

MSc - Planeten & Sonnensystem
Impaktprozesse
WS 12/13

A. Deutsch

Gareth Collins
Imperial College, London U.K.

Wenige **grundlegende Prozesse** bestimmen
Morphologie - Geologie - geochemische
Zusammensetzung planetarer Oberflächen:

Endogen

Magmatismus Intrusionen - Vulkanismus

Gezeitenreibung

z.B. Jupitermond Io, Saturnmond Enceladus

Wenige **grundlegende Prozesse** bestimmen
Morphologie - Geologie - geochemische
Zusammensetzung planetarer Oberflächen:

Endogen

Magmatismus Intrusionen - Vulkanismus

exotisch: Gezeitenreibung

Tektonische Aktivitäten

Verwerfungen/Bruchtektonik

Plattentektonik mit Gebirgsbildung +

Gesteinsmetamorphose

„crustal overturn“ (Venus)

Wenige **grundlegende Prozesse** bestimmen
Morphologie - Geologie - geochemische
Zusammensetzung planetarer Oberflächen:

Exogen



Verwitterung

aquatisch - äolisch - glazial

Erosion

Massentransport und Sedimentation

Impaktprozesse



*Yours cordially,
G. K. Gilbert*

Sent in 1888

MAULL & FOX, 187* PICCADILLY, LONDON

G. Karl Gilbert
1843 – 1918

In 1891 Gilbert, chief geologist for the U.S. Geol. Survey, decided to test whether the crater in Arizona was created by the impact of a meteorite or the result of volcanic activity (explosion of superheated steam).



**Alfred Wegener
(1880-1930)**

Die
Entstehung der Mondkrater

Von

Dr. Alfred Wegener

Privatdozent der Geographie an der Universität Hamburg

Mit 9 Abbildungen im Text und auf 8 Tafeln

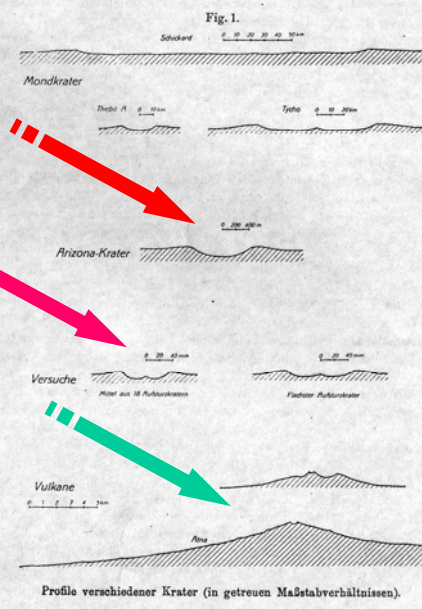


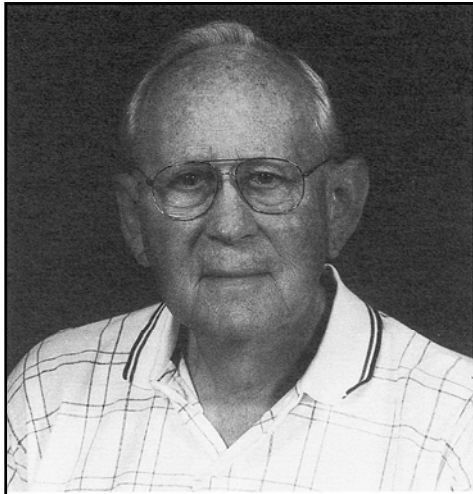
Braunschweig
Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn
1921

UBT017052511222



die lehrreiche Zusammenstellung bei J. Schmidt (Der Mond, S. 103, Leipzig 1856) oder bei v. Wolff (Der Vulkanismus I, S. 450, Stuttgart 1914). Z. B. hat der Ätna nach Schmidt eine Seehöhe von 3274 m, eine Krateröffnung von 485 m und eine Kratertiefe von 105 m. Dies ist die weitaus überwiegende Form. Daneben





Ralph Baldwin
(1912 -2010)

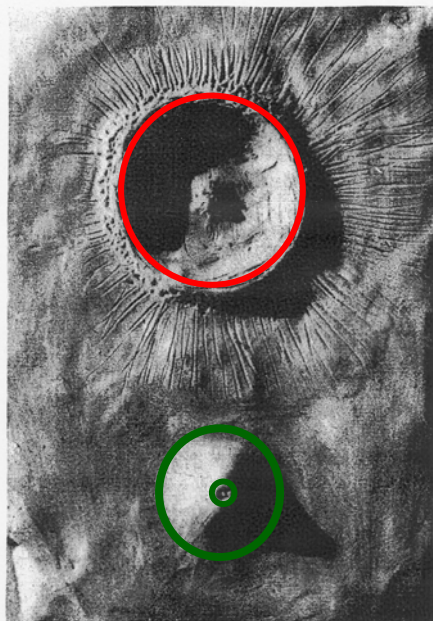
The
FACE
of the
MOON

BY RALPH B. BALDWIN



THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
1949

PLATE VII

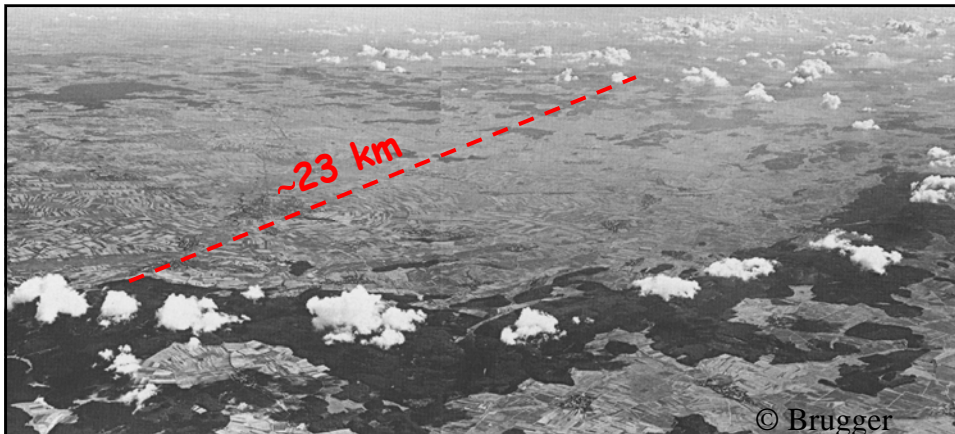


PHOTOGRAPH OF A SCALE MODEL OF A TYPICAL LUNAR CRATER
AND A TYPICAL TERRESTRIAL VOLCANIC CONE

The Face of the Moon appeared in **1949**. With nine prominent exceptions, the book was ignored for a few years... I could not understand this. The observations were clear and definitive. The Moon's craters and many terrestrial examples had to be of impact origin. Yet many otherwise excellent scientists read or listened to the evidence and remained of the same opinion, that the Moon's craters were some form of volcanism. It didn't make sense.....

Eugene Shoemaker

- Krater der Atomwaffentests Jangle U - Teapot Ess (1.2 kton)
- Meteorkrater
- 1961 gemeinsam mit E.C.T. Chao: Nachweis von Coesit und Stishovit im Ries
- Astrogeology Branch - USGS Flagstaff
- Vorbereitung der Apollo-Missionen
- Kraterjagd in Australien
- Erforschung des Asteroidengürtels
- → Komet Shoemaker-Levi 9

