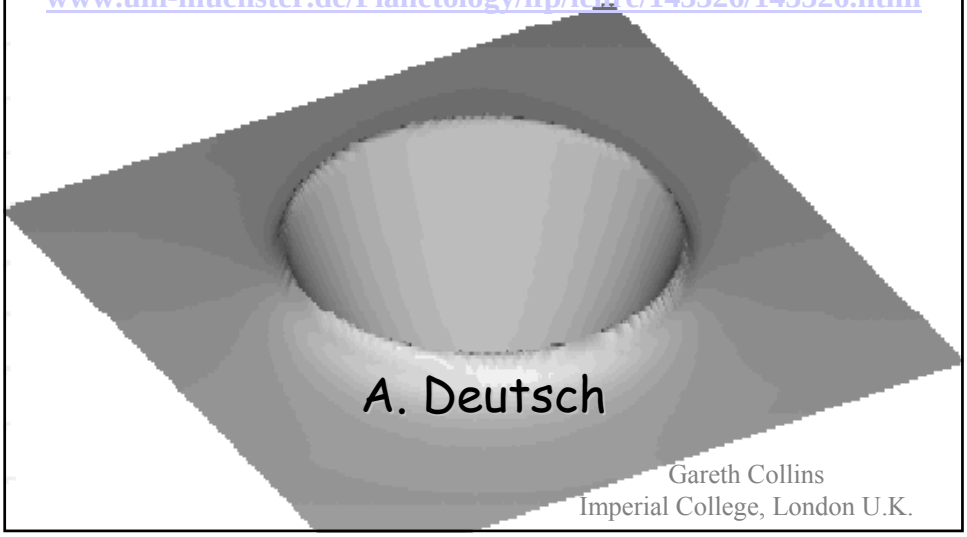
BSc – Impaktprozesse SS 14

User: 143326 **Passwort: 14Impakt**

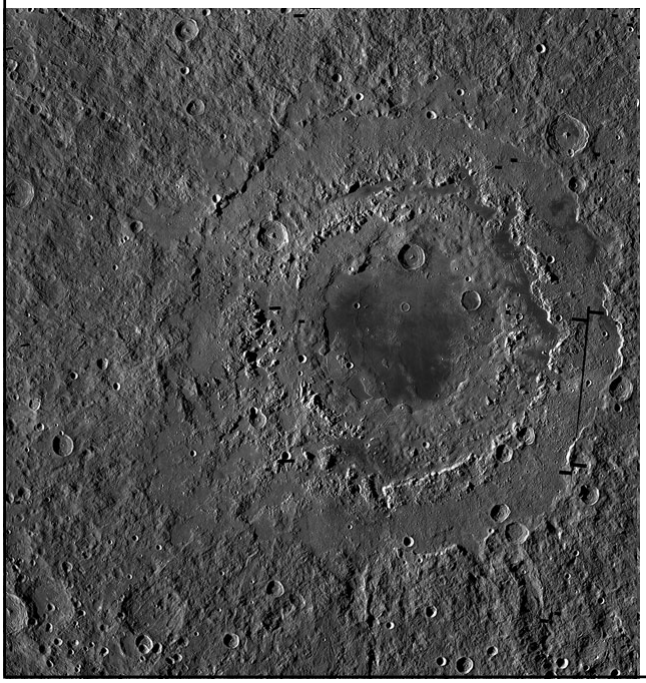
www.uni-muenster.de/Planetology/ifp/lehre/143326/143326.html



Boundary diameter Dsc between simple s and complex c impact craters on different planetary bodies

Planetary body	*Acceleration of gravity ($m\ s^{-2}$)* g	D_{sc} *(km)*
Moon	1.62	15
Mercury	3.63	11
Mars	3.74	6
Earth	9.81	
crystalline rocks		4
sedimentary rocks		2.5

Pike 1980



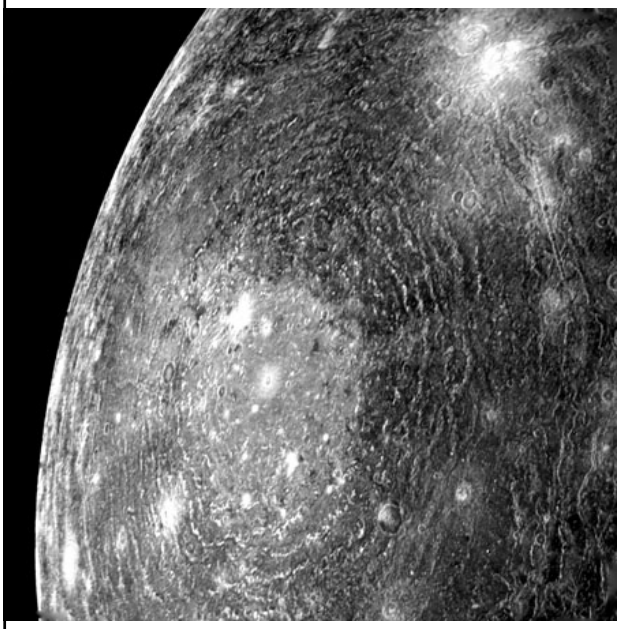
multi-ring basin

Mare Orientale
youngest large lunar basin

D outer ring ~950 km

Moon: 40 basins

width of the LROC WAC mosaic 1350 km
©NASA



multi-ring basin

Valhalla
on Jupiter's moon Callisto
icy crust

D central basin ~300 km

> 8 concentric mountainous ridges with D ~3000 km

March 1979 Voyager 1
©NASA

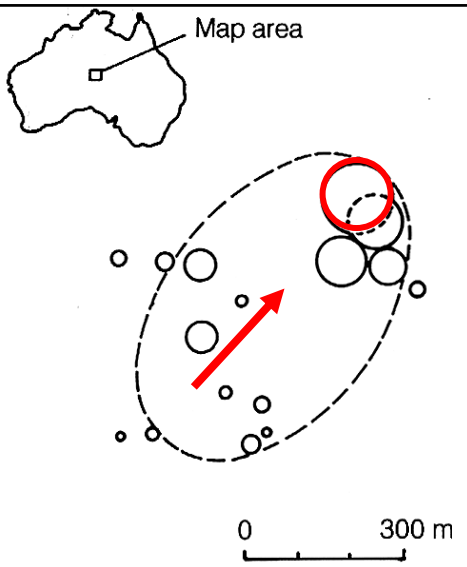
Multiring-Becken [multi-ring basin]

- deutlich ausgeprägte konzentrische Hügelketten mit Steilabfall zum Kraterzentrum, flaches inneres Becken
- isolierte bogenförmige Kettengebirge & Gebirgsmassive
- Mond: konzentrisch um das Kraterzentrum angeordnete Brüche in den Marebasalten (d.h., in der Beckenfüllung)
- Abstand der Ringe - eindeutige 1/g Skalierung fehlt
- rheologische Parameter („Fliessfähigkeit" des Materials) nahe der Planetenoberfläche bestimmen Morphologie (Orientale vs. Valhalla)

