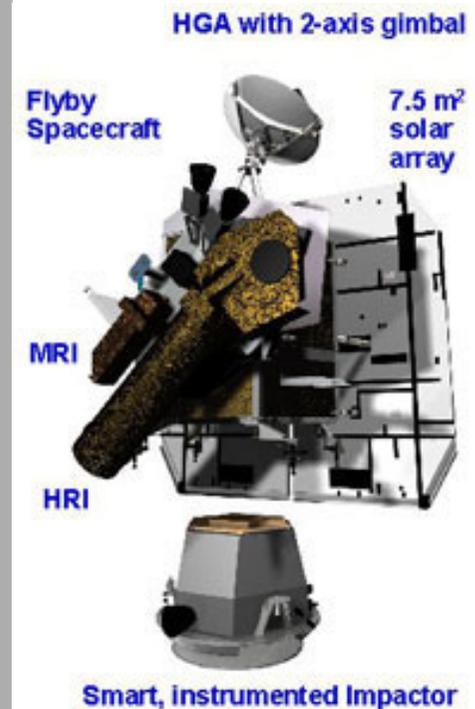
Frage an Radio Eriwan: „Können wir das?“ – Antwort: „Im Prinzip ja.“ „ . “

- Asteroiden-Vorbeiflug:
 - oft im Nebenprogramm bei Planeten-Missionen
 - Rekord z.Zt.: 3.2 km Abstand (Chang'e-3)
- Rendezvous & Landung auf Kleinkörpern:
 - NEAR-Shoemaker auf (433) Eros
 - war nichtmal dafür gebaut!
 - Rosetta & Philae auf 67/P Chury
 - >2x landen trotz Pannen & Staubschleuder als Ziel
 - Hayabusa auf (25143) Itokawa
 - trotz Pannen erfolgreicher Rücksturz zur Erde
- Treffer! ...?
 - Deep Impact
 - Ziel war „großer“ Kometenkern
 - wahrscheinlichste Asteroiden 10...100x kleiner



„Kinetic Impactor“: Asteroiden schubsen – mit Einschlagkraft gegen den Einschlag

- deutliche Wirkung proportional zur Masse & Geschwindigkeit
- aber: abhängig von Eigenschaften des Zieles
 - Umwandlung von kinetischer Energie in Impuls kann Wirkung deutlich erhöhen → sichere Mindestwirkung
- kein Rendezvous erforderlich
 - aber: nur eine Chance – auf Kollisionskurs
 - gesteuerter Zielanflug in Sekunden...Minuten
 - sehr kleine Ziele <<100 m schwierig
- machbar für viele kleinere Körper bis ~200 m
 - bei hoher Relativgeschwindigkeit effizient
 - gesamter Flugkörper kann wirken
 - auch mitgenommene ausgebrannte Oberstufen
 - Aufteilung der Masse unerheblich
 - Flotille erhöht Trefferchancen stark