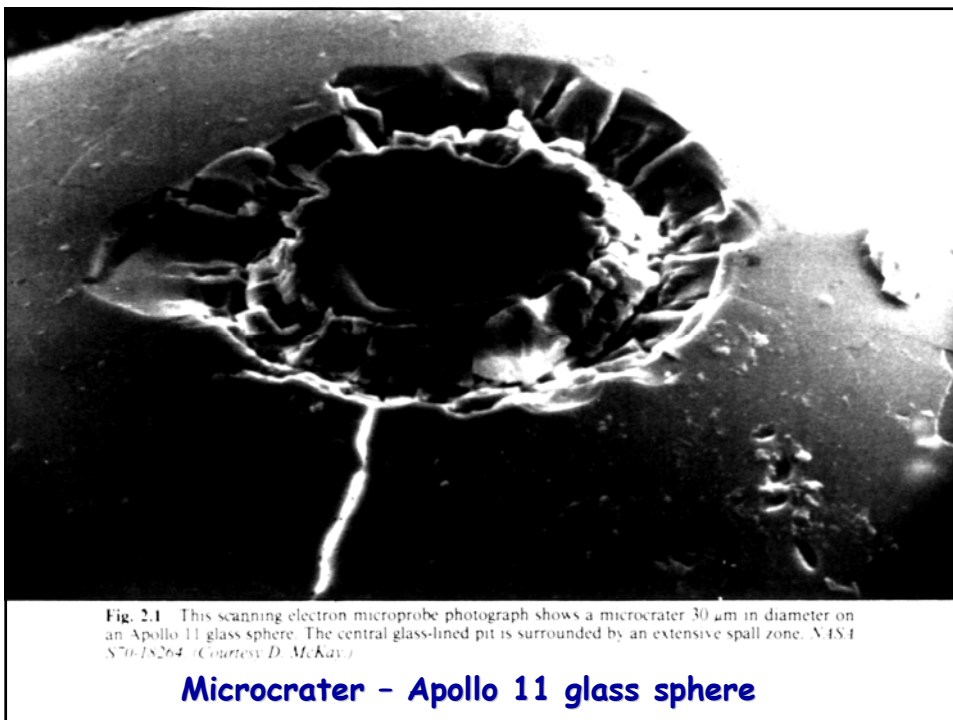


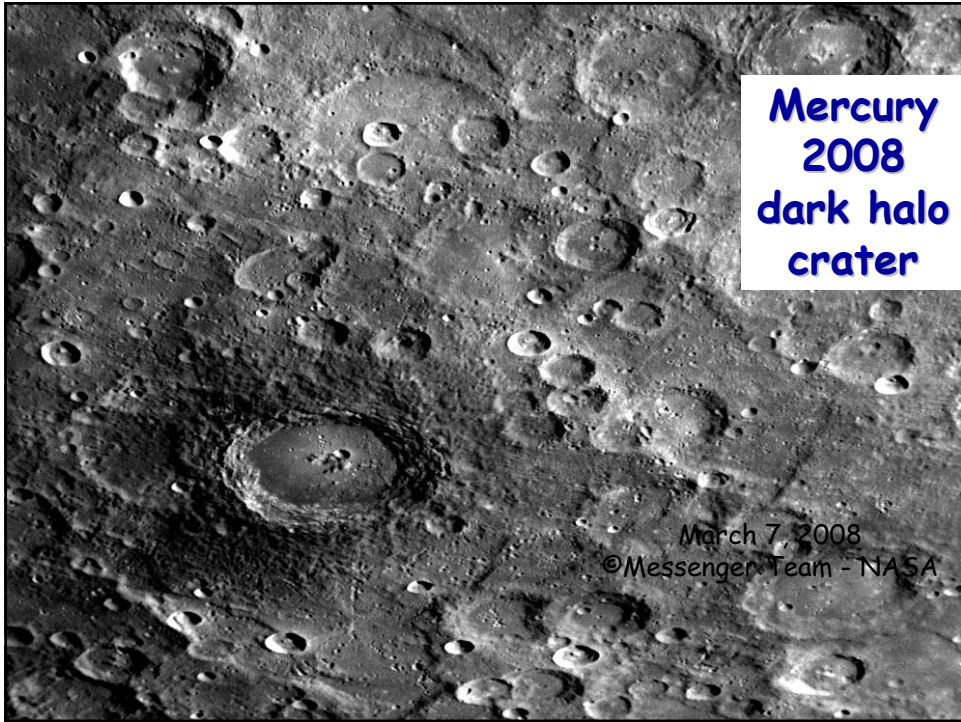
1961

Nördlinger Ries

= Komplexer Impaktkrater mit Ringwall

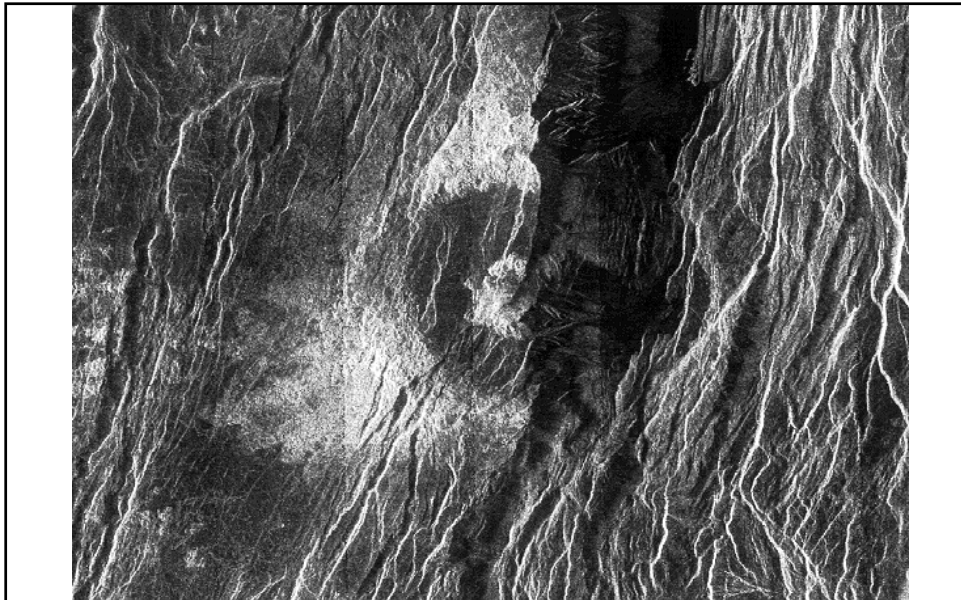
Alter: 15 Mio Jahre





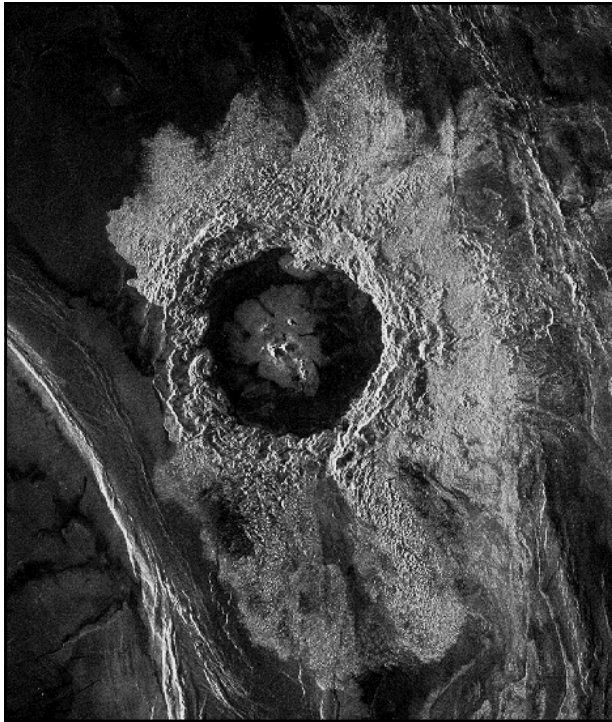
**Mercury
2008
dark halo
crater**

March 7, 2008
©Messenger Team - NASA



Venus "Halb"-Krater, Ø 37 km

©NASA 1991 Magellan

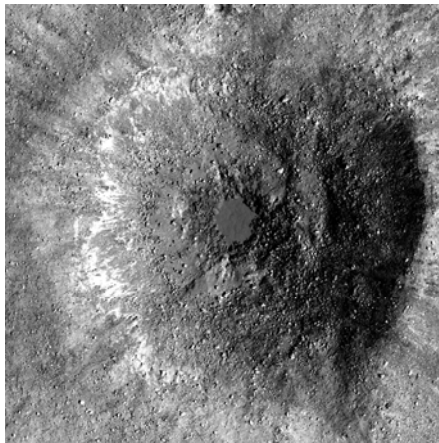


**Krater Dickinson
Ø 185 km**

Venus

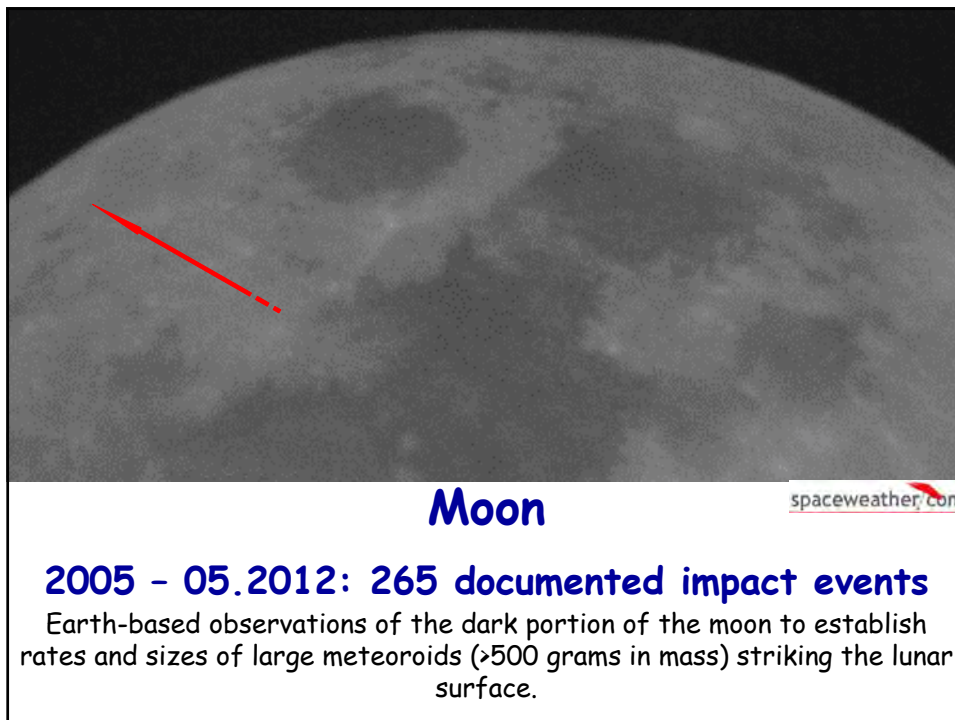
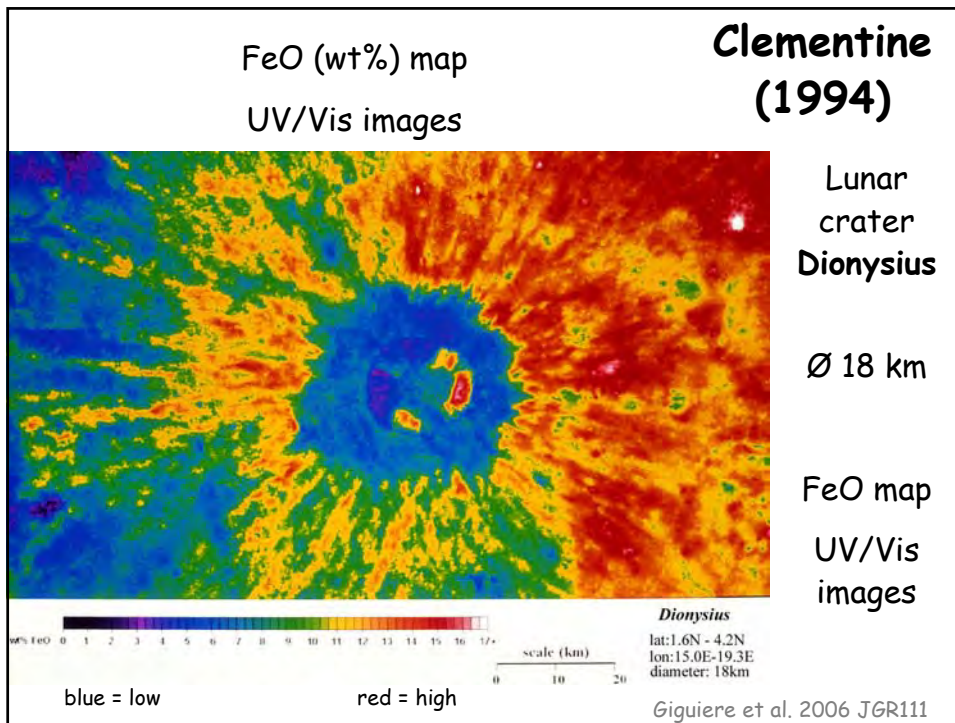
©NASA 1992
Magellan

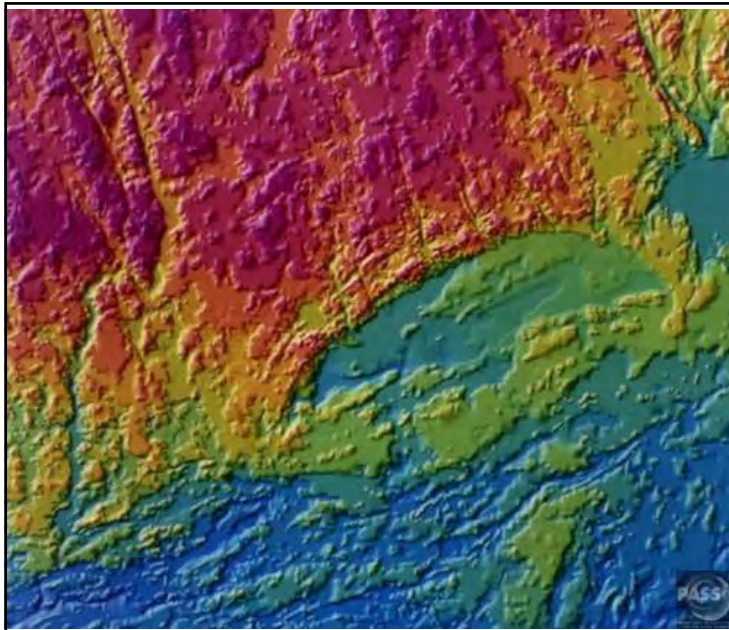
http://wms.lroc.asu.edu/lroc_browser/view/wac_nearside
http://wms.lroc.asu.edu/lroc_browser/view/np_mos



Moon

Frozen impact melt pool on the floor of a young & unnamed crater (90 x 70 m). LROC NAC M111972680LE, < 750 m>
© NASA/GSFC/Arizona State University