pre-historic meteor craters with remnants of the projectile

Henbury crater field, NT, Australia
440 x 640 m



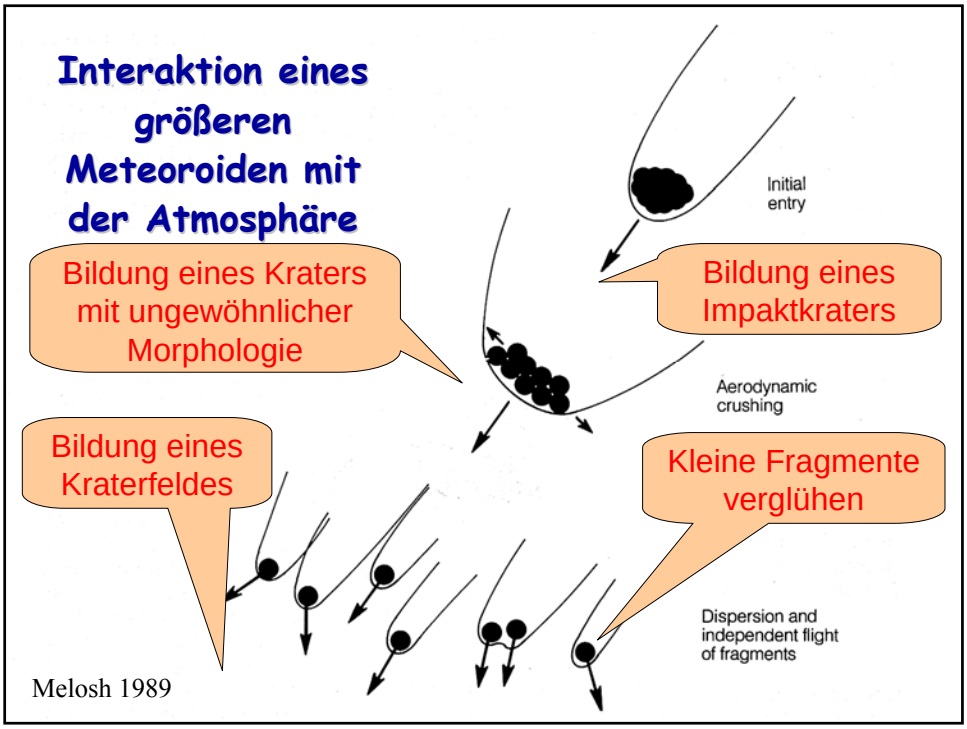




III AB iron meteorite

Henbury crater field, age ~4200 a
largest crater Ø 154 m, true meteor crater

Interaktion eines größeren Meteoroiden mit der Atmosphäre



Bildung eines Kraters mit ungewöhnlicher Morphologie

Bildung eines Impaktkraters

Bildung eines Kraterfeldes

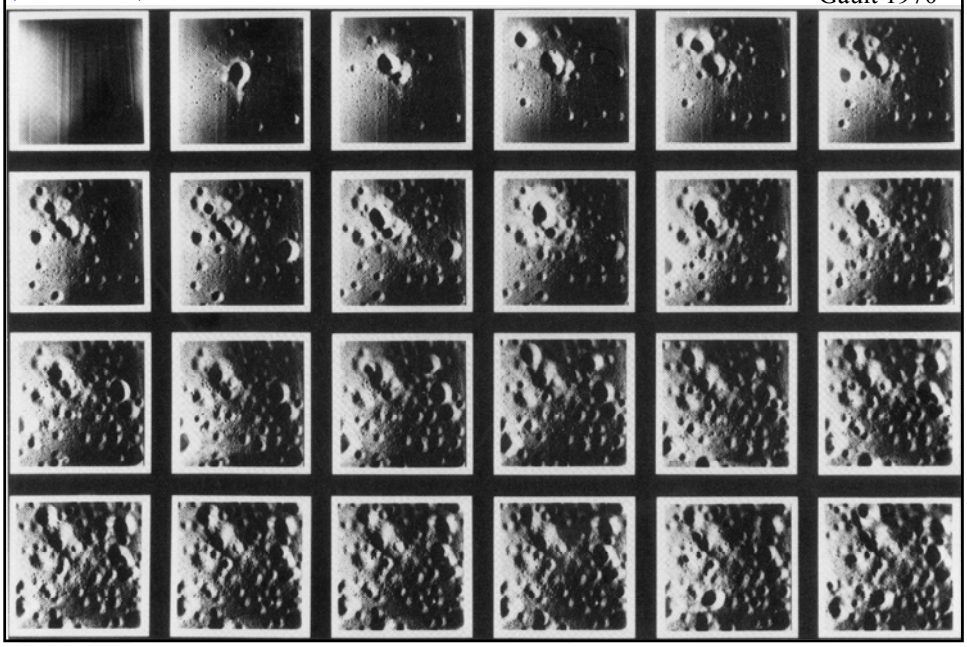
Kleine Fragmente verglühen

Melosh 1989

Das relative Alter planetarer Oberflächen

2.5 m

Gault 1970



Analyse von Kraterpopulationen auf planetaren Körpern I

- Auswahl eines Gebietes mit vermutlich homogener geologischer Entwicklung
- Auszählung aller Krater in diesem Gebiet unabhängig vom jeweiligen Erhaltungszustand
- Unterscheidung von nicht, teilweise bzw. vollständig überprägten Kratern (abhängig von Anzahl der Krater)

Analyse von Kraterpopulationen auf planetaren Körpern II

- **einzig wichtiger Parameter: Durchmesser D**
- typische Zählung in Intervallen von D (z.B. D ⇒ 2 D, …)
- Festlegung eines Anfangsdurchmessers
- meist kumulative Zählweise
- Darstellung: Anzahl Krater mit D gleich oder größer als ein bestimmter Grenzdurchmesser D pro Flächeneinheit
- Größe des Gebietes bestimmt die statische Relevanz

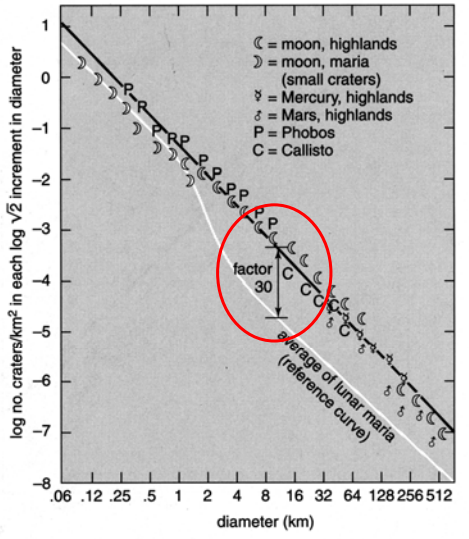


Figure 9-19. Crater counts on some of the most heavily cratered surfaces of the solar system mark a fairly well-defined band in the crater-diameter distribution diagram, with about 30 times the crater density on the lunar maria. This band may approach the maximum number of visible craters that can be crowded on a planet, given the size spectrum of impacting meteorites, and it marks surfaces that have developed megaregoliths.

Crater retention ages

+

"size spectrum" of the projectiles

kinetic energy

Hartmann (1983), Fig. 9-19

Crater retention ages

- Zeitspanne, innerhalb der Krater eines bestimmten D auf einer Planetenoberfläche erhalten bleiben.

- Was bedeuten crater retention ages?
  Beispiel: Lavafluss

  * Mond (keine Atmosphäre)
    ⇒ Bildung des geologischen Körpers

  * Mars (äolische Erosion verfüllt Krater/ trägt diese ab)
    ⇒ Zeitspanne, die Krater der Erosion widerstehen

Crater retention ages

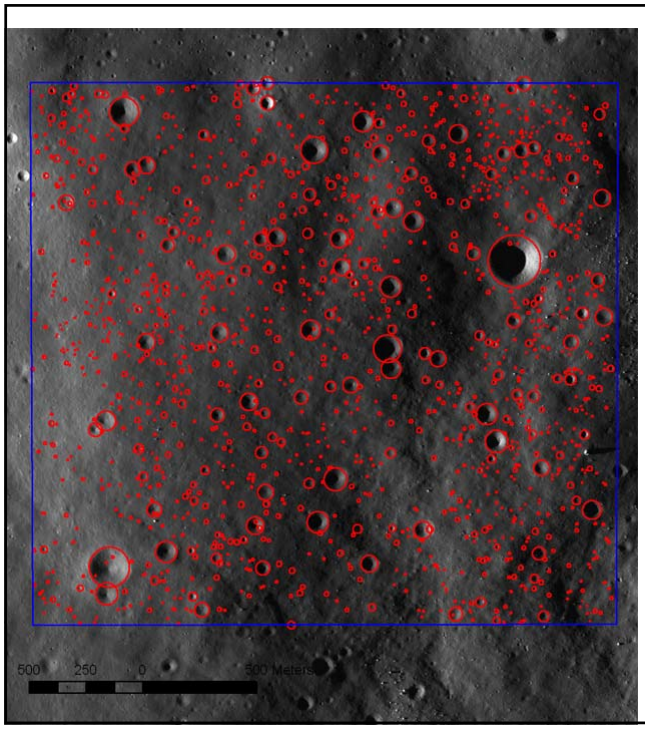
- Zeitspanne, innerhalb der Krater eines bestimmten D auf einer Planetenoberfläche erhalten bleiben.
  Alter hängt vom D der gezählten Krater ab.
  Warum?