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...*

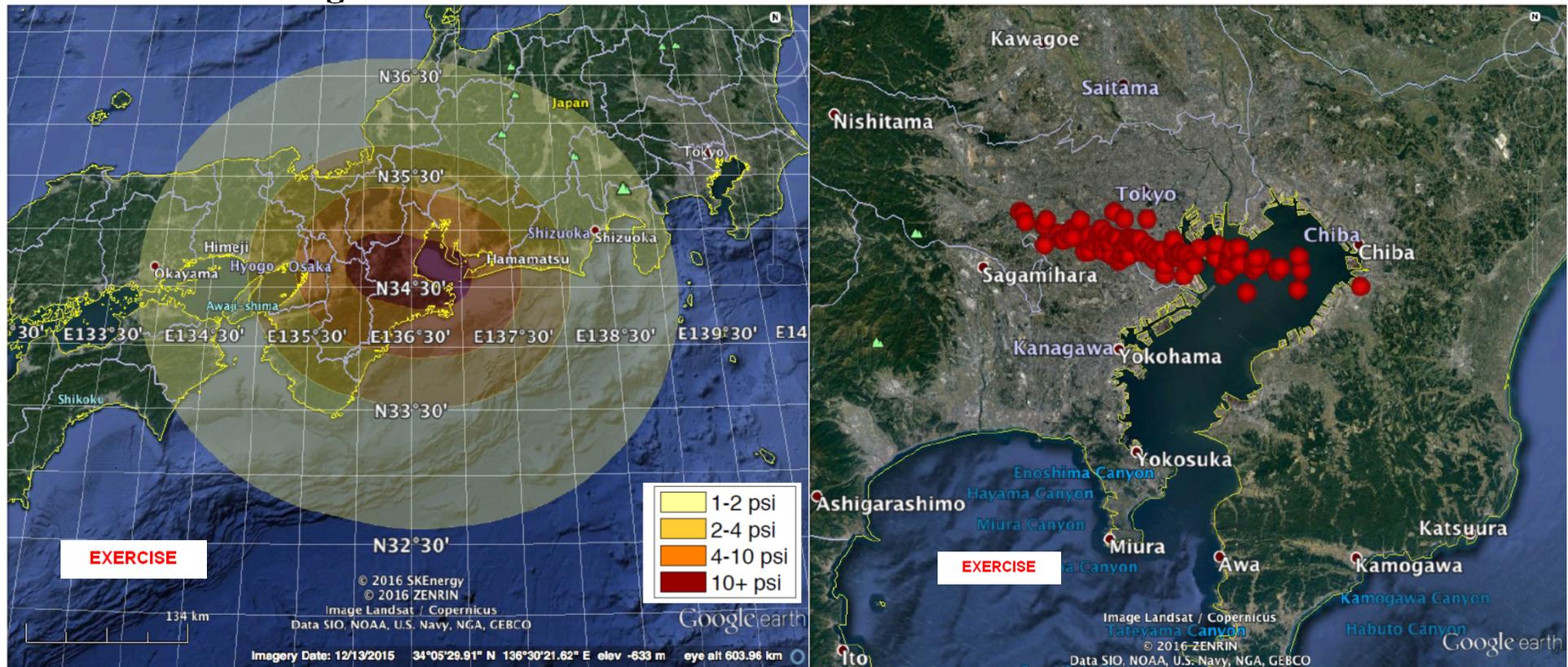


Asteroiden treffen – auf Kollisionskurs über 10 km/s

- agile Steuerungssysteme werden in ABM-Systemen verwendet
 - Entwurf seit 1956 (Sowjetunion)
 - 4. März 1961: erfolgreicher Abschuß 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
- aber: ist „Star Wars“ weltraumtauglich?
 - solche erdnahe Einsätze nur ~10...20 Minuten oberhalb der Atmosphäre!

das Ende ist sicher! ...?

- Einschlagsziel steht fest: Ariake Bay, Tokyo
- Einschlagswahrscheinlichkeit = 100%
- Größe: $\varnothing \sim 270$ m – **neu**: 1 Mond: $\varnothing \sim 100$ m, „locker“ gebundenes Paar
- Dichte: 1.9 g/cm^3 – 20% schwerer als erwartet

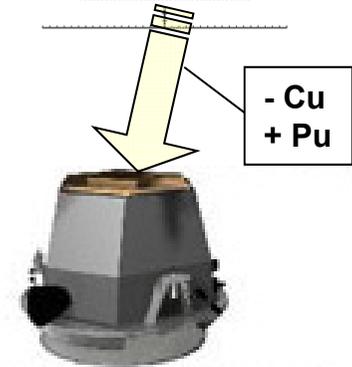
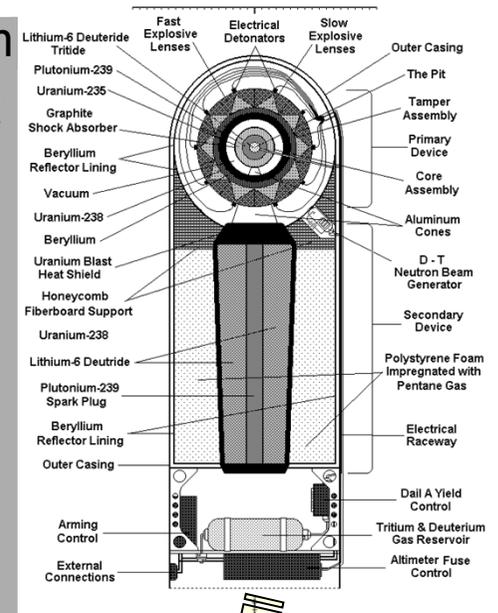


EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

Images: Chodas, Barbee, et al.
2017 (PDC Exercise)

die Frage aller Fragen – Overkill oder Restrisiko?