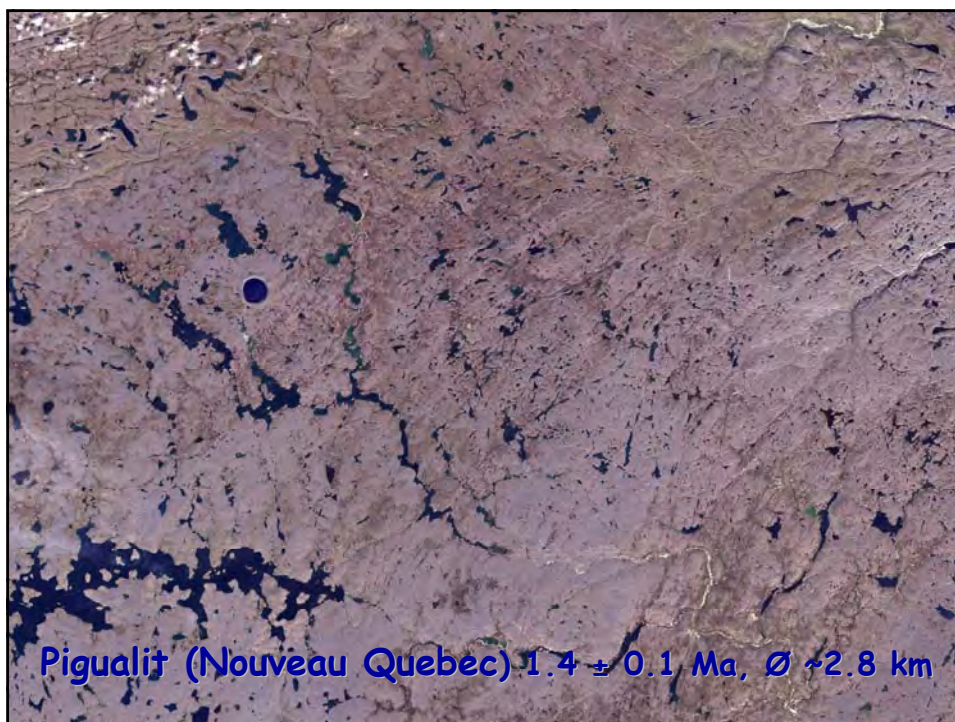
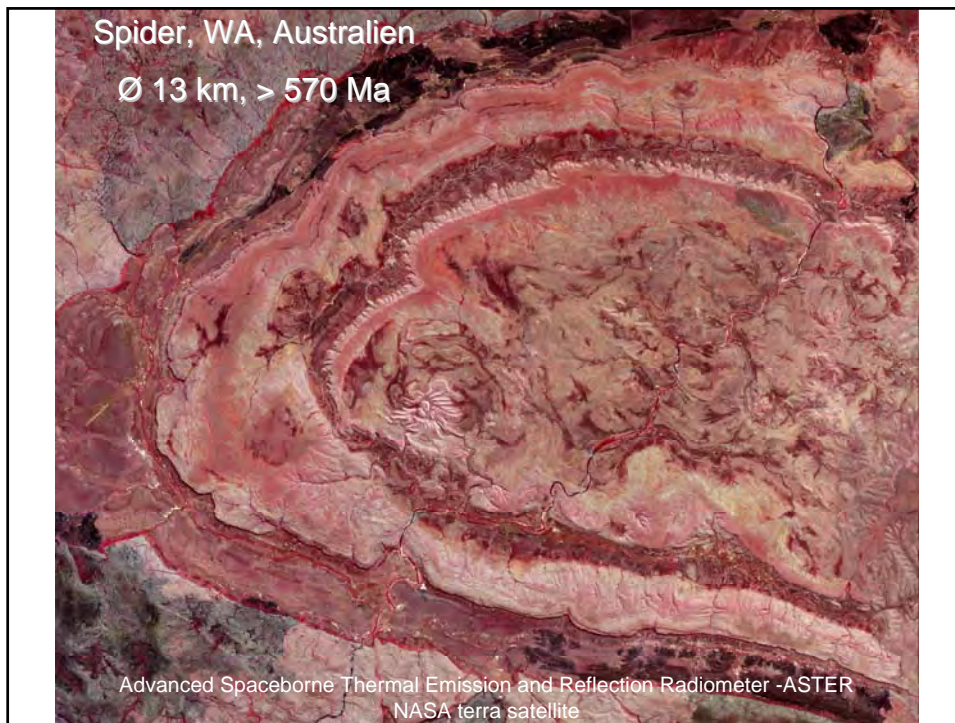
**Sudbury
Multiring-
Becken**

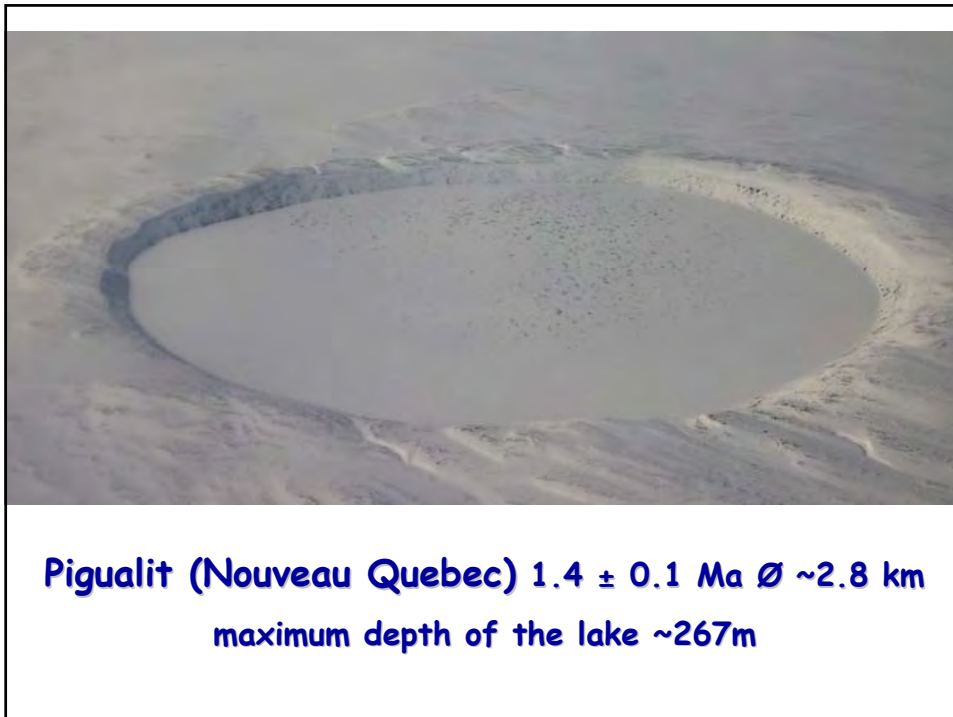

**Ontario
Kanada**

DEM




Clearwater Lakes Quebec Canada ©Reiff
Ø 32 - 17 km



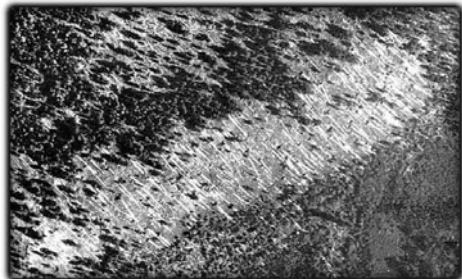



Tunguska, Sibirien; 30.6.1908

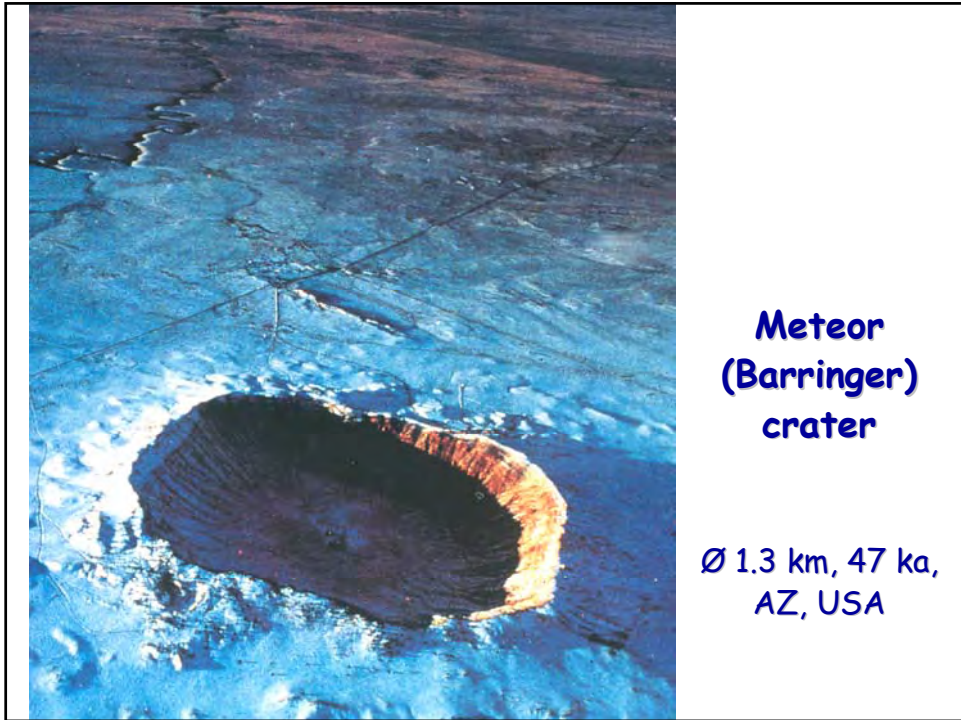
Explosion in 8 km Höhe mit der Energie von
 ~ 60 Hiroshima-Atombomben
 Verwüstung von 2150 km^2 Taiga, 80 Mio. Bäume geknickt



© William K. Hartmann



| | |
|--|--|
| Projektile | Gesamtenergie = 4.8×10^{15} Joules |
| $V = 15 \text{ km s}^{-1}$ | $\frac{1}{2}$ der Energie wird an die Atmosphäre abgegeben (Abbremsung, Fragmentierung ...) |
| $\varnothing = 30 \text{ m}$ | |





The Carancas Event on September 15, 2007: Meteorite Fall, Impact conditions, and crater characteristics



T. Kenkmann¹
N. A. Artemieva²
M. H. Poelchau¹
K. Wünnemann¹

¹Museum für Naturkunde – Mineralogie,
Humboldt-Universität Berlin, Germany
thomas.kenkmann@museum.hu-berlin.de

²Russian Academy of Science Moscow, Russia

We acknowledge the logistical help of H. Nunez del Prado (INGEMMET)

2007

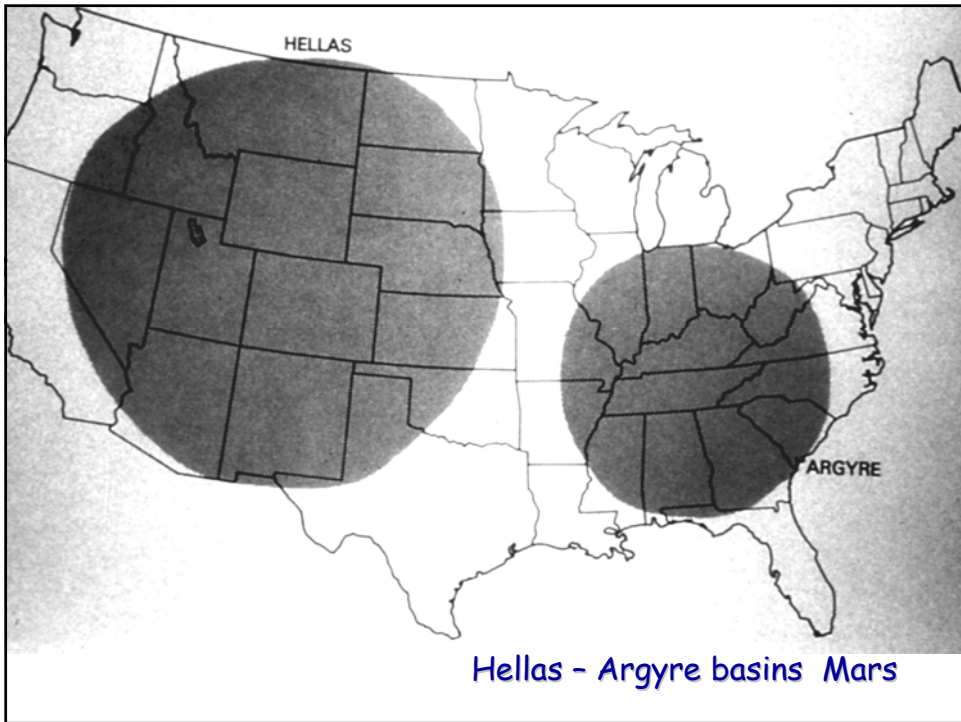
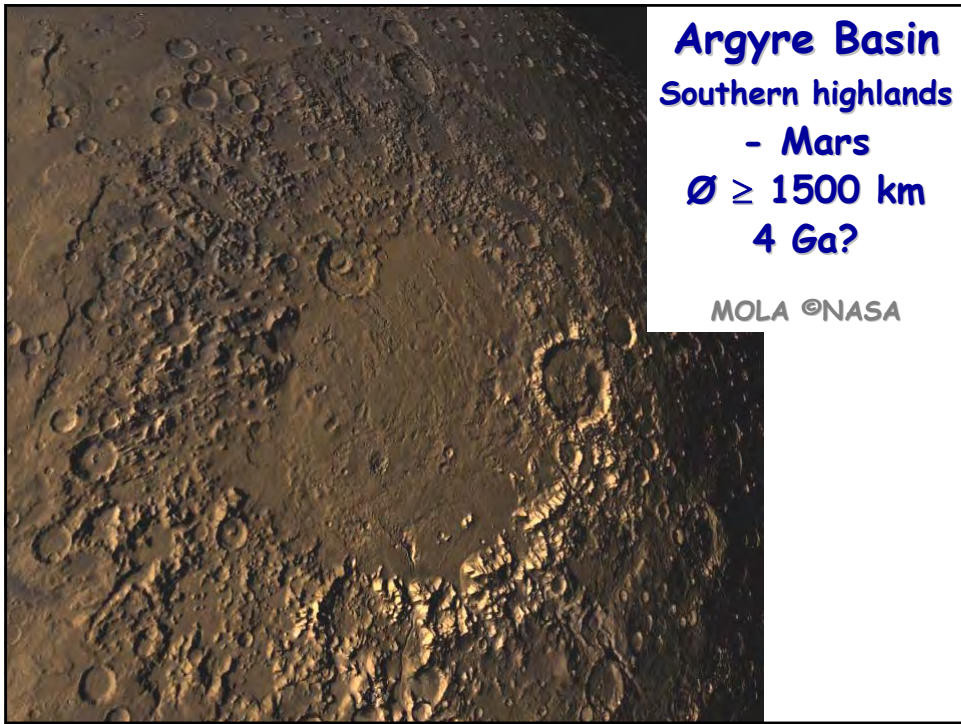