- Präzision & Genauigkeit der Datierung hängen ab von

  * Konsistenz und Präzision der Kraterzählung;

  * Problem der „kleinen" Krater: Zählung von Vulkanen und sekundären Kratern, die durch Auswurf großer Blöcke im primären Impaktereignis entstehen.

⇒ LRO + HIRES



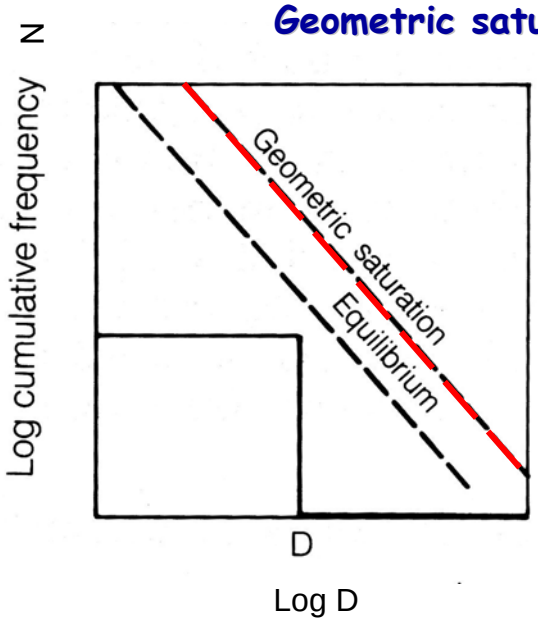
Crater retention ages

Aristarchus crater (~ 100 Ma)

MSc thesis
M. Zanetti

high-resolution LRO image

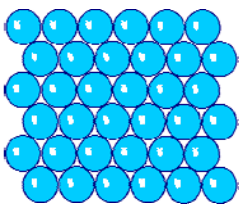
Crater retention ages
Geometric saturation



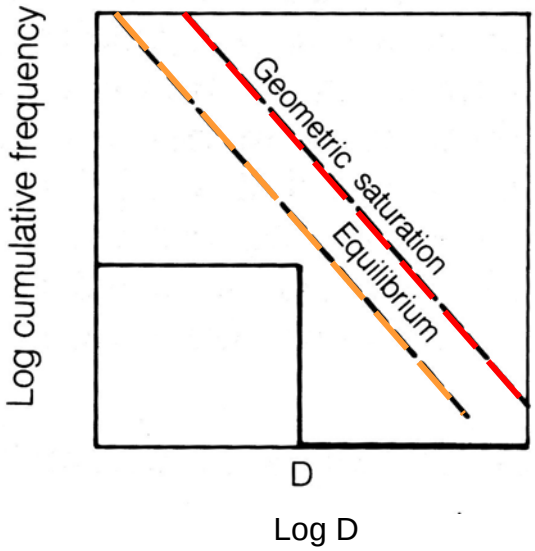
Geometrische Sättigung

Zahl der Krater mit einem Durchmesser D, die in hexagonal dichtester Packung – also Rand and Rand – in einer Flächeneinheit liegen

Die Krater würden 90.5 % der Gesamtfläche belegen.



Crater retention ages
Equilibrium



Gleichgewichtsverteilung

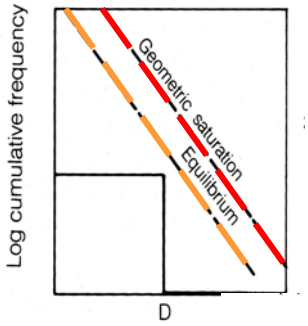
Zahl der Krater mit einem Durchmesser D pro Flächeneinheit ist bei der Gleichgewichtsverteilung geringer als bei geometrischer Sättigung.

Gleichgewichtsverteilung - equilibrium population

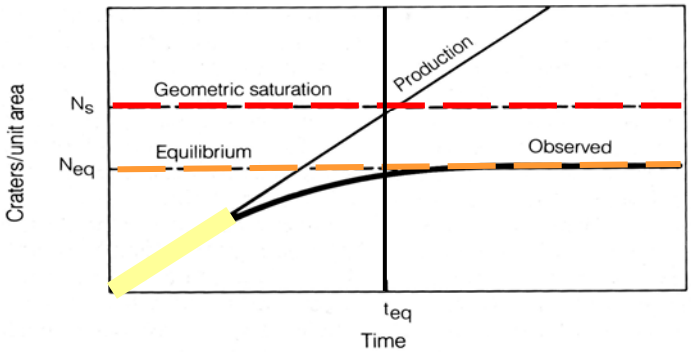
Entwicklung einer Kraterpopulation mit der Zeit.

- Anfangs nimmt die Kraterdichte zu.
- Nach einer gewissen Zeit beginnt die Zerstörung älterer Krater bis schließlich bei jeder Bildung eines neuen Kraters ein bereits existierender gleicher Größe zerstört wird.
- Gleichgewicht (equilibrium population) bzw. Sättigung (saturation) ist erreicht, eine Zunahme der Anzahl Krater dieser Größe pro Flächeneinheit ist nicht möglich.

Crater retention ages



Production population



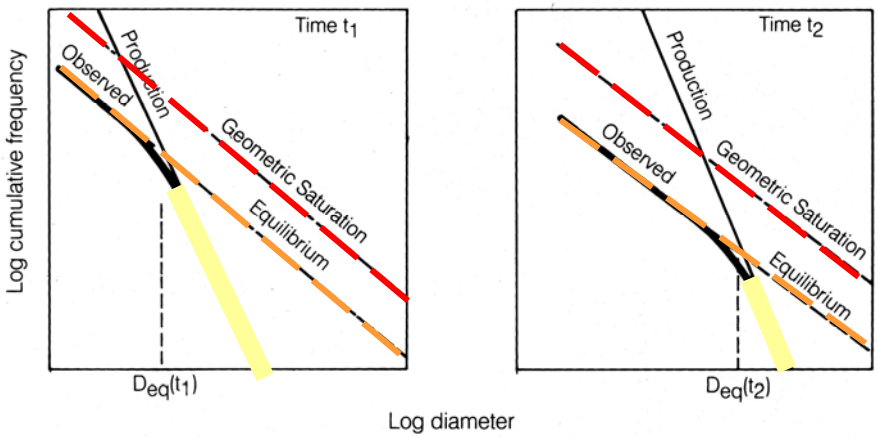
Production population

Entwicklung einer Kraterpopulation mit der Zeit.

- Anfangs nimmt die Kraterdichte zu.
- Die Production-Population entspricht der Häufigkeitsverteilung aller Krater, die seit der Bildung der jeweiligen planetaren Oberfläche und vor dem Erreichen der Sättigung entstanden sind.
- Die Analyse der Krater-Produktionsrate in der planetologischen Vergangenheit erlaubt die relative Bestimmung des Alters einer planetaren Oberfläche.

Crater retention ages

Mit fortschreitender Zeit verschiebt sich die Sättigung (equilibrium population) zu immer größerem D.



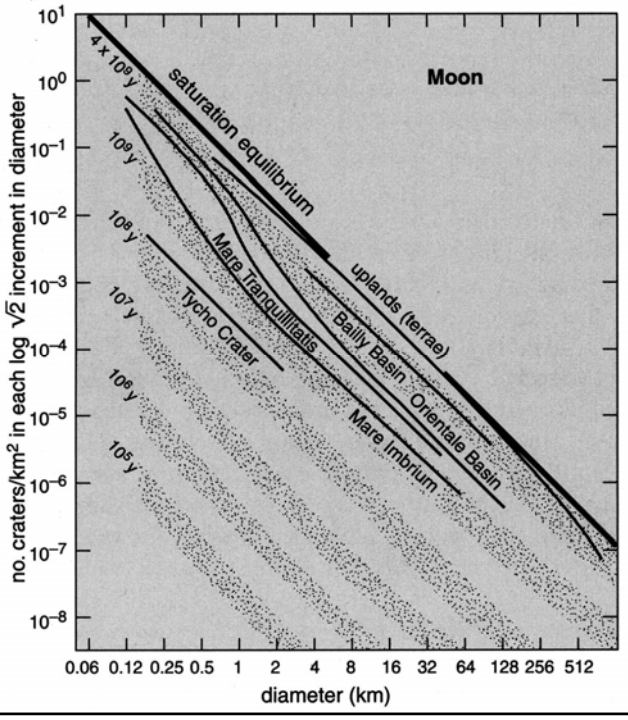
Planet	Minimum likely value	Most likely value	Maximum likely value
Mercury	0.5	1.3	3.3
Venus	0.5	0.7	1.4
Earth	1.0	1.0	1.0
Moon	0.5	0.7	0.9
Mars	0.6	1.3	2.6
Outer planets	?	?	?