- Analyse zeigt: 1 Atomsprengkörper löst das ganze Problem
- Rendezvous-Sonden werden für die Mitführung vorbereitet
- höchste Wirkung pro Flugkörpermasse
 - Strahlungsablation: Röntgenstrahlung oder Neutronen verdampfen einige cm Material
- kein Rendezvous erforderlich (~Kollisionskurs)
 - Zündung in präzisiertem Abstand nötig
 - gänzliche Zerstörung möglich
- machbar für alle Ziele
 - Wirkung muß dosiert eingesetzt werden
 - verfügbare Sprengköpfe evtl. nicht optimal
 - Flotille nötig um sich heranzutasten
 - ⇔ flexibel falls Ziel zerbricht

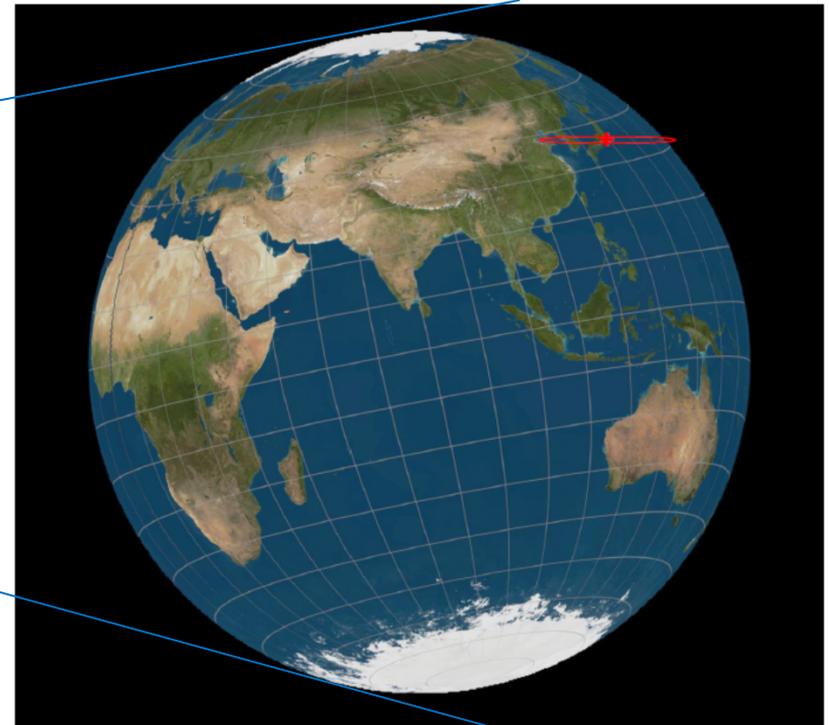
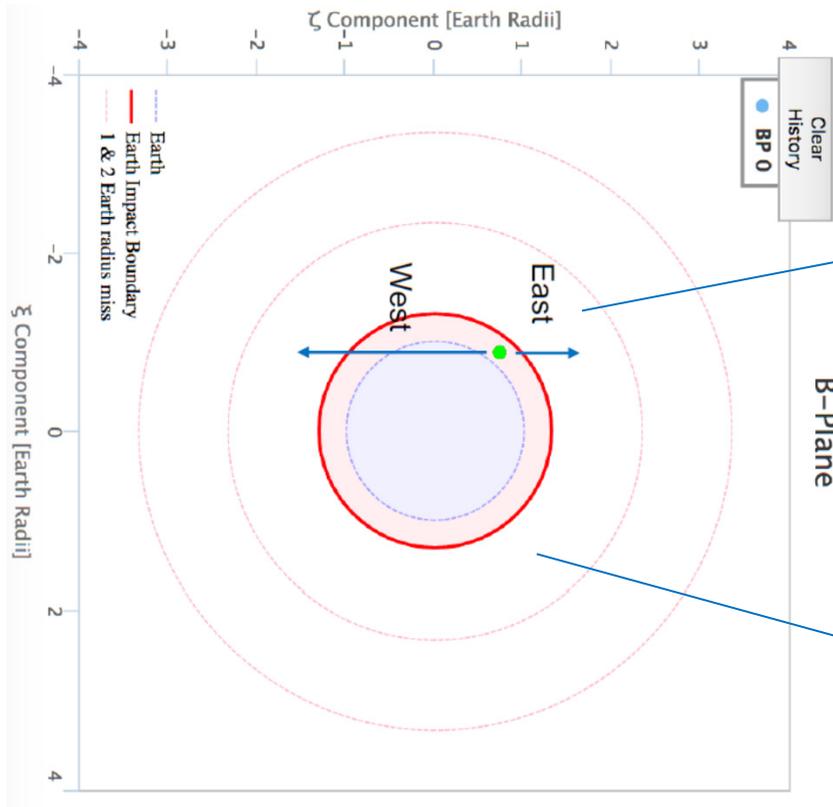