(i) Atmospheric modeling, (ii) Crater modeling, (iii) Field analysis

- Atmospheric entry at shallow angle and low cosmic velocity
- Steep impact at 70-75° with terminal velocity (200-300 ms⁻¹)
- Impact of a chondritic body with 0.7-1m Ø and 0.7-1.4 tons mass
- No shock features, minor fracturing (50-100 MPa)

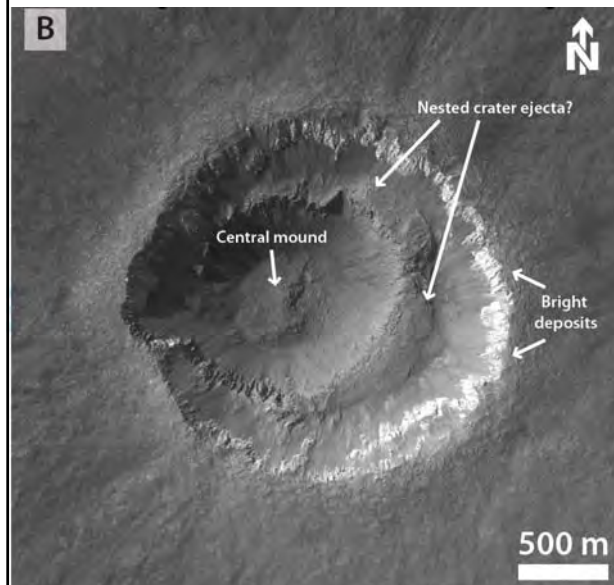
- Crater size D at crest: 14.2 m Ø
- Crater volume V: 160 m³
- Crater efficiency π_v : ~320
- Kinetic energy E_{kin}: 6.3 x 10⁷ J (15 kg TNT equivalent)

**Carancas is the youngest and smallest impact crater on Earth!
Impact risk has to be re-evaluated!**



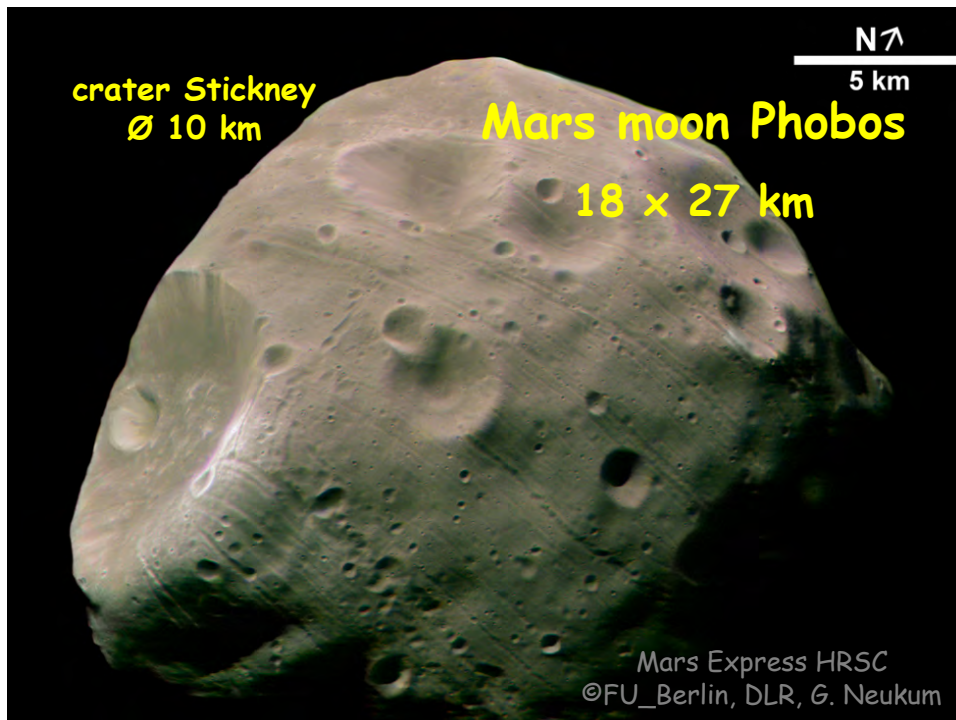


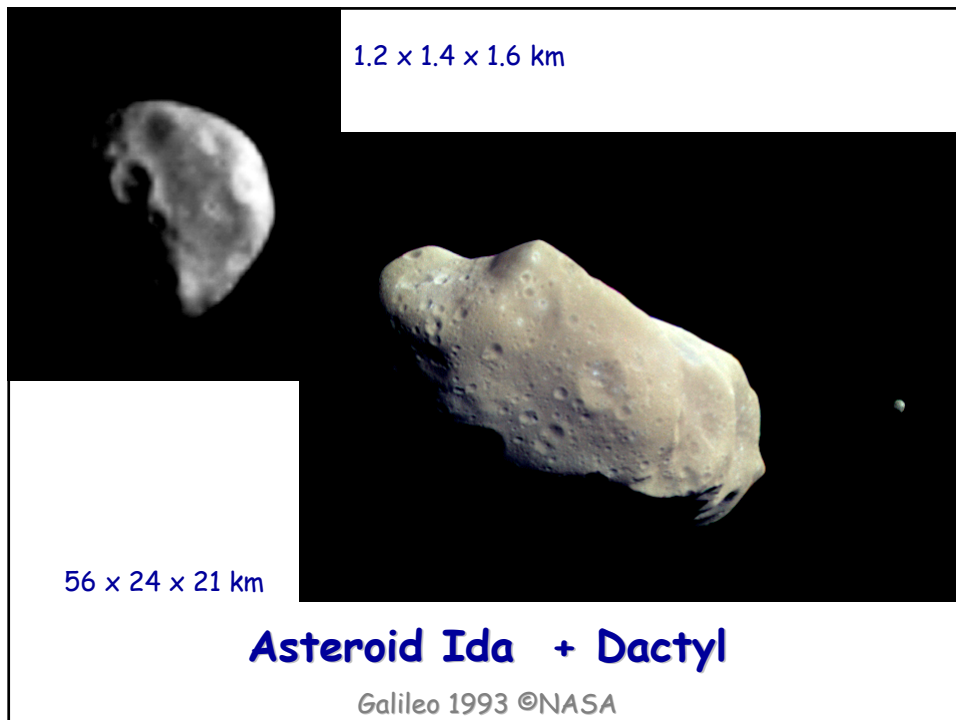
Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) Context Camera (CTX)



wider (unnamed)
crater in a weaker
layer surrounding a
smaller nested crater
with an irregular
ejecta deposit

Ormö et al. 2013 MAPS, in press





W. M. KECK TELESCOPE CAPTURES THE IMPACT OF
COMET SHOEMAKER-LEVY 9 FRAGMENT-R ON JUPITER

5:30 UT, July 21, 1994
MAUNA KEA, HAWAII

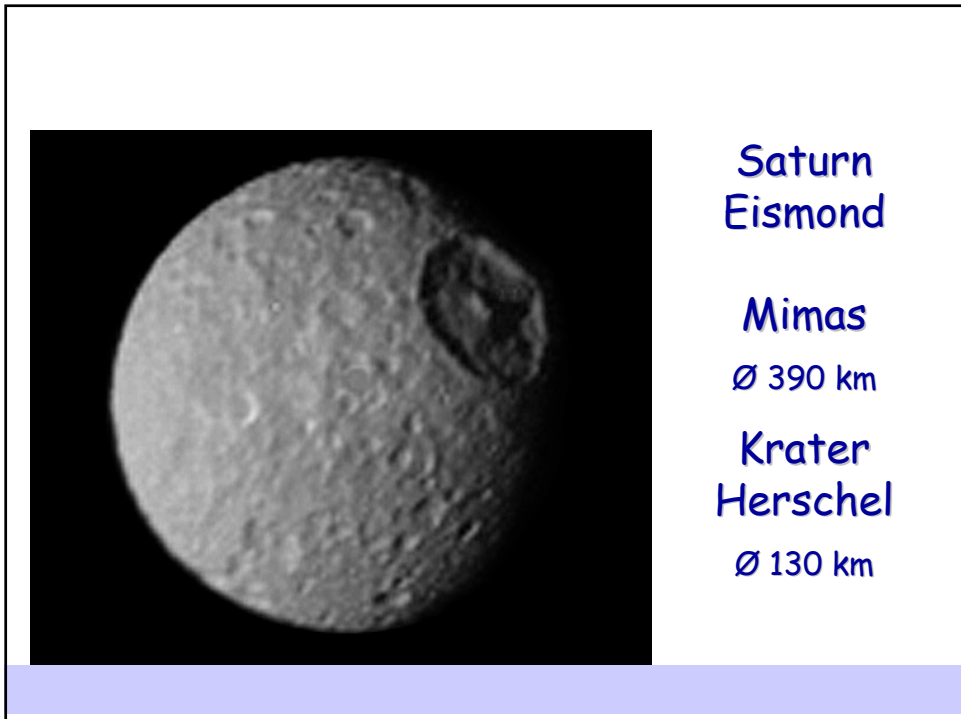
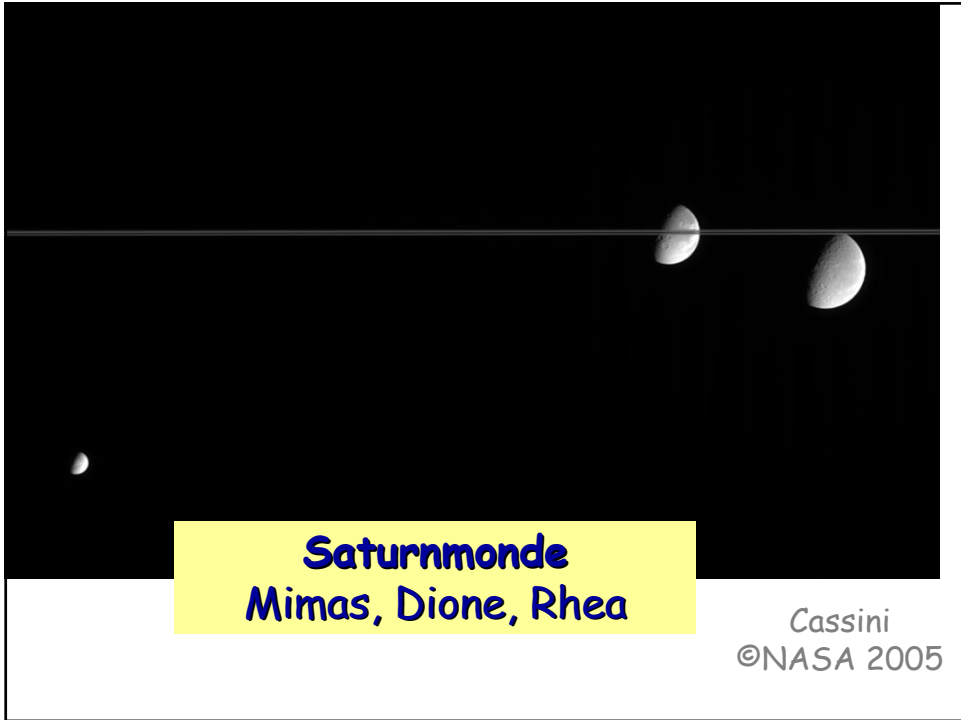
Astronomers:
Imke de Pater, James R. Graham, Garrett Jernigan
University of California, Berkeley

