

Impact Cratering

An eLearning-tool on
Impact-crater dating methods
used in planetology.

Created by Gernot Groemer
and Hannes Mayer

Release V1.0, January 2009



Institute for Astro- and Particle Physics
University of Innsbruck
Technikerstr. 25/8, 6020 Innsbruck, Austria
<http://astro.uibk.ac.at>

in cooperation with the
Austrian Space Forum

**UNIV.
INNSBRUCK**

**„Krater Impaktdatierung“
Projektcode: 2008.102**

Abschlussbericht – eLearning-Projekt
Mag. Gernot Grömer, Institut für Astro- und Teilchenphysik
Jänner 2009 |

1. Projektziel

Eine der wichtigsten Methoden zur Altersbestimmung von festen planetaren Oberflächen ist die statistische Analyse der Einschlagskrater (Morphologie, Flächendichte und Größenverteilung). Die zu erstellende (online-) Software soll den Studenten die Mechanismen die zu charakteristischen Verteilungsmustern führen visualisieren und sie befähigen, eine erste, vereinfachte Einschätzung des Oberflächenalters und den zugrundeliegenden Phänomenen (Atmospheric screening, Early Bombardement, Rampart-Cratering, Crater-clustering, Kraterketten, Terrain softening,...) qualitativ und semiquantitativ durchzuführen und mit realen Beispielen von Planeten und Monden zu vergleichen.



Mehrwert

Studentengerechte Übungen zur Kraterdatierung sind bis dato fast nur in Buchform oder als Online-Skriptum in etwas aufwendigerer Form vorhanden oder mit der Möglichkeit, die Rahmenparameter der Einschlagsverteilung zu variieren. Erfahrungsgemäß haben Studenten leichte Schwierigkeiten, die einzelnen Sonderformen von Kratertypen zu differenzieren – diese Vermittlungsmethode würde die Genese der einzelnen Formen anschaulich demonstrieren und damit die Entstehungsphysik der Morphologie verdeutlichen.

Die angewandte Krater-Isochronenmethode ist zwar vereinfacht, dürfte aber die Studenten befähigen, auch bei neu zu bestimmenden planetaren Oberflächen eine orientierende Auswertung vornehmen zu können.

Die Diskussion von komplementären Altersbestimmungstechniken soll die Teilnehmer der LVA befähigen, die Diskussion bei aktuellen Raumfahrt-Projekten (vor allem auf die Mars-, Merkur- und Mondmissionen der nächsten 15 Jahre) verfolgen zu können.

Prinzipiell ist diese eLearning-Idee auch für Bildungsprojekte außerhalb des regulären Unterrichtes einsetzbar (Junge Universität, Lange Nacht der Forschung etc...), bzw. ist auch eine begrenzte Diffusion der Materialien –bei Wahrung der Verwertungsrechte bei der Universität Innsbruck- in anderen österreichischen Universitäten ermöglicht werden.

2. Impact physics

About the planetology behind this tool.

This eLearning tool is a simplified algorithm of how planetologists determine the age of a planetary surface based upon the fact that the older a surface is, the more impacts it suffers over time. The tool allows to set a few of the most important variables and displays the aging of a cratered moon,

planet or asteroid. However, one should bear in mind that this software cannot be used for an actual age determination of a given planetary body, but it illustrates the basic concepts of this method and shall guide the student to a deeper understanding of both the validity and limitations of this method.

The physics background

The older a planetary surface is, the more astroblems ("scars") it receives mostly from colliding asteroids and comets, generally, the bigger an impact is, the rarer it happens, following a simple exponentially falling power law. So to study a surface, we must only determine its size and the number density of the impacts.

The probabilities (what is the impact probability for a given celestial object size?) have been modeled in the following simplistic approach:

Input variables

A.. field size (km²)

t... observation time span (in years)

au... lower size limits of the meteroids [in meters, 10 m minimal]

ao... upper size limits of the meteroids [in meters, 500 km maximal]

Bin size:= Bin (i) = (ao-au)/10

The impact energy in a given bin "i" is given by: $E_{Bin1} = ((Bin(i))^3 * (\pi/8)) / 41000$ [in Mega tons TNT]

Using the power law (size vs. probability), the impact probability is: $N_{Bin1} = 10 \exp(-1,7 \log(E_{Bin1}) - 14)$, Hence, the value describing the number of impacts of a given size on a given surface and a time can be determined via:

Impacts = int (N_{Bin1} * A * t)

This is being calculated for all bins.