Smart, Instrumented Impactor

das Problem

– etwas nach Osten oder 40 Wagen Westwärts?

- aus Sicht des Asteroiden liegt das Ziel am Erdrand
- bahnmmechanisch schubst es sich leichter nach Westen als nach Osten



EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

Images: Chodas, Barbee, et al.
2017 (PDC Exercise)



1. kommt es anders ...

... und 2. als man denkt! 😊

- die Bahnmechaniker „entdecken“ die „Nordwestpassage“
→ beide „Schubsrichtungen“ werden mit 6 Kinetischen Impaktoren machbar
- die Politiker erlauben die nukleare Option
→ beide Rendezvous-Sonden nehmen je einen 1-Mt-Sprengkörper mit
- die Hochenergie-Modellierer finden eine Möglichkeit, Asteroid und Mond gleichzeitig abzulenken
→ die „Nukleare Option“ wird redundant – kein Vabanque-Spiel mehr!

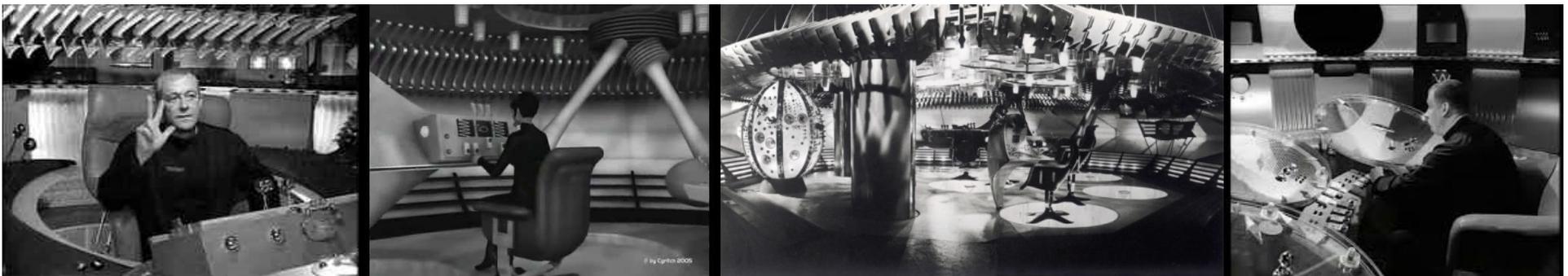


EXERCISE - EXERCISE
not a real world event



Die „Götter“ rudern hilflos umher, die Erdlinge haben alles unter Kontrolle – „a violation of Murphy's Law“

- nur eine Rendezvous-Sonde kommt am Ziel an
→ egal – das reicht zum Gucken und nun auch zur Ablenkung
- einer von 6 Kinetischen Impaktoren fällt aus
→ fast egal – fünf Treffer reichen aus zur nicht-nuklearen Ablenkung
- der Asteroid hat einen nur locker gebundenen Mond
→egal #1: Kinetische Impaktoren können phasenrichtig einschlagen
→egal #2: ein Nuklearsprengkörper richtig zwischen beiden plaziert reicht aus, um den Hauptkörper abzulenken und den Mond zu zerstäuben (*sic!*)