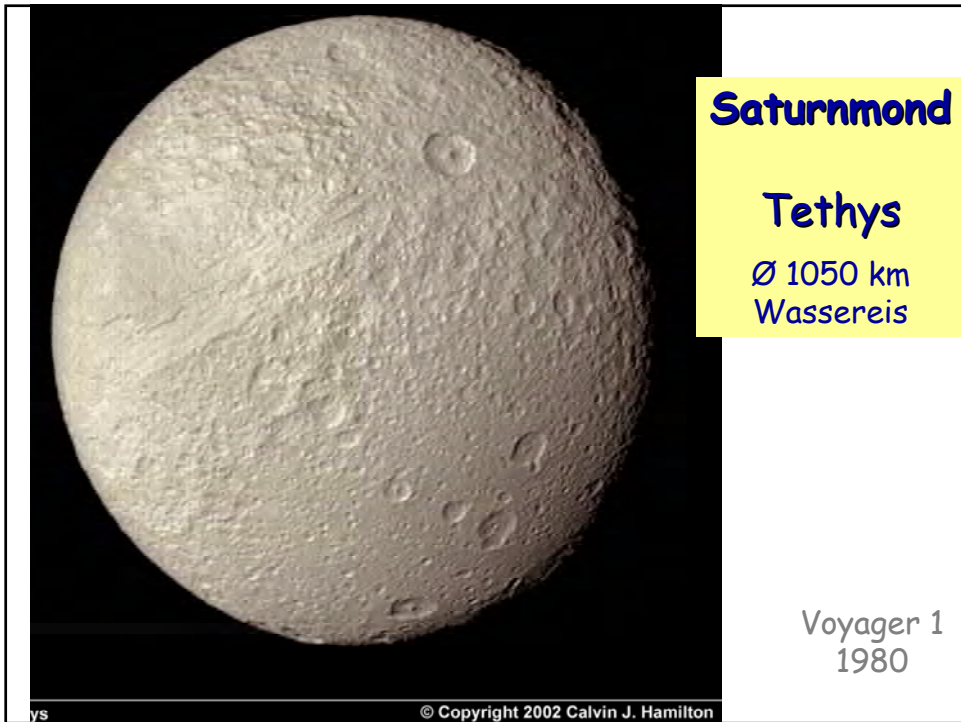
with support from
Wendy Harrison, Joel Aycock, David Vezie
and the staff of the Keck Observatory

**Einschlag des Kometen Shoemaker-Levy 9
Fragment R, 21.7.94, 5:30
der Feuerball leuchtete ~8 Minuten**

**Shoemaker-Levi 9 Fragment G
Hurrikan Linda 9.9.1997**







Saturnmond

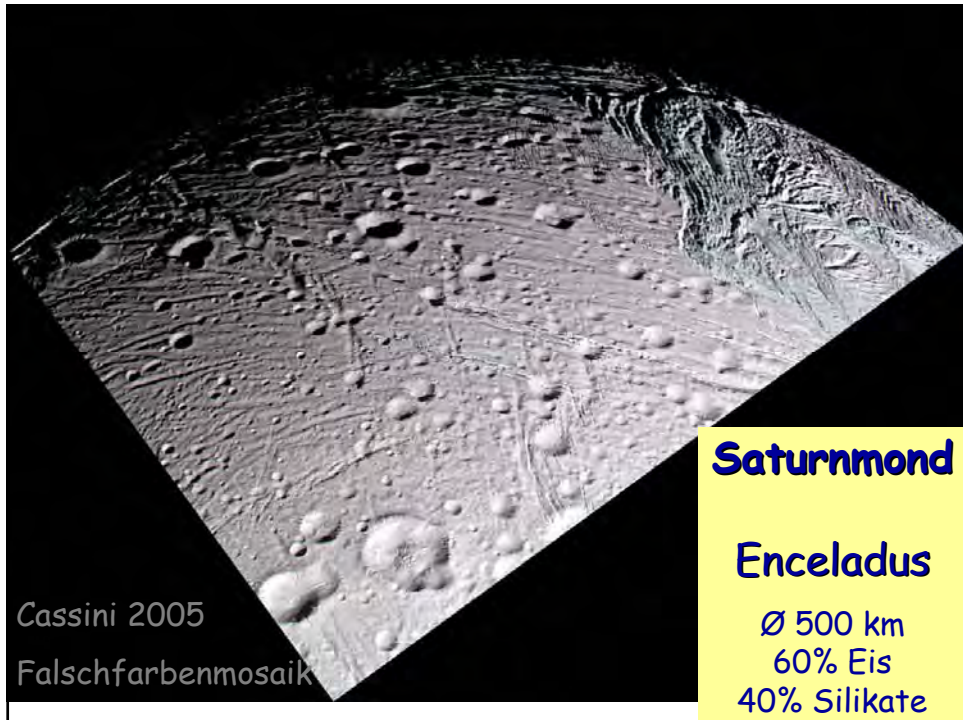
Tethys

Ø 1050 km
Wassereis

Voyager 1
1980

ys

© Copyright 2002 Calvin J. Hamilton

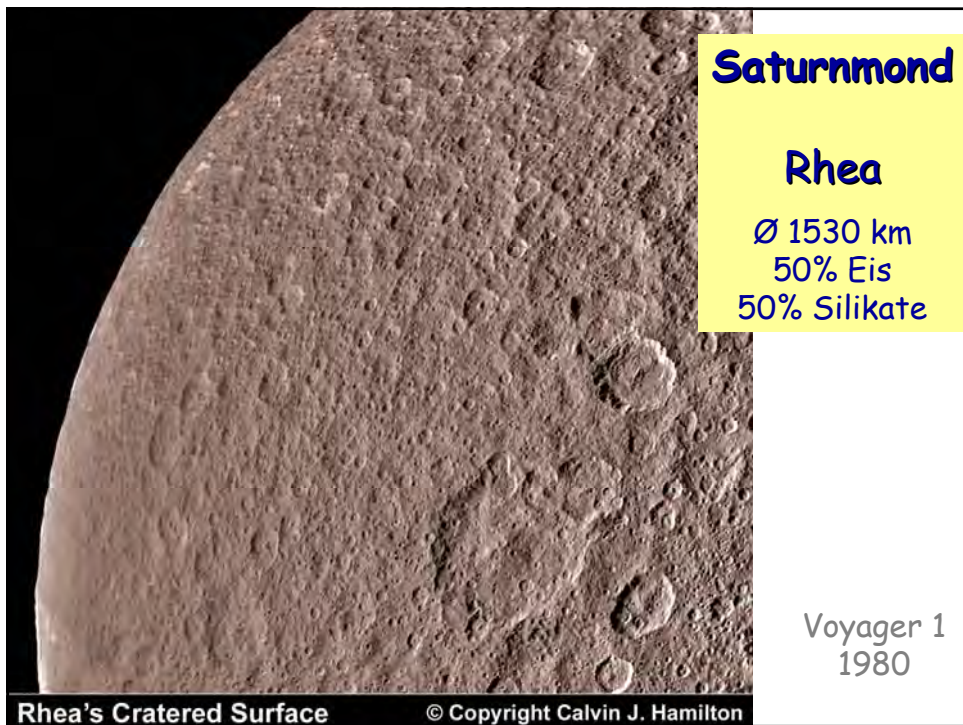


Cassini 2005
Falschfarbenmosaik

Saturnmond

Enceladus

Ø 500 km
60% Eis
40% Silikate



Rhea's Cratered Surface © Copyright Calvin J. Hamilton

Saturnmond

Rhea

Ø 1530 km
50% Eis
50% Silikate

Voyager 1
1980

Deep Impact Mission



Projekttilabwehr

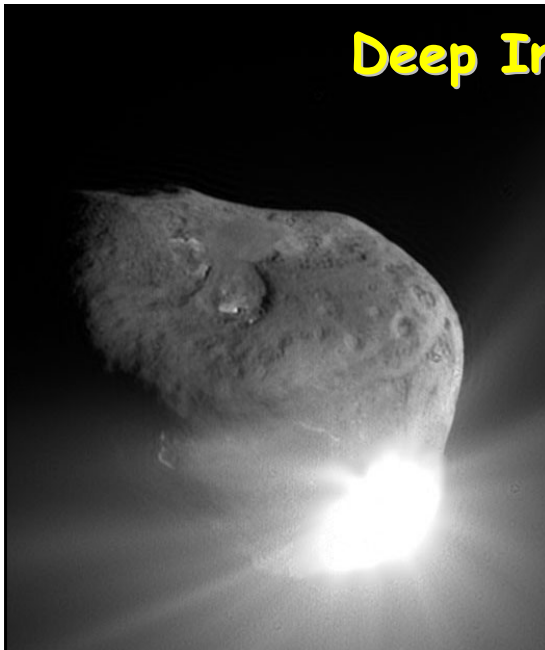
Komet Tempel 1

7.6 × 4.9 km

90 Sek vor der
Kollision mit dem
Impaktor

©NASA 2005-2007

Deep Impact Mission



Komet Tempel 1

67 Sek nach der
Kollision mit dem
Impaktor

Krater ø 100-250 m, 30 m tief

kinetische Energie
~ 5 Tonnen TNT

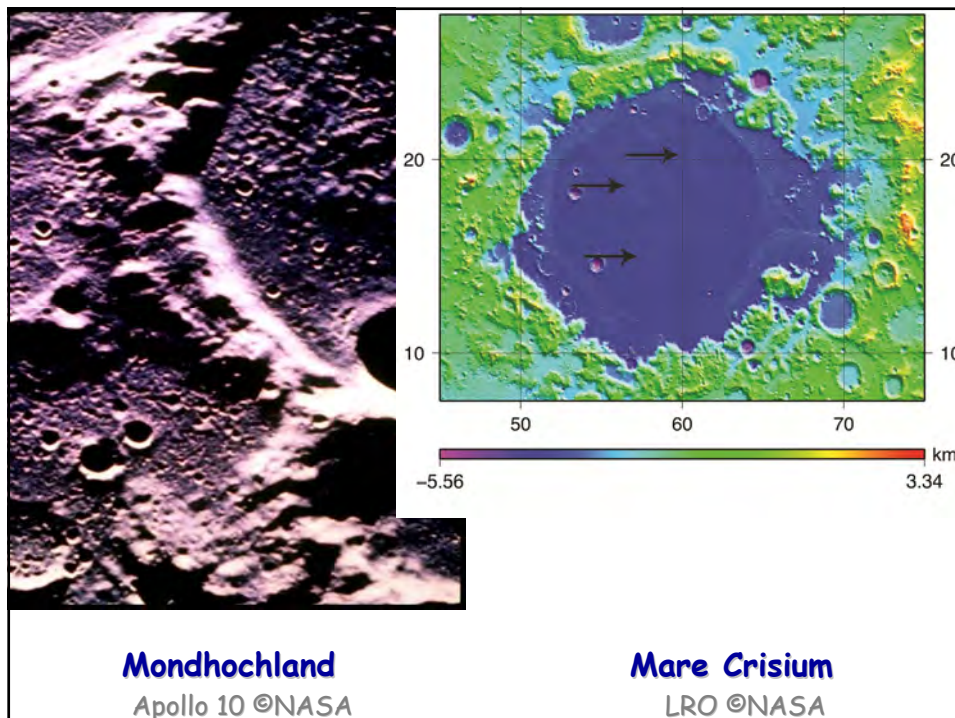
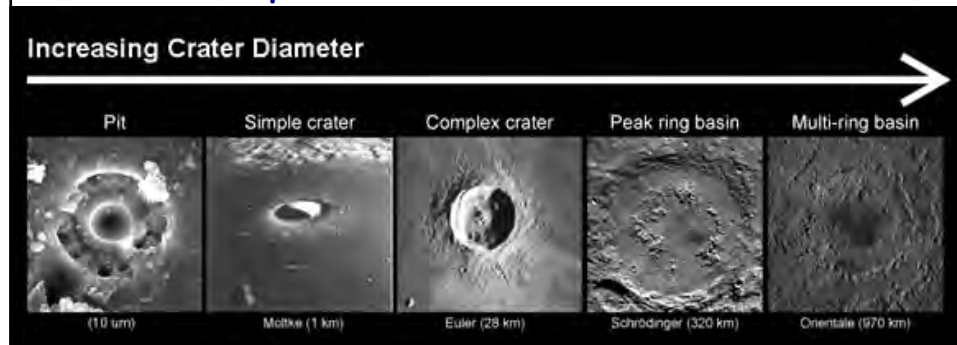
©NASA 2005-2007