R-Value

Depending on the presence of a dense atmosphere, there is a certain amount of "Screening" which blocks smaller fragments to contribute to the cratering process (such as airbursts etc.). So if we assume e.g. a very old planetary surface which formerly HAD a denser atmosphere (e.g. Mars), this screening effect can sometimes be seen in the data by taking a look at the R-Value, which displays a distinctive bend when plotting the crater size versus the R-value which is defined by:

$$R = (D^3 * N) / (A * (b2-b1))$$

where:

D... crater diameter in km

N... Number of craters in a given size bin
b1, b2... upper and lower limit of the size-bin
A... surface size

How to use this tool:

- 1) Choose the variables in the pull-down menus for a given planetary surface
- 2) Let the impacts happen by pressing the “simulate” button (you can abort this using the “stop”)
- 3) Measure the diameters of the various craters and make an entry in the results tab on the right side (it also gives you the corresponding R-values automatically)
- 4) Go to the “analysis” tab and compare your measurements with the calibration graph → this will give you the corresponding age.

Asteroid DM	Krater	Volume (m ³)	M (kg)	E (J)	E (Mt)	N(E) (/yr, /km ²)
50	700	6,54E+04	98174770,42	2,41E+15	5,73E+02	7,65E-08
100	1200	5,24E+05	785398163,4	1,92E+16	4,58E+03	1,65E-08
200	2100	4,19E+06	6283185307	1,54E+17	3,67E+04	3,55E-09
300	2910	1,41E+07	21205750412	5,20E+17	1,24E+05	1,45E-09
400	3600	3,35E+07	50265482457	1,23E+18	2,93E+05	7,65E-10
500	4330	6,54E+07	98174770425	2,41E+18	5,73E+05	4,66E-10
600	4990	1,13E+08	1,69646E+11	4,16E+18	9,90E+05	3,11E-10
700	5630	1,80E+08	2,69392E+11	6,60E+18	1,57E+06	2,21E-10
800	6250	2,68E+08	4,02124E+11	9,85E+18	2,35E+06	1,65E-10
900	6850	3,82E+08	5,72555E+11	1,40E+19	3,34E+06	1,27E-10
1000	7400	5,24E+08	7,85398E+11	1,92E+19	4,58E+06	1,00E-10
1500	10200	1,77E+09	2,65072E+12	6,49E+19	1,55E+07	4,09E-11
2000	12800	4,19E+09	6,28319E+12	1,54E+20	3,67E+07	2,16E-11
5000	26100	6,54E+10	9,81748E+13	2,41E+21	5,73E+08	2,84E-12
10000	44800	5,24E+11	7,85398E+14	1,92E+22	4,58E+09	6,13E-13
15000	61500	1,77E+12	2,65072E+15	6,49E+22	1,55E+10	2,50E-13
20000	77000	4,19E+12	6,28319E+15	1,54E+23	3,67E+10	1,32E-13
25000	91600	8,18E+12	1,22718E+16	3,01E+23	7,16E+10	8,05E-14
35000	119000	2,24E+13	3,36739E+16	8,25E+23	1,96E+11	3,82E-14
500000	270000	6,54E+16	9,81748E+19	2,41E+27	5,73E+14	1,06E-16

Tabelle: mittels des hydrodynamischen Codes von Collins et. al. berechnete Impaktfrequenzen.