Source: Data adapted from Hartmann and others, 1981.

Note: These values are not quite the same as relative meteoroid fluxes, since a crater on one planet may have been formed by a somewhat different-sized meteorite than the same-sized crater on another planet due to an impact velocity difference. Estimates depend on the assumed distribution of Mars-crossing asteroids, Earth-crossing asteroids, short-period comets, long-period comets, and so on.

Crater production rate on terrestrial planetary bodies relative to Earth

g

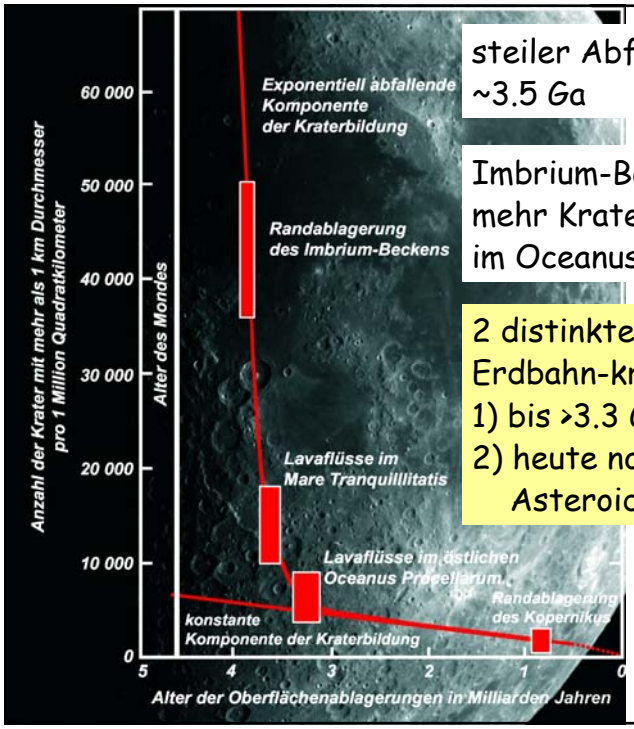


Crater retention ages

Erdmond

„Mutter aller Kraterstatistik"

Hartmann (1983), Fig. 10-22c



steiler Abfall zwischen 4 und ~3.5 Ga

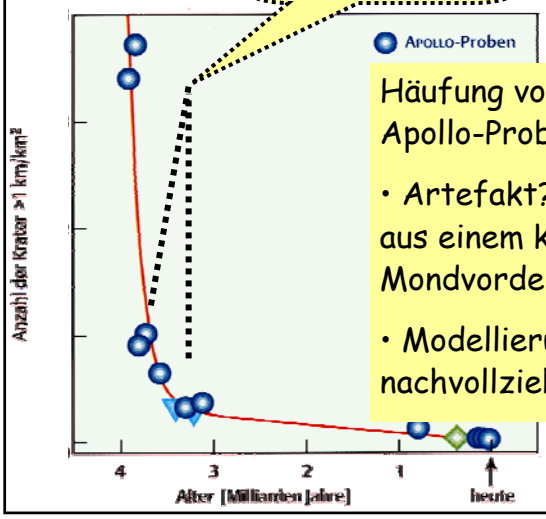
Imbrium-Becken (~ 3.75 Ga): 6x mehr Krater als ~3.3 Ga Laven im Oceanus Procellarum

2 distinkte Populationen Erdbahn-kreuzender Körper:
1) bis >3.3 Ga aufgebraucht
2) heute noch beobachtbare Asteroiden

Kraterdichte auf dem Mond

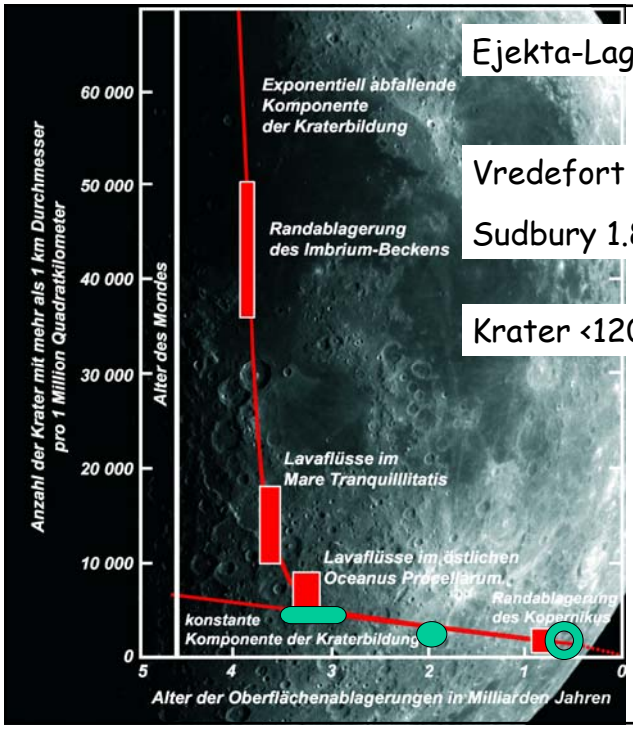
Impaktkraterstatistik Mond

"late heavy bombardement"



Häufung von ~3.9 – 3.75 Ga-Altern in Apollo-Proben

- Artefakt? Alle Proben stammen aus einem kleinen Bereich der Mondvorderseite!
- Modellierung kann diesen "sweep" nachvollziehen.