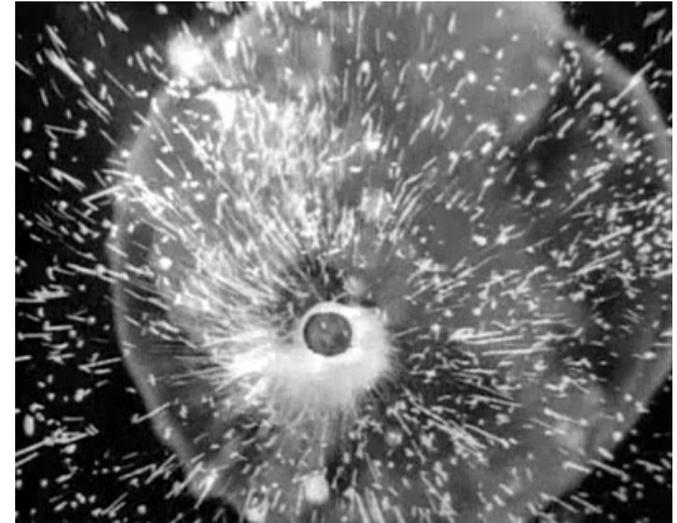


EXERCISE - EXERCISE
not a real world event



...und was war dann...?

- Version A: man entscheidet sich für die nukleare Option
 - der Asteroid verfehlt die Erde um 1000 km
 - sein Mond wurde eine Staubwolke



- Version B: man entscheidet sich gegen die nukleare Option
 - die 5 übrigen Kinetischen Impaktoren schubsen mit mäßigen Wirkungsgrad
 - nach 4 Treffern verfehlt der Asteroid die Erde um 1000 km
 - sein Mond wurde mitgezogen und das Paar „verdichtet“, fester gebunden