Assumptions, Limitations and References

This software tool neglects several physical processes which influence the creation, the number densities etc... of the surface. However, these limitations are weak enough to neglect them in this simplified approach. Based upon much more sophisticated code by Gareth S. COLLINS, H. Jay MELOSH and Robert A. MARCUS from Imperial College and Lunar and Planetary Laboratory at the University of Arizona, the following straight forward assumptions are being made:

- Average soil density at a Martian impact site: 7000 kg/m³,

- Impact conditions: an asteroid collides at 90° vertically with a speed of 7,4 km/s in the Martian surface in compact soil. The asteroid density is assumed at: 1500 kg/m³

The code is a finite element computer code dubbed “Tekton” which can be downloaded from <http://www.lpl.arizona.edu/tekton> (for determined freaks only ;-)). The FORTRAN source code is available at this website, however, “Tekton” is not in the public domain.

Further, we assume for the sake of simplicity, that the impact rates have been constant for the given observation time, no landscape forming process have altered the regional topography (so this tool does not work for the Earth!).

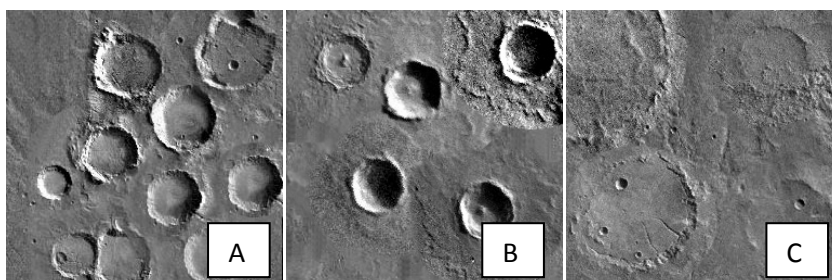
References:

- Computing Crater Size from Projectile Diameter:
http://www.lpl.arizona.edu/tekton/crater_c.html
- Collins, G.S., Melosh, H.J. and R.A. Marcus 2005. Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth, *Meteoritics & Planetary Science* 40, Nr 6, 817–840.
- Ahrens T. J. and O’Keefe J. D. 1978. Energy and mass distributions of impact ejecta blankets on the moon and Mercury. *Proceedings, 9th Lunar and Planetary Science Conference*. pp. 3787–3802.
- Holsapple K. A. and Schmidt R. M. 1982. On the scaling of crater dimensions II—Impact processes. *Journal of Geophysical Research* 87:1849–1870.
- Ivanov B. A. and Artemieva N. A. 2002. Numerical modeling of the formation of large impact craters. In *Catastrophic events and mass extinctions: Impacts and beyond*, edited by Koeberl C. and MacLeod K. G. Special Paper 356. Boulder: Geological Society of America. pp. 619–630.
- Ivanov B. A., Deniem D., and Neukum G. 1997. Implementation of dynamic strength models into 2D hydrocodes: Applications for atmospheric breakup and impact cratering. *International Journal of Impact Engineering* 20:411–430.

3. Umsetzung des Tools

Der Programmcode basiert auf einem local ausführbaren Java-Applet, das aus zwei Segmenten besteht – dem Vermessungstool sowie einem kleinen Quiz zur Kratermorphologie. Ein Beispiel aus den Quizfragen ist etwa:

Ordnen Sie die drei Kratertypen nach Ihrem Alter (von „alt“ nach „jung“)



Ihre Antwort:

- ☐ 1: A - B - C
- ☐ 2: C - B - A
- ☐ 3: C - A - B

Fragen zum Nachdenken

Wie würde sich das Albedo eines Kraters auf dem Mond im Laufe der Zeit verändern?
Wäre ein ähnlicher Effekt auf dem Mars zu erwarten?

Auflösung:

Korrekt ist Antwort 2 (C-B-A)

Aufgrund der Implantation von Nanopartikel aus dem Sonnenwind (vor allem Fe-Teilchen) kommt es aufgrund des Space Weatherings zu einer Verringerung des Albedos. Der Mars hat eine Atmosphäre welche einen solchen Prozess verhindert. Space Weathering findet also auf dem Mars nicht statt.