Planetare Krusten - Impaktkrater

Fernerkundungsdaten & Weltraummissionen

- Kratergröße von $x \mu\text{m}$ (z.B. Spaceshuttlefenster; Aerogel/Al-Folie Stardust-Mission) bis $>2000 \text{ km}$ (z.B., South Pole-Aitkins-Becken - Erdmond; Valhalla - Callisto)

⇒ **Größensequenz**



Planetare Krusten - Impaktkrater

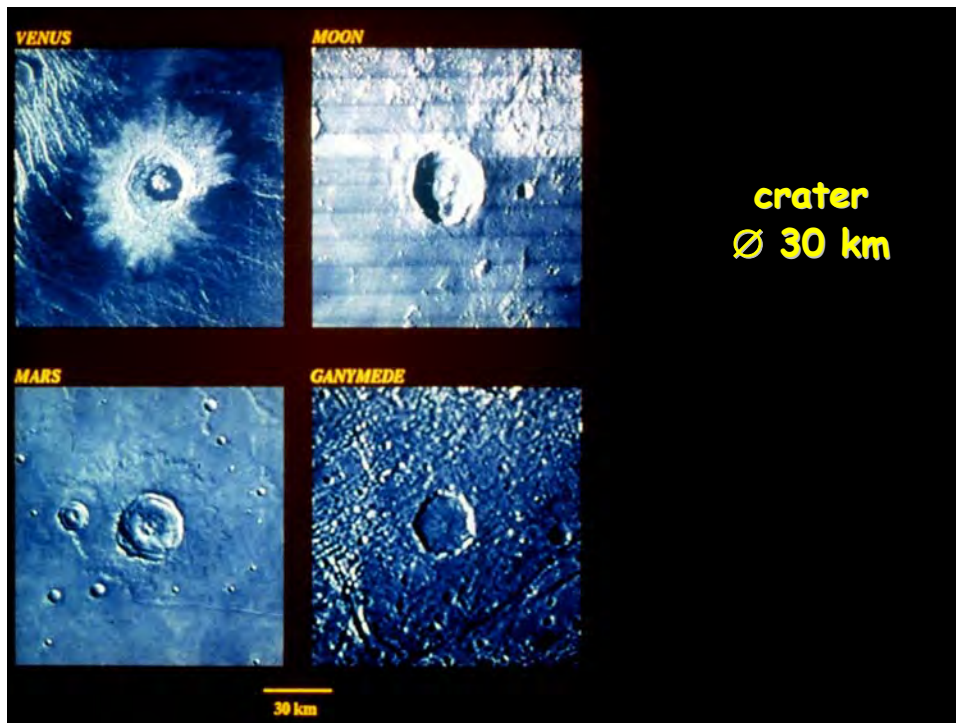
Fernerkundungsdaten & Weltraummissionen

- Kratergröße von $x \mu\text{m}$ bis $>2000 \text{ km}$
⇒ **Größensequenz**
- Superposition (Überlagerung) von Impaktkratern auf planetaren Oberflächen
⇒ **Altersabfolge**
- unterschiedliche Kraterdichte (Häufigkeit/Flächeneinheit) auf planetaren Oberflächen
⇒ **Zeitfaktor**

Planetare Krusten - Impaktkrater

Fernerkundungsdaten & Weltraummissionen

- Abnahme von Impakthäufigkeit wie Projektilgröße seit der Bildung des Sonnensystems
⇒ **Änderung der „Kollisionsrate“ (Impakthäufigkeit pro Zeiteinheit)**
⇒ **nicht lineare Änderung von extrem hohen zu den niedrigen heutigen Werten**
- Änderung der Kollisionsrate mit der Zeit
⇒ **Impaktkraterstatistik liefert eine relative, eichbare Zeitskala für die geologische Entwicklung planetarer Körper.**
⇒ **crater retention ages**



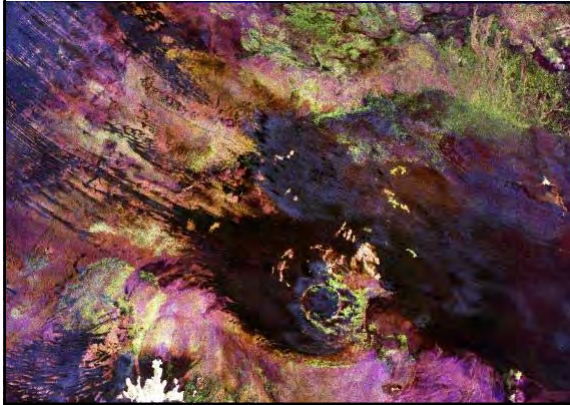
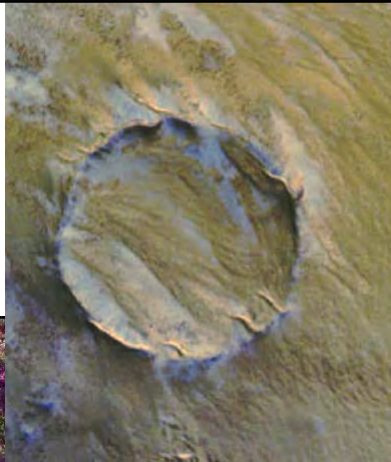
Planetare Krusten - Impaktkrater

Fernerkundungsdaten & Weltraummissionen

- Kratergröße
⇒ **Größensequenz**
- Superposition
⇒ **Altersabfolge**
- Kraterdichte
⇒ **Zeitfaktor**
- Kraterform
⇒ **Größe & Einfallswinkel des Projektils, (alte Bruchmuster)**
- Variation der Kraterform und/oder der Auswurfsdecke
⇒ **Materialbeschaffenheit des Targets, Lagenbau**

**Crater morphology
simple bowl shaped**

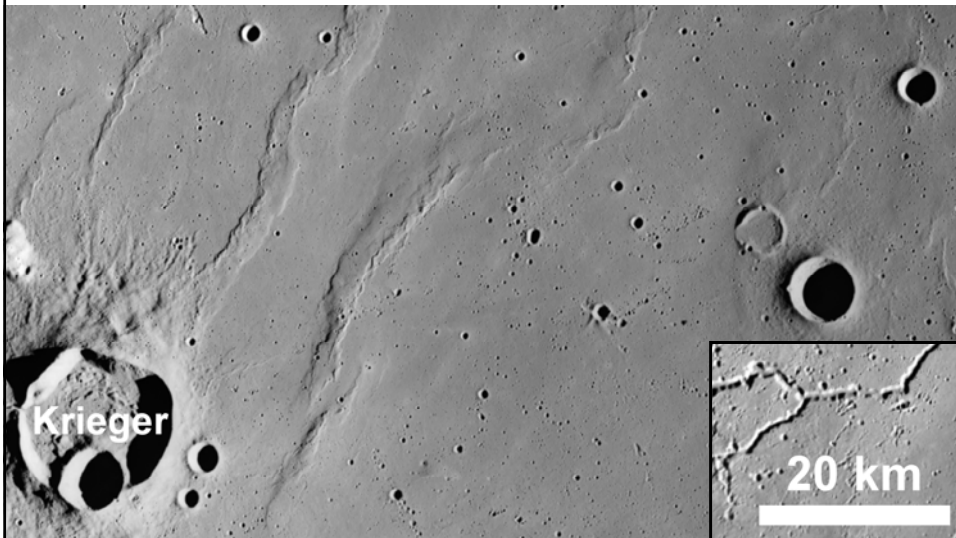
Roter Kamm crater, Namibia
Ø 2.5 km 3.7 Ma



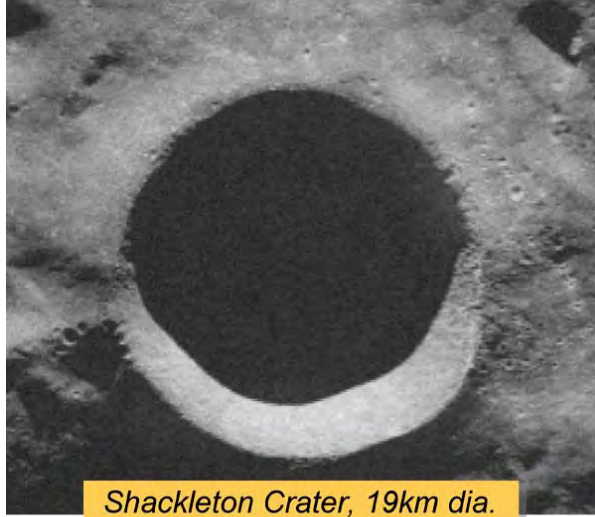
Radar-C/X-Band Synthetic Aperture
Radar (SIR-C/X-SAR) instrument
onboard space shuttle Endeavour
on April 14, 1994

**Crater morphology
simple bowl shaped**

Apollo 15 image AS15-M-2081 Rimae Prinz region © NASA

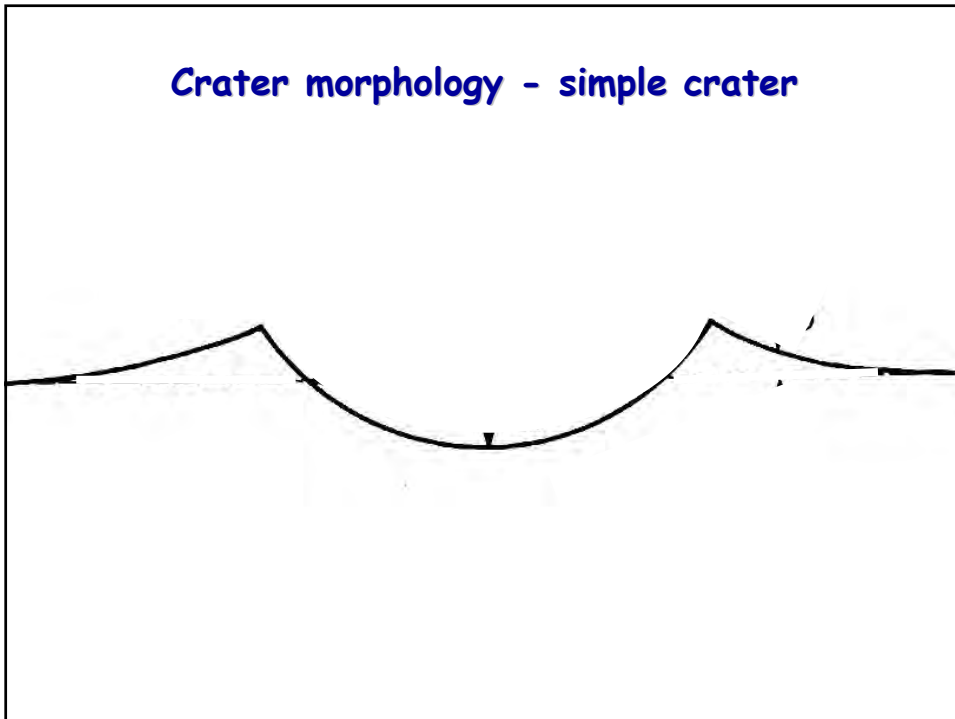


**Crater morphology
simple bowl shaped**

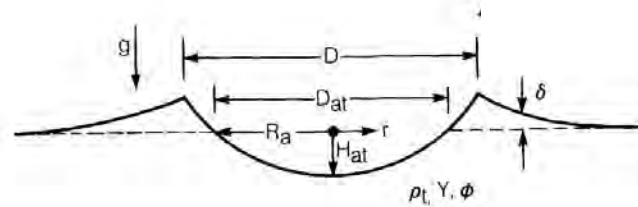


*Shackleton Crater, 19km dia.
(lunar South Pole)
2005 Arecibo radar image*

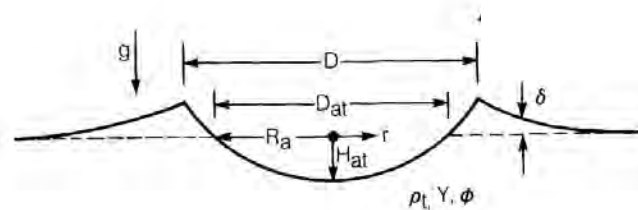
Crater morphology - simple crater



Crater morphology - simple crater



Crater morphology - simple crater



D = Durchmesser am Kraterrand, rim-to-rim diameter

D_{at} = scheinbarer D, apparent D (Erosion!!)