Ejekta-Lagen <3.5 Ga

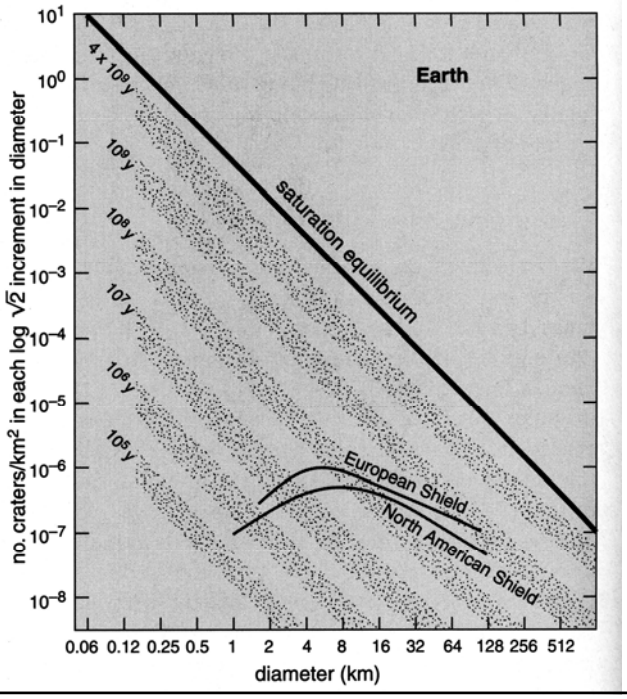
Vredefort 2.02 Ga

Sudbury 1.85 Ga

Krater <120 Ma, Ø ≥ 20 km

Kraterdichte auf der Erde

Kraterdichte auf dem Mond

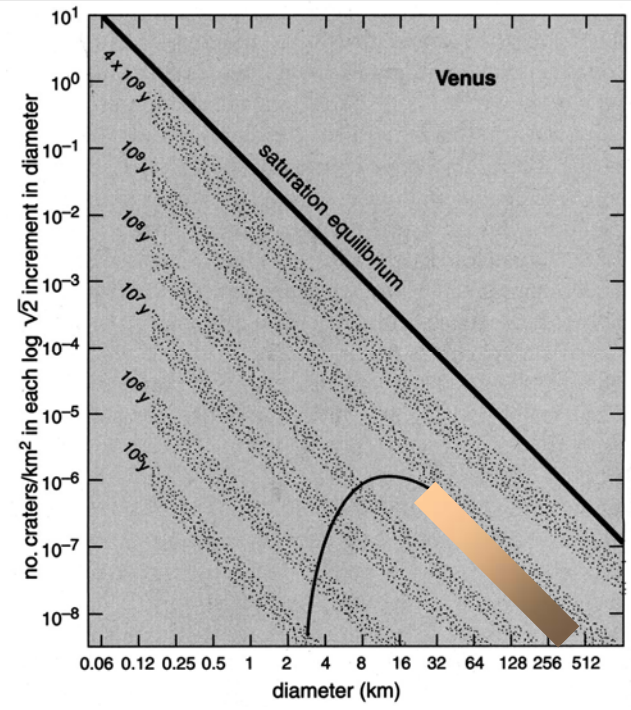


Crater retention ages

Earth

removal of small craters by erosion

Hartmann (1983), Fig. 10-22d

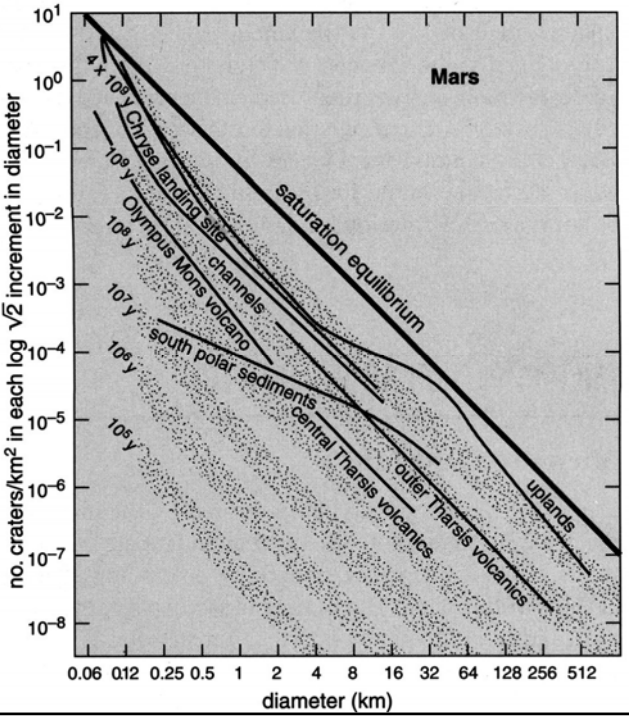


Crater retention ages

Venus

"crustal overturn"

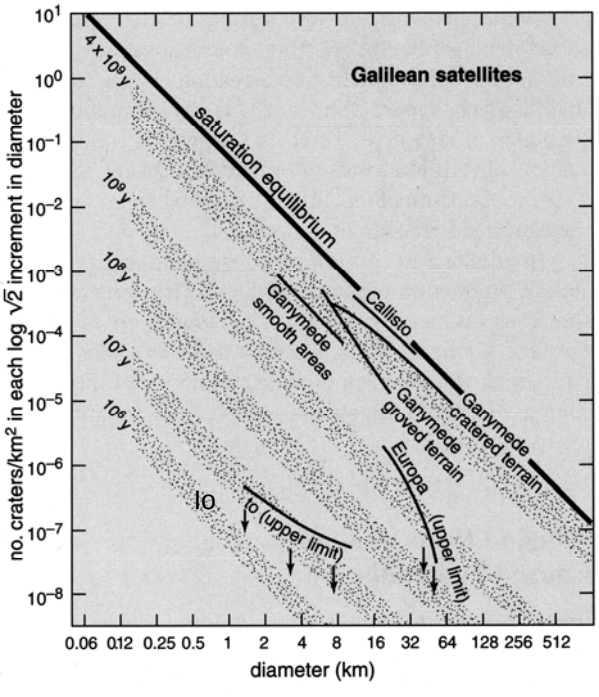
Hartmann (1983)



Crater retention ages

Mars

Hartmann (1983)



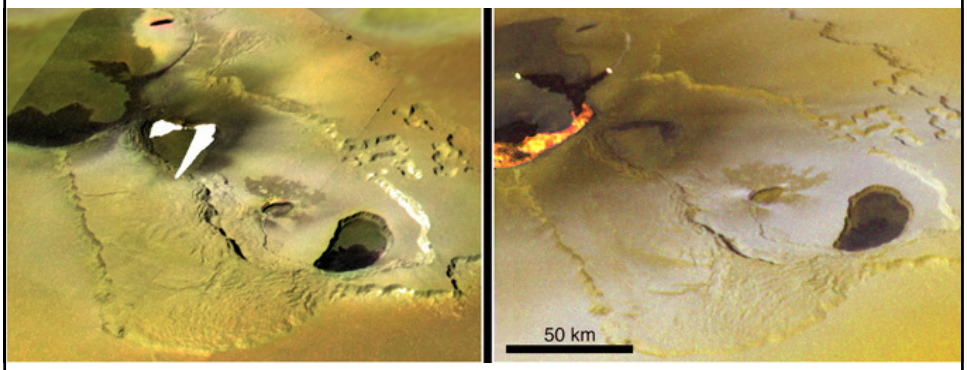
Crater retention ages

Moons of Jupiter

"tidal heating"

Hartmann (1983), Fig. 10-22g

Io – moon of planet Jupiter



Galileo Nov 1999 and Feb 2000

Crater retention ages

$$N_{kum}(D) = c\, D^{-b}$$

N_{kum} (D) = kumulative Zahl von Kratern mit Durchmessern >D, logarithmische D Intervalle: D, 2 D

D = Kraterdurchmesser in km

c = Konstante, die vom Alter einer, bzw. der Kraterdichte auf einer Oberfläche abhängt

b = Parameter, "Größen-/Size-Index", Steigung einer Geraden in der doppellogarithmischen Darstellung von N gegen D

Terrestrische Kraterproduktionsrate
Kollisionswahrscheinlichkeit

- aus der lunaren Kraterproduktionsrate
- astronomische Beobachtungen
- Statistik terrestrischer Krater

PS: Vergleich Prä-Apollo-, Apollo- und LRO-Aufnahmen erlaubt genaue Eingrenzung dieser Rate für kleine D!