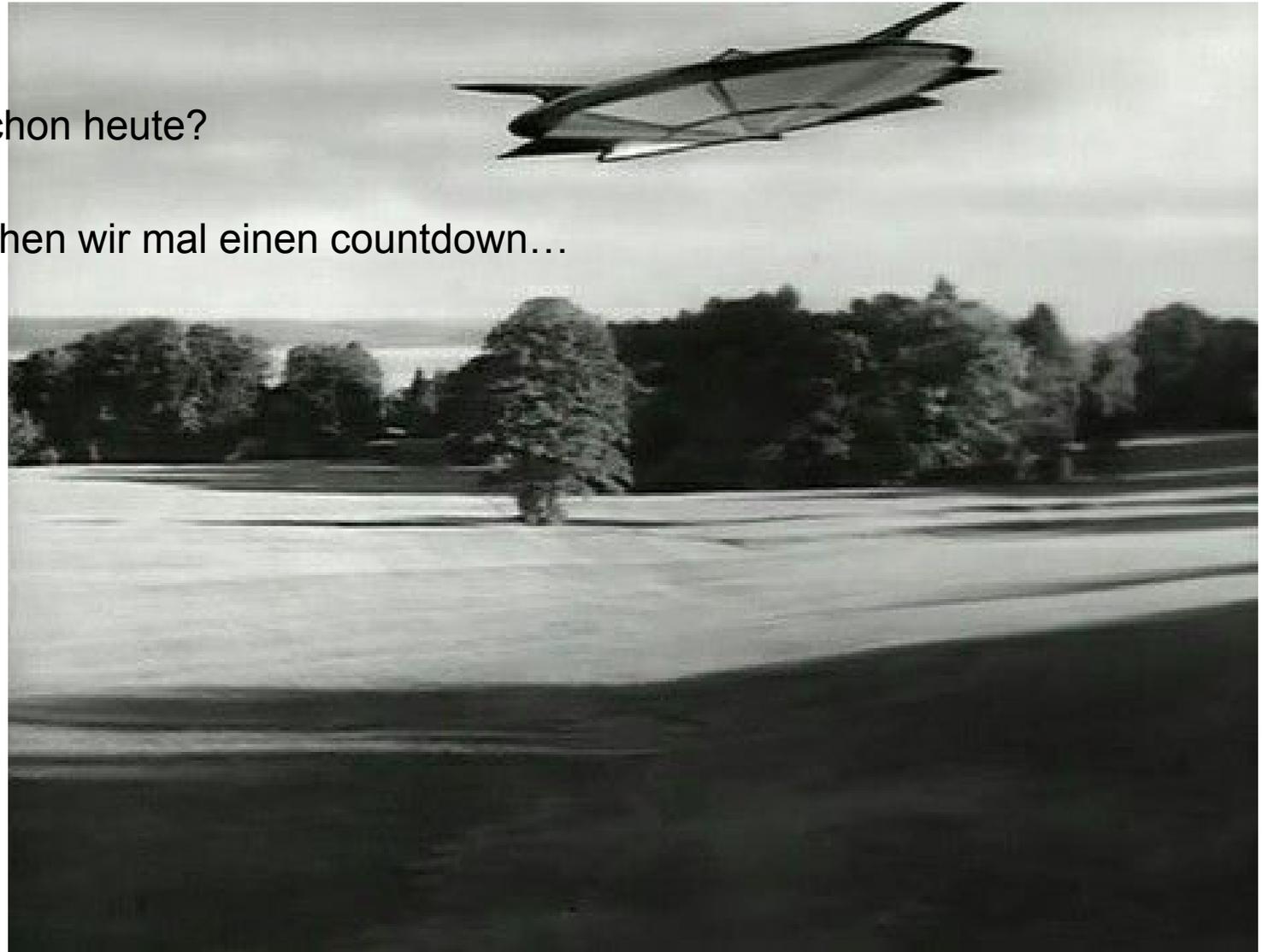


EXERCISE - EXERCISE
not a real world event

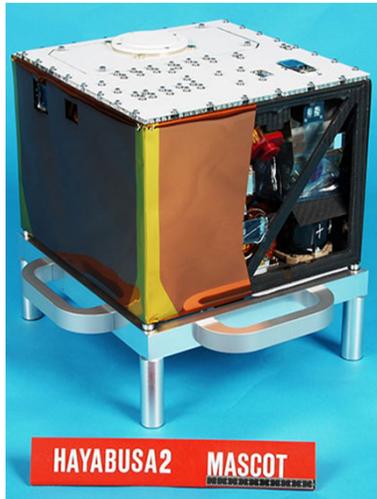


Rücksturz in die Wirklichkeit

- Was tun wir schon heute?
- ...na... versuchen wir mal einen countdown...



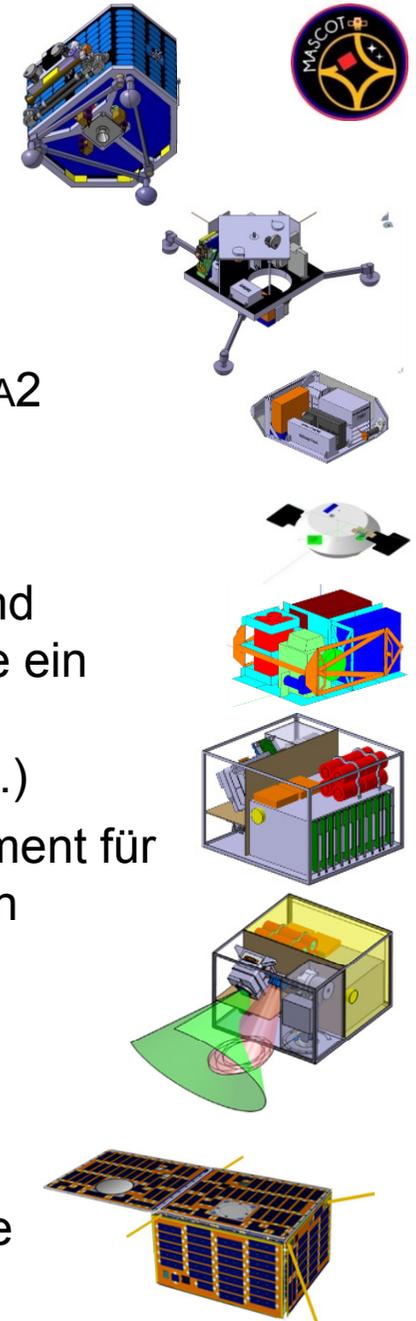
#3: MASCOT – Mobile Asteroid Surface Scout(s)



- z.Zt. unterwegs zu (162173) Ryugu auf HAYABUSA2
- Landung im Oktober 2018 geplant
- mit den Vorläufer-Studien, z.B. zu MARCOPOLO, und Nachfolgestudien, z.B. MASCOT2 für AIM, wurde ein “to-go”-Repertoire für alle Arten von Asteroiden-missionen geschaffen (...noch keine in Sicht z.Zt.)