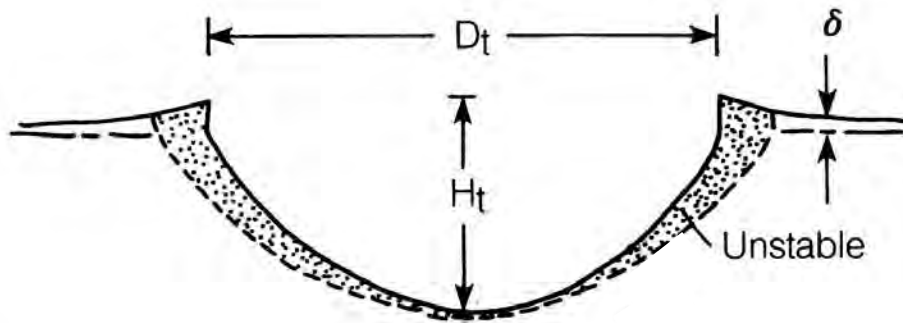
$R_a = D_{at}/2$ (r = Distanz zum Kraterzentrum)

H_{at} = Kratertiefe, apparent depth (Brekzienlinse!!)

δ = Mächtigkeit der Auswurfsdecke, thickness of ejecta blanket

g = „Erd“beschleunigung, acceleration of gravity

morphology - simple bowl-shaped crater

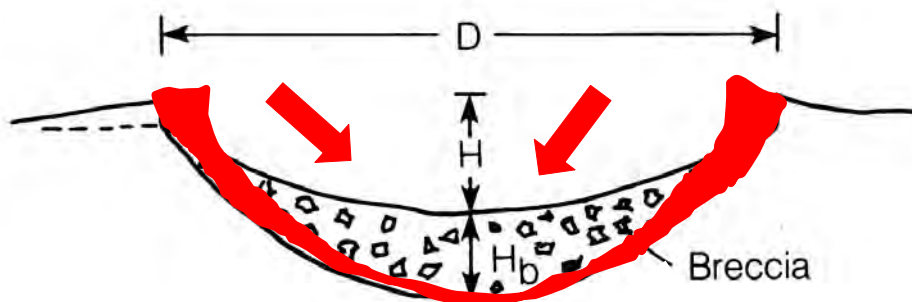


D_t = Durchmesser, diameter

H_t = Tiefe der vorübergehenden Kraterhohlform, transient crater

δ = Mächtigkeit des Auswurfes, ejecta thickness

morphology - simple bowl-shaped crater



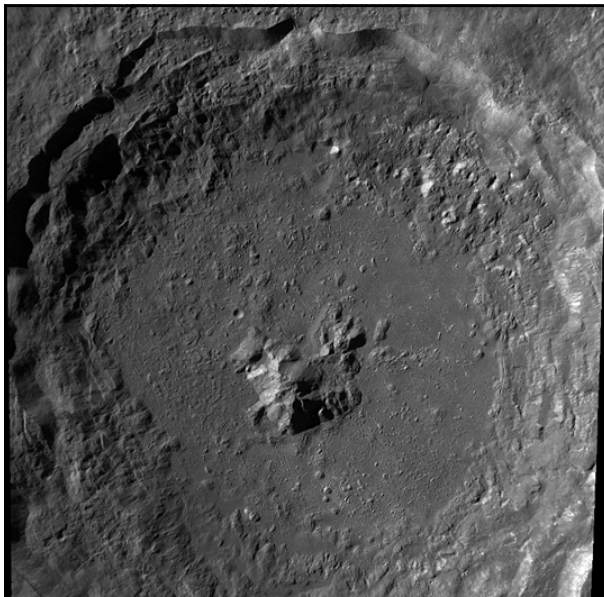
D = Durchmesser am Kraterrand, rim-to-rim diameter

H = Kratertiefe, depth

H_b = Mächtigkeit der Brekzienlinse, breccia lens thickness

→ Abrutschung/Abgleiten, slumping

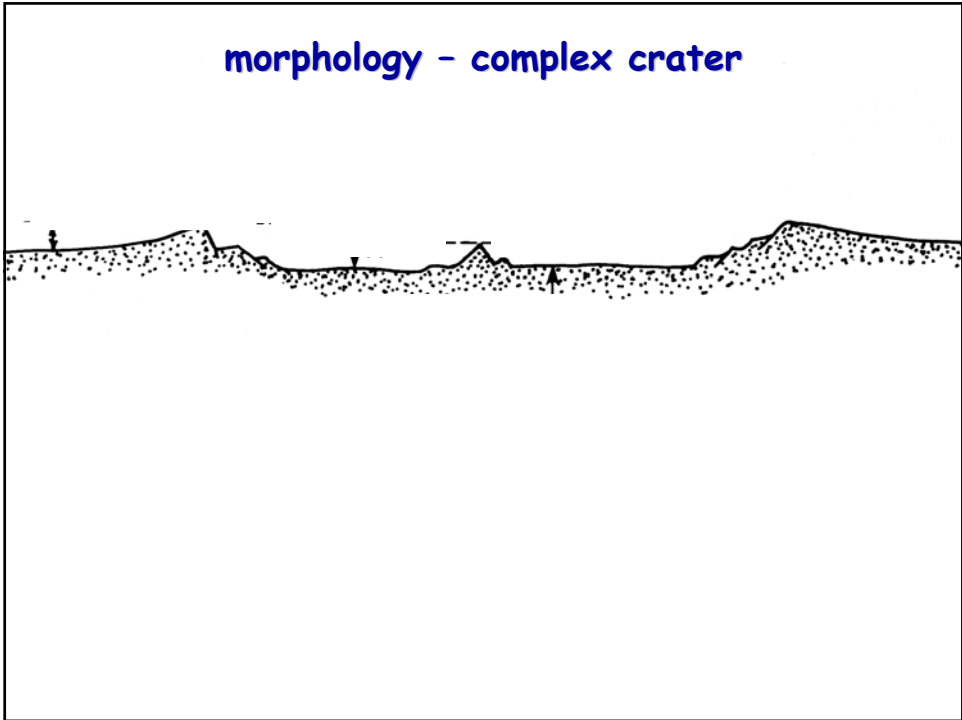
Crater morphology - complex crater



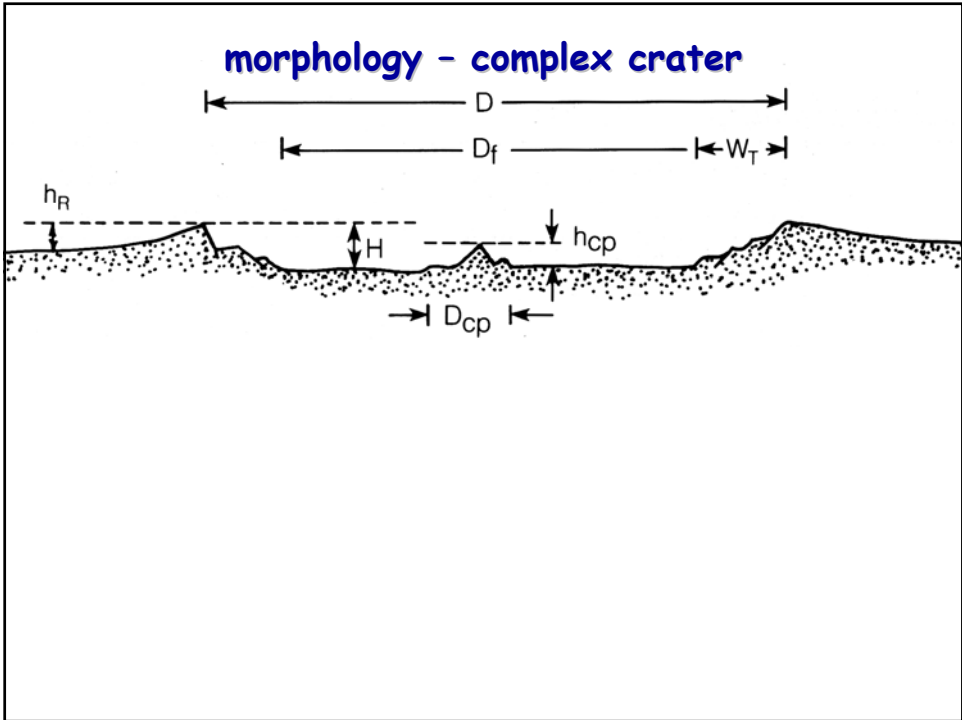
**Erdmond
Tycho
Ø 85 km
~ 100 Ma**

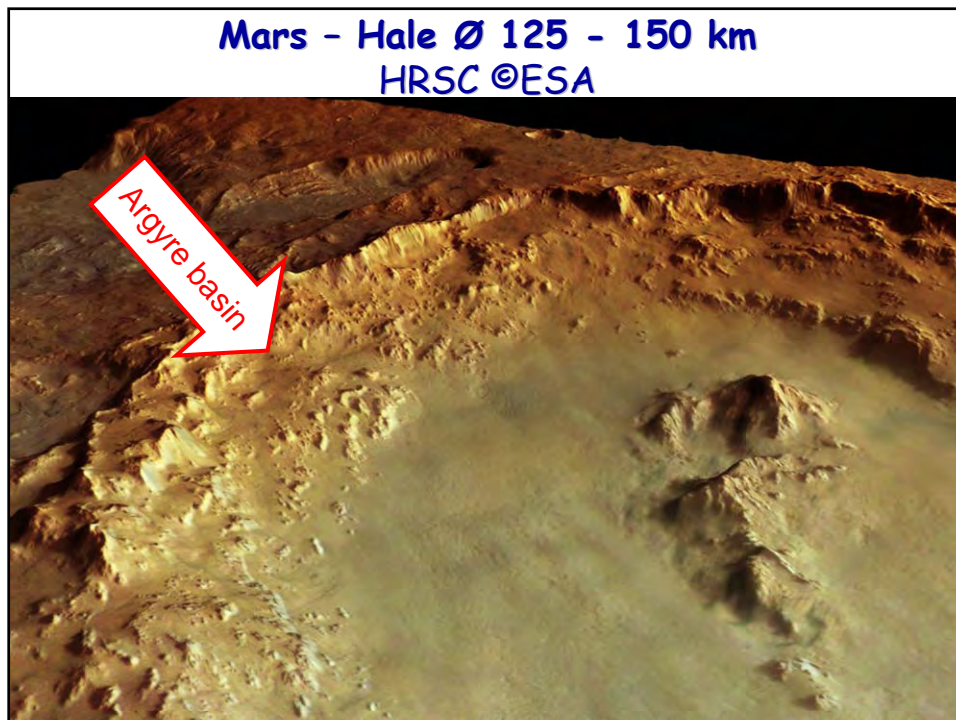
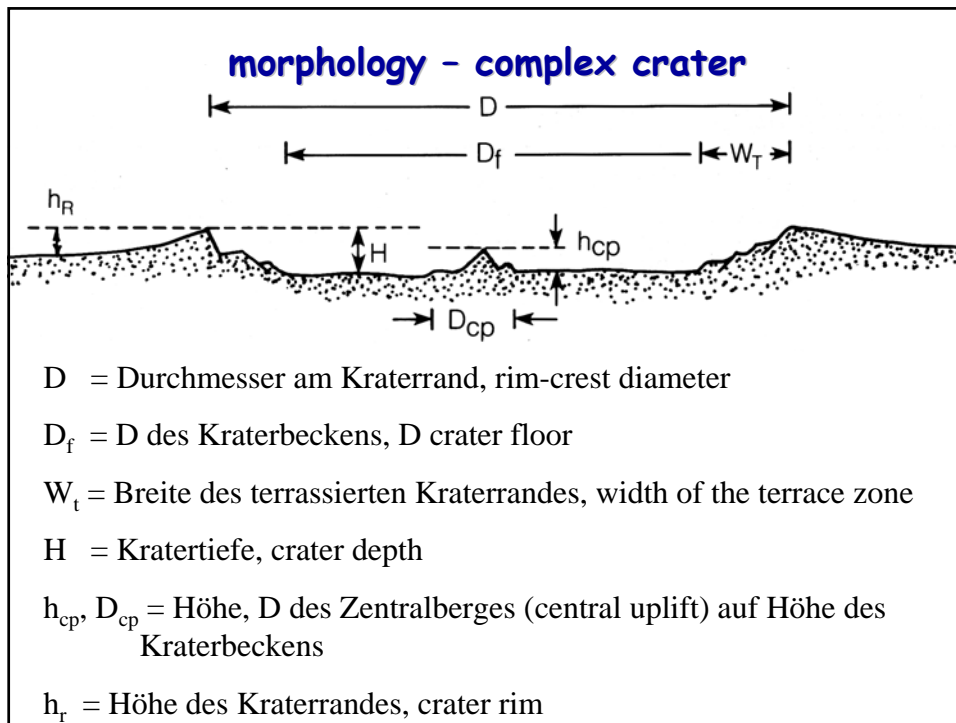
*LROC WAC © NASA/Goddard/Arizona State University
http://wms.selene.jaxa.jp/selene_viewer/en/observation_mission/tc/012/tycho_20mbps.html*