Fresh Martian crater with D 30 m surrounded by a large, rayed blast zone



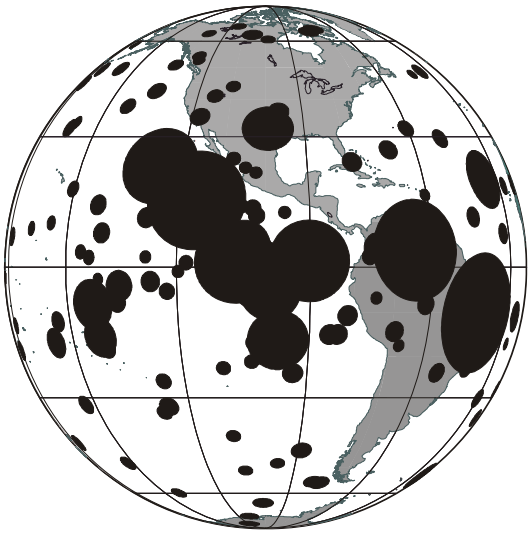
formed between July 2010 and May 2012

High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) camera

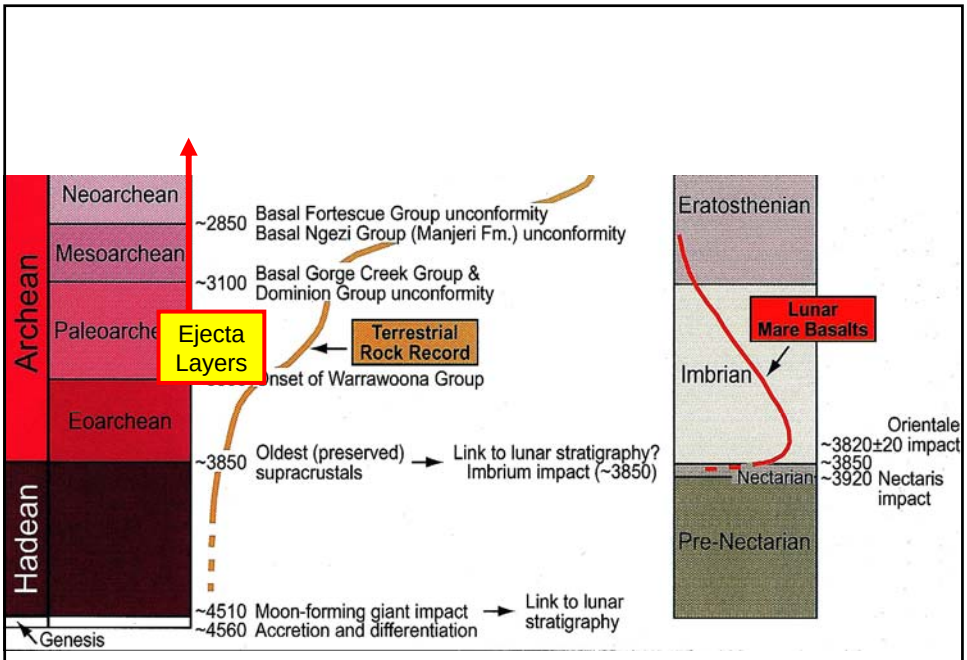
http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA17932

Terrestrische Kraterproduktionsrate

aus der lunaren Kraterproduktionsrate ??



Grieve 2004



Gradstein et al. 2004, Episodes 27, 83-100

Erdbahn kreuzende Asteroide

NEAs – near Earth asteroids

- stark exzentrische Bahnen
- erloschene kurzperiodische Kometen?
- Asteroide, durch gravitative Interaktion mit Jupiter aus dem Asteroidengürtel geschlagen

NEOs – near Earth objects

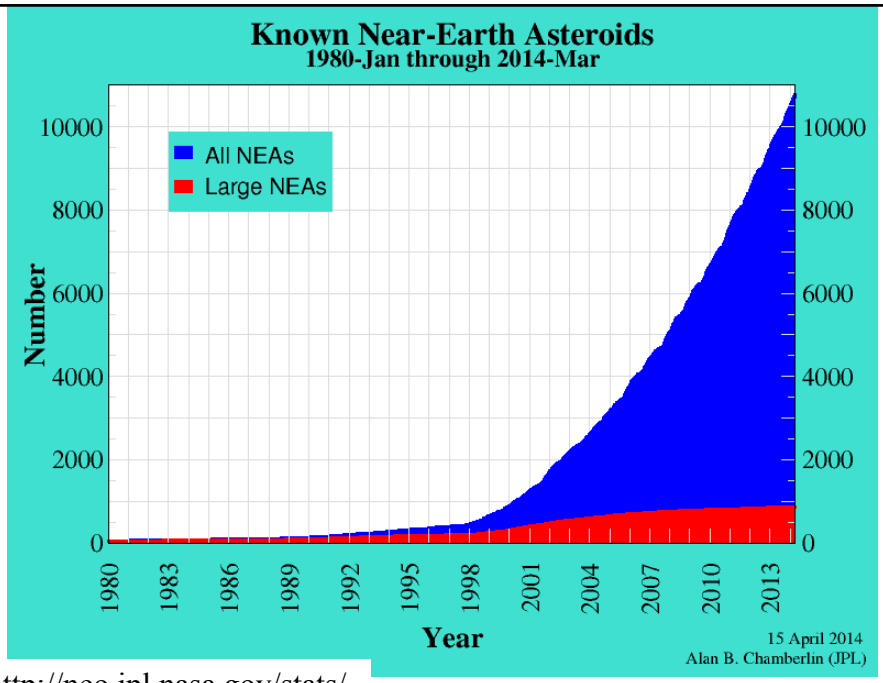
NEA Familien

- **Aten**: D Orbit kleiner als 1 AU
  - ~ 300 Objekte
  - innerhalb der Erdbahn
- **Apollo**: D Orbit größer als 1 AU
  - evtl. ausgelöschte Kometenkerne >1600 Objekte
  - kreuzen Erdbahn
- **Amor**: D Orbit zwischen Mars - Erde
  - häufigste Gruppe
  - kreuzen Mars-, jedoch nicht die Erdbahn

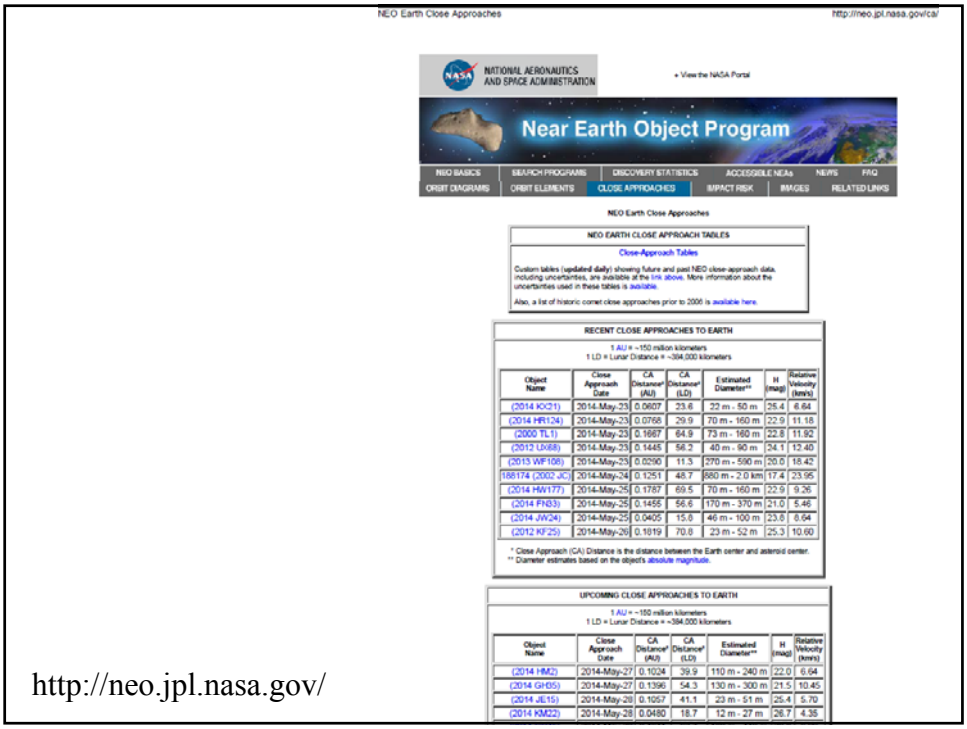
Deimos, Phobos: vom Mars eingefangene Amor-Asteroide

Lebensdauer vieler Objekte ~10^8 a
Ergänzung der Population aus dem Asteroidengürtel

Unterschiedliche Zusammensetzung (Spektren!)



http://neo.jpl.nasa.gov/stats/



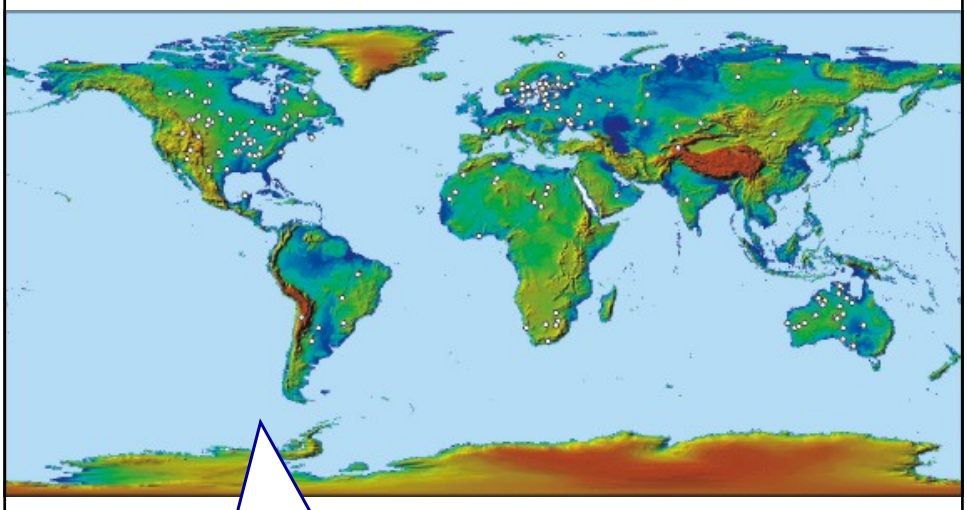
http://neo.jpl.nasa.gov/

Terrestrische Kraterproduktionsrate
Kollisionswahrscheinlichkeit

- aus der lunaren Kraterproduktionsrate
- astronomische Beobachtungen
- Statistik terrestrischer Krater

- Kraterpopulation auf einem Alten Schild
  (geologisch ähnliche Geschichte, geringe Erosionsraten)
- Krater mit D >20 km, Alter <120 Ma

?