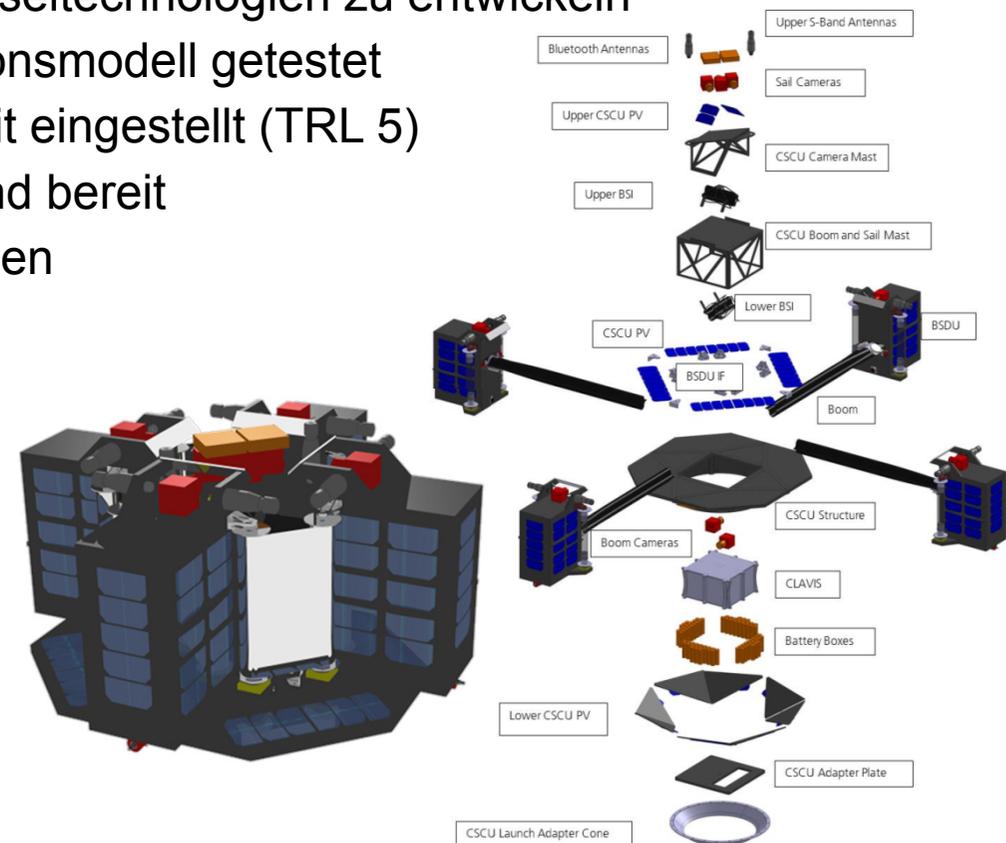
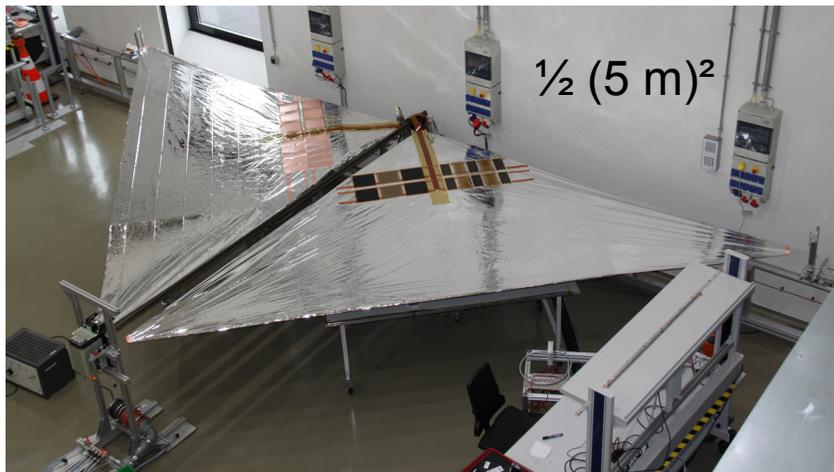