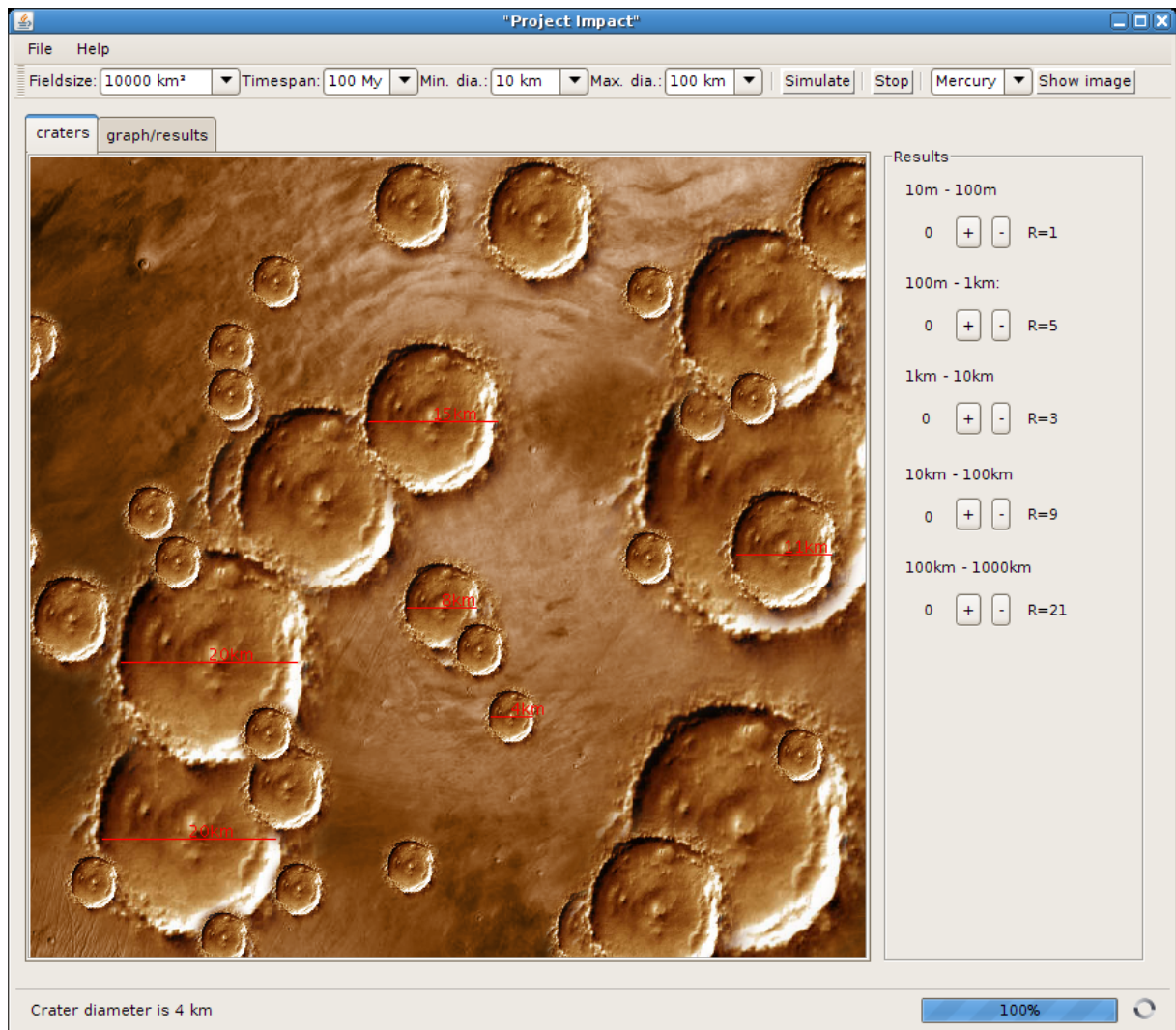
→ Nächste Frage

Im Anschluss wird die Anzahl der korrekt beantworteten Fragen addiert und in einem Score angezeigt. Bei einigen der Multiple-Choice-Fragen sind auch offene Problemstellungen zum Vertiefen angeführt, wie sie auch prüfungsrelevant sein könnten. („Fragen zum Nachdenken“).