Eltanin - Tiefsee n = 183

http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html

Zeitlich – räumliche Verteilung terrestrischer Impaktstrukturen

- insgesamt ~183; jährlich ca. 5 Neuentdeckungen, z.B. 12 neue Strukturen in Fennoskandien seit 1992
- mehrere Sediment-bedeckte Strukturen mit Ø ≥ 40 km in Australien und S. Afrika
- Alter: rezent bis 2023 Ma (Vredefort, RSA)
- Altersverteilung: 60% jünger als 200 Ma
  Ø 13 m (Carancas, Peru) bis ≤ 350 km (Vredefort)
- räumliche Verteilung: <200 Ma auf allen Kontinenten
  ≥ 200 Ma auf alten Schilden
  Kontinentalsockel: 10 Strukturen
  Tiefseeboden: 1 (Eltanin)

Kraterproduktionsrate Planet Erde

Statistik terrestrischer Impaktstrukturen

$5.6 \pm 2.8 \times 10^{-5}$ km^{-2} a^{-1}

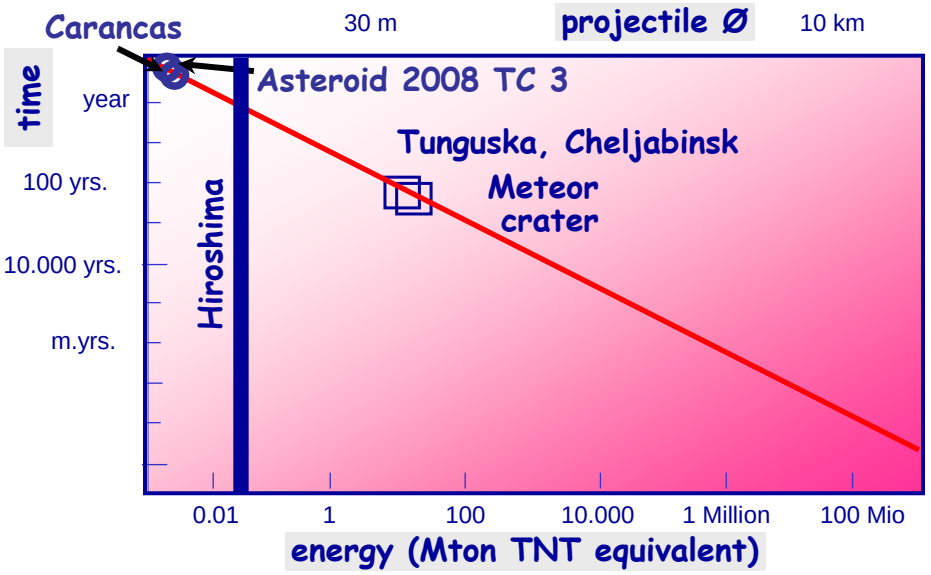
basierend auf Kratern mit Ø >20 km & einem Alter <120 Ma
(stabile Kratone - N. Amerika, UdSSR, Australien)

astronomische Beobachtung Erdbahn-kreuzender Asteroiden und Kometen

$5.75 \pm 2.9 \times 10^{-5}$ km^{-2} a^{-1}

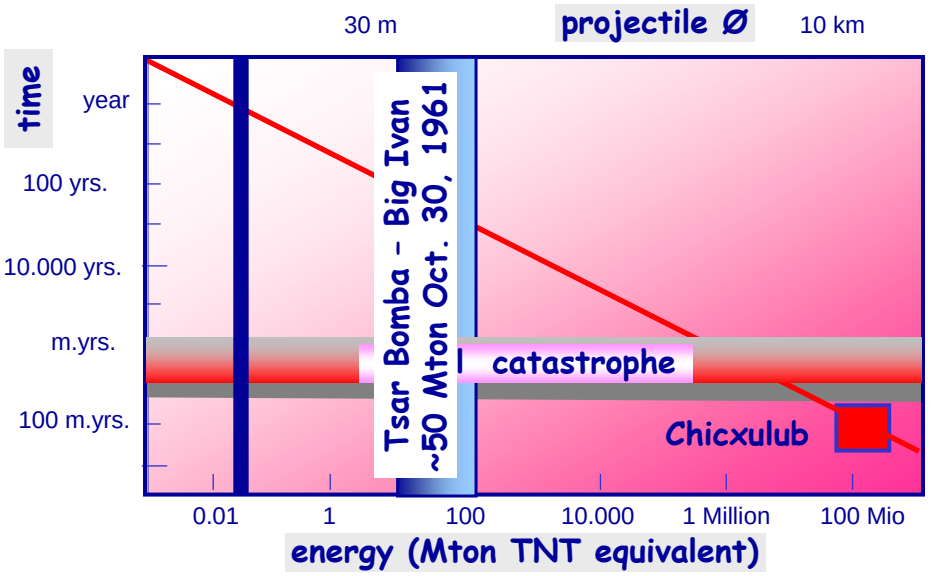
= 4 ± 2 Einschläge 5 Ma^{-1} (72% in die Ozeane),
die am Festland Krater mit Ø ≥20 km erzeugen,
Projektildurchmesser ~1 km