morphology - complex crater

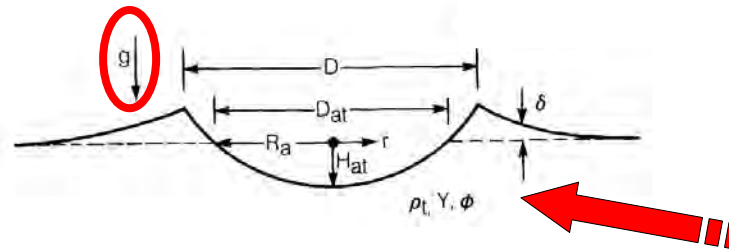


morphology - complex crater





Crater morphology



D = Durchmesser am Kraterrand, rim-to-rim diameter

D_{at} = scheinbarer D , apparent D (Erosion!!)

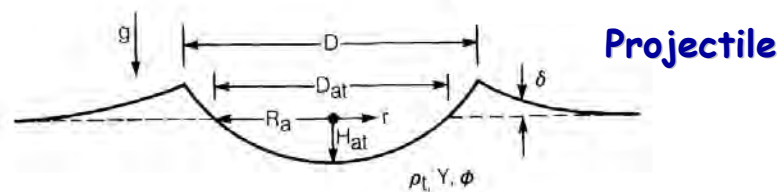
$R_a = D_{at}/2$ (r = Distanz zum Kraterzentrum)

H_{at} = Kratertiefe

δ = Mächtigkeit der Auswurfsdecke, thickness of ejecta blanket

g = „Erd“beschleunigung, acceleration of gravity

Target properties



das beaufschlagte Material, target

ρ_t = Dichte, density

Y = Materialfestigkeit, yield strength

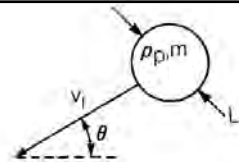
Φ = Porosität, porosity

+ Korngröße, grain size; H_2O -/Fluidgehalt, H_2O /fluid saturation;
 Textur, texture

Projectile



Projectile



L = Durchmesser

V_i = Einschlagsgeschwindigkeit, impact velocity

Θ = Einschlagswinkel, angle of impact

ρ_p = Dichte, density

m = Masse

Welche grundlegenden Parameter bestimmen die Morphologie eines Impaktkraters?

Target

ρ_t = Dichte

Y = Druckfestigkeit

Φ = Porosität

Korngröße, Textur

Fluidgehalt

Projektile

L = Durchmesser

V_i = Impaktgeschwindigkeit

Θ = Einschlagswinkel

ρ_p = Dichte

M = Masse

Welche grundlegenden Parameter bestimmen die Morphologie eines Impaktkraters?

Target

ρ_t = Dichte

Y = Druckfestigkeit

Φ = Porosität

Korngröße, Textur

Fluidgehalt

Projektile

L = Durchmesser

V_i = Impaktgeschwindigkeit

Θ = Einschlagswinkel

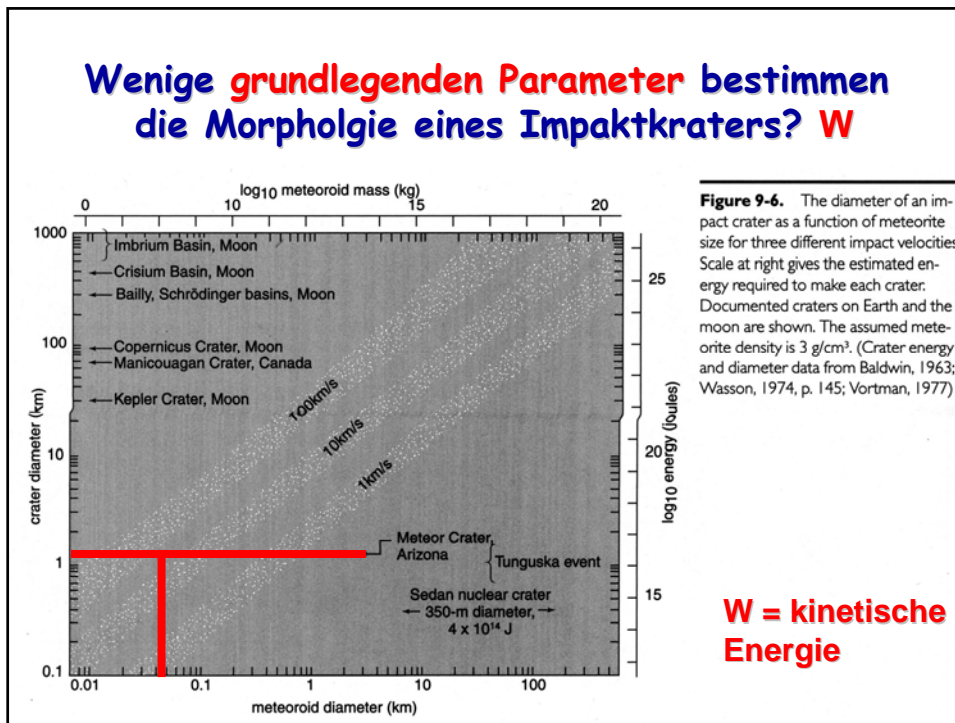
ρ_p = Dichte

M = Masse

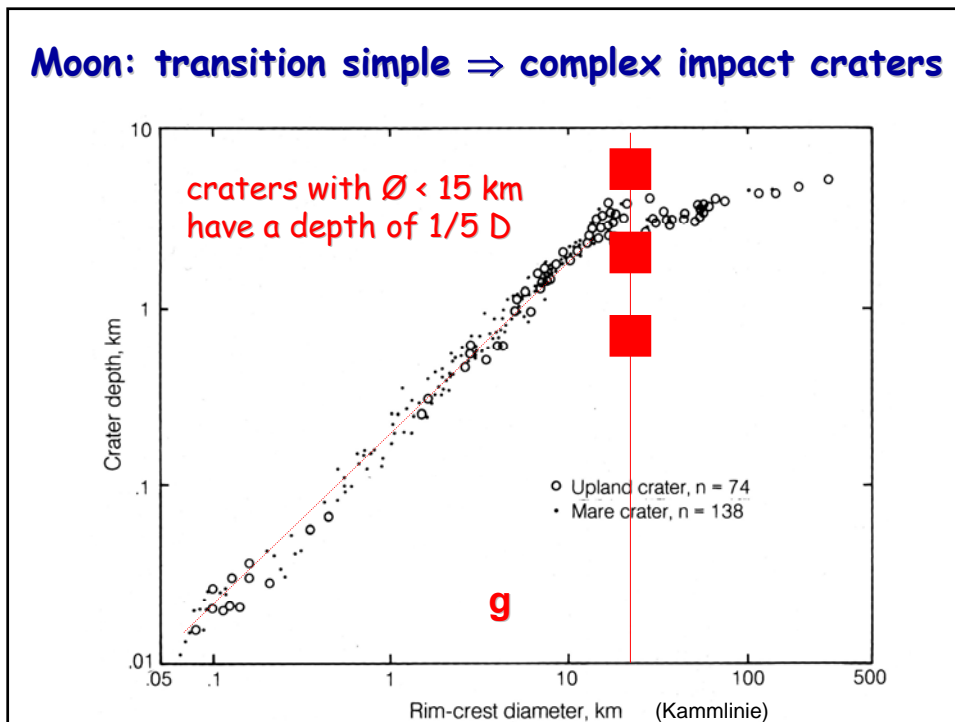
W = kinetische Energie

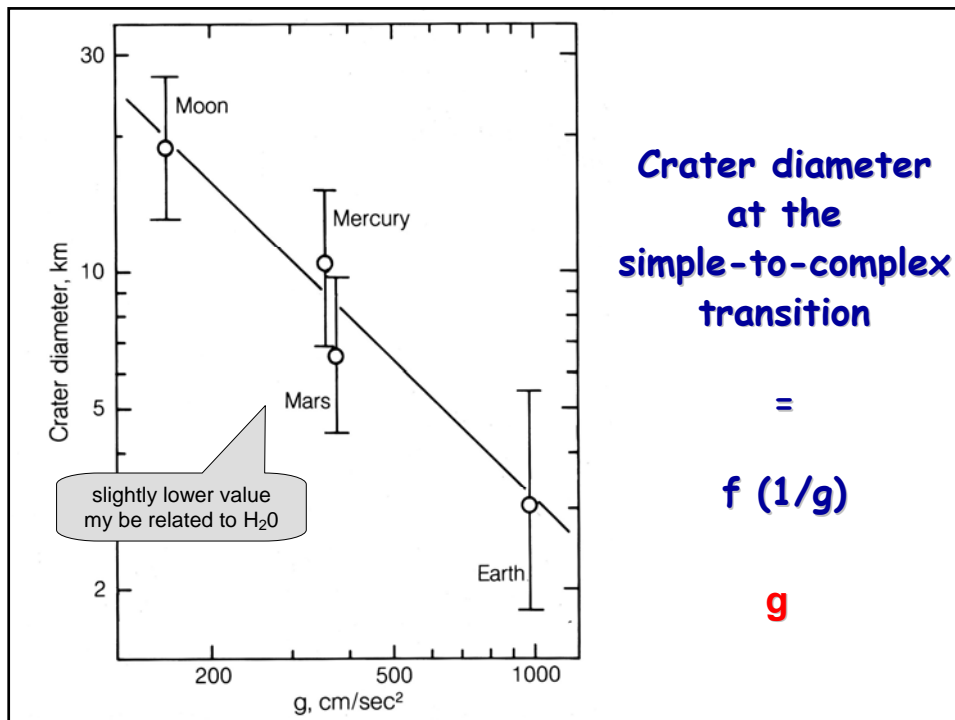
g

Wenige grundlegende Parameter bestimmen die Morphologie eines Impaktkraters? **W**



Moon: transition simple \Rightarrow complex impact craters





Kollisionen im Sonnensystem

- sind der grundlegende Prozess der Akkretion (d.h., Akkumulation von Materie zur Bildung unterschiedlich großer Körper);

Wir leben in der Spätphase der Akkretion!

- (Kosmischer Staub, Mikrometeorite, Meteorite, Impakte)
- verursachen die Entstehung „neuer“ planetarer Körper (z.B. Asteroiden, Monde);
- steuern die dynamische Entwicklung planetarer Körper (Einfluss auf Umlaufbahnen und retrograde Rotation, z.B. Venus, Neptunmond Triton);
- dominieren die geologische Entwicklung der Krusten terrestrischer planetarer Körper (vor allem im Zeitraum 4.56 → ~3.6 Ga).

DOCTOR FUN

16 Dec 2005



Copyright © 2005 David Farley, d-farley@ibiblio.org
<http://ibiblio.org/Dave/drfun.html>

This cartoon is made available on the Internet for personal viewing only. Opinions expressed herein are solely those of the author.

A Cretaceous Christmas