- Lander ist bloß ein Instrument für eine “mainstream”-Mission
- vieles kann immer wieder verwendet werden
- hoch-dichtes design
- trägt ≥ 4 vollwertige Wissenschaftsinstrumente

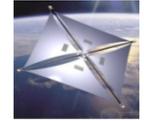


#2: Solarsegel-Technologie entwickelt & qualifiziert

- die 3-teilige “DLR-ESTEC GOSSAMER Roadmap to Solar Sailing” wurde 2009 begonnen, um Schlüsseltechnologien zu entwickeln
- 1. Schritt: GOSSAMER-1 Qualifikationsmodell getestet
- Entwicklung wurde bei flugfähigkeit eingestellt (TRL 5)
- ein Fulgdemonstrator-Entwurf stand bereit
- eine Startgelegenheit war vorhanden
- jede Trägerrakete nutzbar

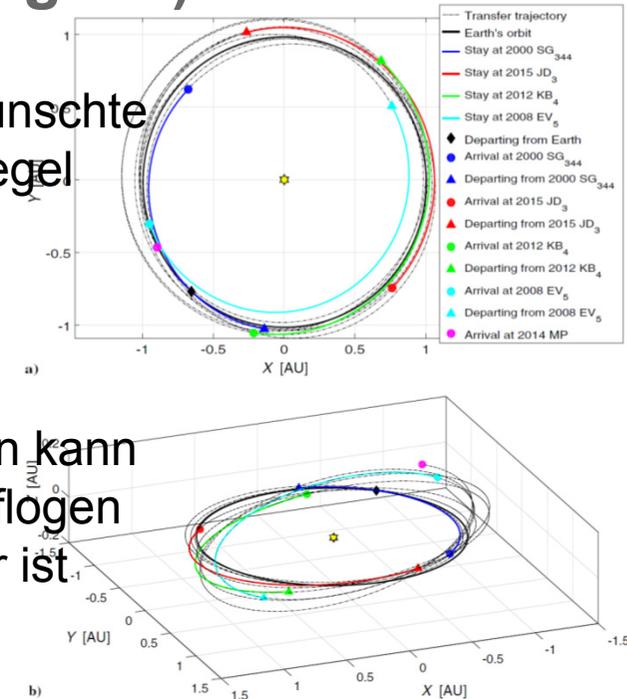


figures: Seefeldt et al.,
2016/2017



#1: Multiple NEA Rendezvous (neueste Ausgabe)

- Multiple NEA Rendezvous wurde als besonders gewünschte Wissenschaftsmision identifiziert, die nur mit Solarsegel geht
- in den letzten 20 Jahren,...
 - wurde die Bahnoptimierung erheblich besser
 - viel mehr NEAs wurden entdeckt, die man wählen kann
 - Segelkonstruktion wurde ausgereifter, sogar geflogen
 - es wurde besser verstanden, was alles erreichbar ist



- DLR ENEAS study (2000) – 2 fast flybys & 1 rendezvous in 5 years – 0.14 mm/s²
- ENEAS-SR (2005) – 1 sample return of 117 days in 10 years – 0.10 mm/s²
- ENEAS+ / ENEAS+SR (2005) – 3 rendezvous/sample return in 10 years – 0.22 mm/s²
- GOSSAMER NEO reference (2011) – 3 very slow flyby-rendezvous >1 rotation in 10 years
- Johnson et al (2012) – 3 rendezvous of ~30 days in 6 years – 0.35 mm/s²
- GOSSAMER NEO reference (2014) – 3 rendezvous of ~100 days in 10 years – 0.20 mm/s²
- Pelsoni et al. (2016) – **5 rendezvous of >100 days in 10 years** – 0.20 mm/s²



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

– noch Fragen? 😊