Terrestrial impact cratering

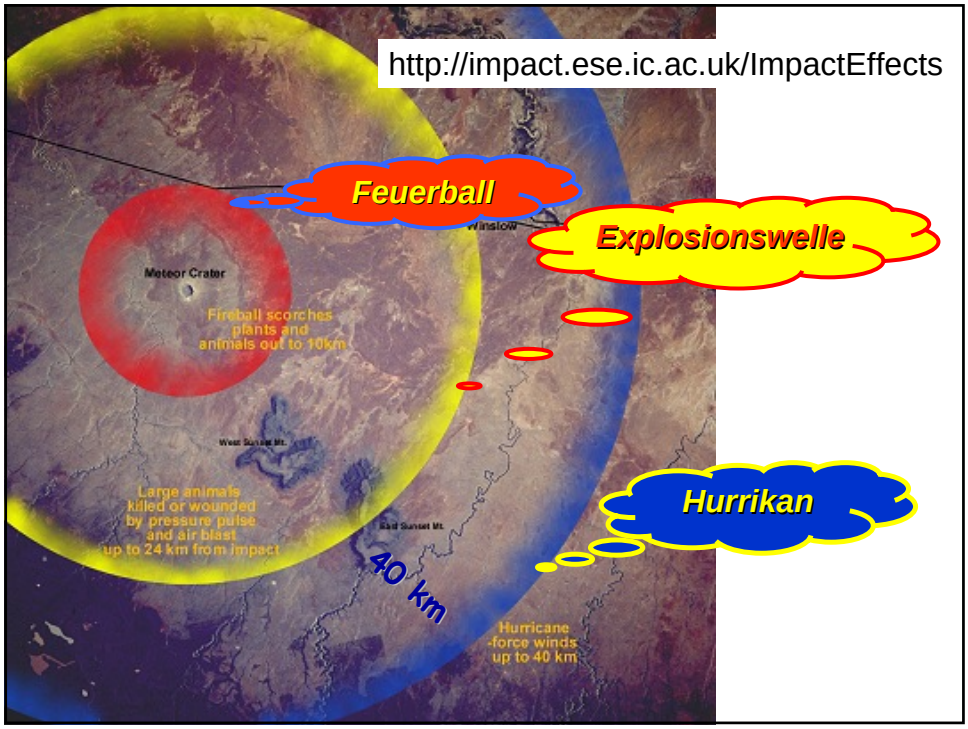


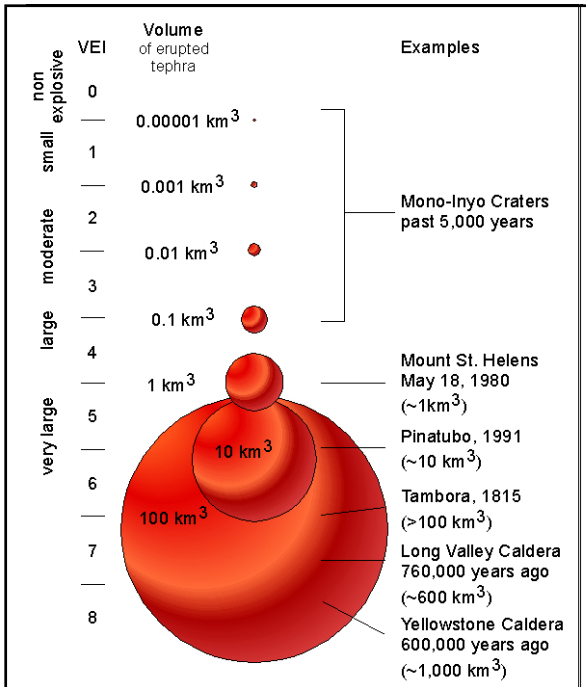
1 MT= 1 Mton TNT equivalent = 4.2×10^{15} J

Terrestrial impact cratering



1 MT= 1 Mton TNT equivalent = 4.2×10^{15} J





http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/vei.php

Volcanic explosivity index

8 Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98

Die Kurzform der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98 stellt eine sehr starke Vereinfachung und Generalisierung der ausführlichen Fassung dar. Sie kann z. B. zu Ausbildungszwecken an Schulen etc. herangezogen werden.
Diese Kurzform ist nicht geeignet zur Abschätzung makroseismischer Intensitäten.

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	**nicht fühlbar**	Nicht fühlbar.
II	**kaum bemerkbar**	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	**schwach**	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
IV	**deutlich**	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	**stark**	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	**leichte Gebäudeschäden**	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	**Gebäudeschäden**	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	**schwere Gebäudeschäden**	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d. h. Giebelteile und Dachsimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	**zerstörend**	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	**sehr zerstörend**	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	**verwüstend**	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	**vollständig verwüstend**	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Makroseismische Skala

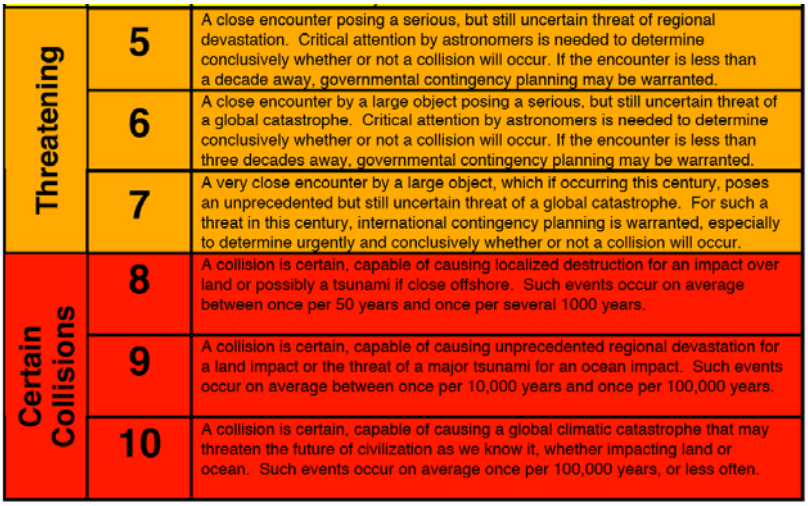
~Richter Skala

http://www.gfz-potsdam.de/portal/-?$part=binary-content&id=1475642&status=300

THE TORINO SCALE

Assessing Asteroid/Comet Impact Predictions

No Hazard	0	The likelihood of collision is zero, or is so low as to be effectively zero. Also applies to small objects such as meteors and bolides that burn up in the atmosphere as well as infrequent meteorite falls that rarely cause damage.
Normal	1	A routine discovery in which a pass near the Earth is predicted that poses no unusual level of danger. Current calculations show the chance of collision is extremely unlikely with no cause for public attention or public concern. New telescopic observations very likely will lead to re-assignment to Level 0.
Meriting Attention by Astronomers	2	A discovery, which may become routine with expanded searches, of an object making a somewhat close but not highly unusual pass near the Earth. While meriting attention by astronomers, there is no cause for public attention or public concern as an actual collision is very unlikely. New telescopic observations very likely will lead to re-assignment to Level 0.
	3	A close encounter, meriting attention by astronomers. Current calculations give a 1% or greater chance of collision capable of localized destruction. Most likely, new telescopic observations will lead to re-assignment to Level 0. Attention by the public and by public officials is merited if the encounter is less than a decade away.
	4	A close encounter, meriting attention by astronomers. Current calculations give a 1% or greater chance of collision capable of regional devastation. Most likely, new telescopic observations will lead to re-assignment to Level 0. Attention by the public and by public officials is merited if the encounter is less than a decade away.



Threatening	5	A close encounter posing a serious, but still uncertain threat of regional devastation. Critical attention by astronomers is needed to determine conclusively whether or not a collision will occur. If the encounter is less than a decade away, governmental contingency planning may be warranted.
	6	A close encounter by a large object posing a serious, but still uncertain threat of a global catastrophe. Critical attention by astronomers is needed to determine conclusively whether or not a collision will occur. If the encounter is less than three decades away, governmental contingency planning may be warranted.
	7	A very close encounter by a large object, which if occurring this century, poses an unprecedented but still uncertain threat of a global catastrophe. For such a threat in this century, international contingency planning is warranted, especially to determine urgently and conclusively whether or not a collision will occur.
Certain Collisions	8	A collision is certain, capable of causing localized destruction for an impact over land or possibly a tsunami if close offshore. Such events occur on average between once per 50 years and once per several 1000 years.
	9	A collision is certain, capable of causing unprecedented regional devastation for a land impact or the threat of a major tsunami for an ocean impact. Such events occur on average between once per 10,000 years and once per 100,000 years.
	10	A collision is certain, capable of causing a global climatic catastrophe that may threaten the future of civilization as we know it, whether impacting land or ocean. Such events occur on average once per 100,000 years, or less often.

Fig. 2. Public description for the Torino Scale, revised from Binzel (2000) to better describe the attention or response that is merited for each category.

Palermo Technical Impact Hazard Scale rate the potential hazard of impact of a NEO by combining the probability of impact with the estimated yield (kinetic energy) yield into a single "hazard" value.

1. Kosmische Geschwindigkeit

Kreisbahngeschwindigkeit um die Erde

7.91 km s-1

2. Kosmische Geschwindigkeit

Fluchtgeschwindigkeit, die ein Objekt benötigt, um sich unbegrenzt aus dem Schwerefeld eines Körpers zu entfernen

11.2 km s-1 (Erde), 2.3 km s-1 (Mond), 5.0 km s-1 (Mars)

600 m s-1 (Ceres)

3. Kosmische Geschwindigkeit

Fluchtgeschwindigkeit, die ein Objekt benötigt, um sich aus dem Schwerefeld der Sonne zu entfernen

42.1 km s-1 (Erde)

Impaktgeschwindigkeit

"hypervelocity impact"

- Erde

  11.2 km s-1 bis 71.9 km s-1 (retrograd)

  (Kreisbahngeschwindigkeit der Erde = 29.8 km s-1 +
  3. kosmische Geschwindigkeit = 42.1 km s-1)

- Asteroidengürtel

  ca. 5 km s-1

MEMIN-Experimente
bis zu ~7 km s-1