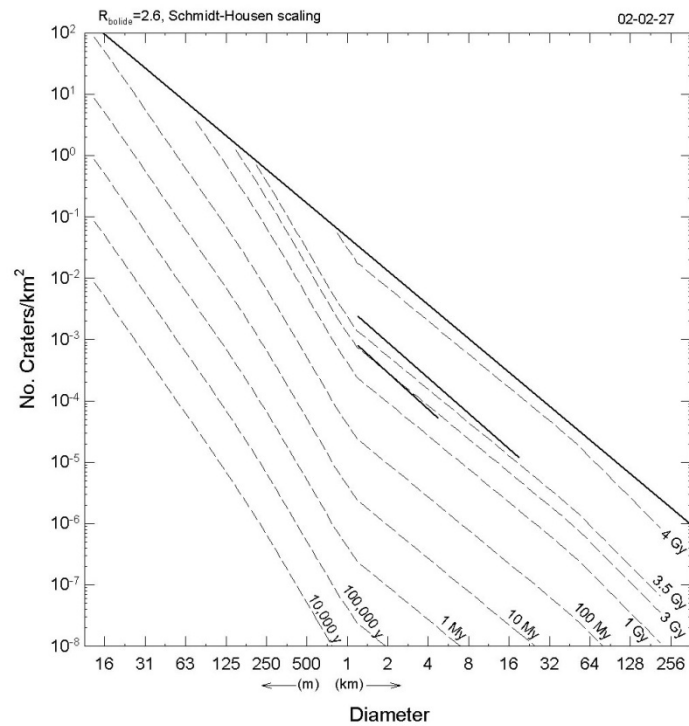
Zum Vermessungs-Tool

Der Benutzer wählt einige Grundparameter, wie etwa die Spannweite der Kraterdurchmesser, einen Himmelskörper derzeit ist Mars wählbar) sowie eine Zeitspanne und startet die Simulation mittels eines „Simulate“ Buttons. Die Software stellt nun die stochastische Anreicherung der Oberfläche mit Einschlagskratern dar, anhand eines Progressionsbalkens sieht man, wie weit die Zeit abgelaufen ist.

Im nächsten Schritt (siehe Abbildung/Screenshot) vermisst man anhand eines einfachen digitalen Lineals die Kraterdurchmesser und lässt am rechten Teil des Bildschirms einen Zähler mitlaufen, bei dem auch gleichzeitig der R-Wert parallel mit berechnet wird.



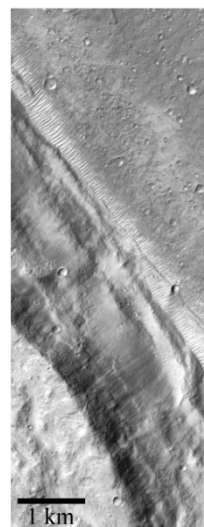
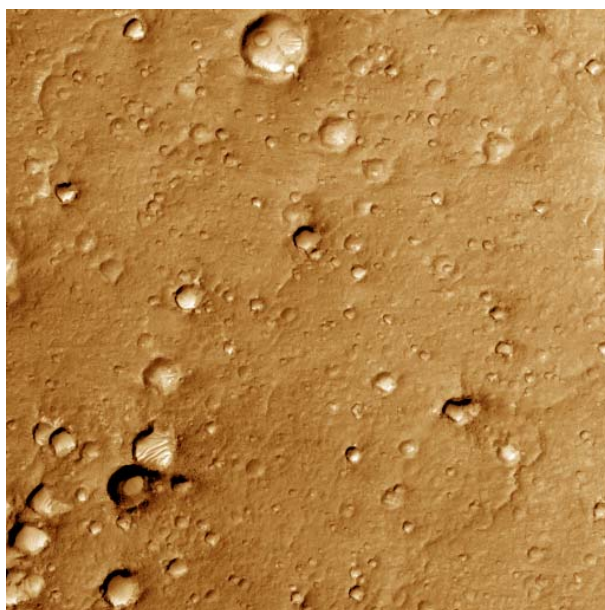
Im nächsten Schritt (Reiter „Graph/Results“) werden die Messdaten in einem Kalibrations-Kurve dargestellt und die ungefähre Altersabschätzung kann vorgenommen werden.



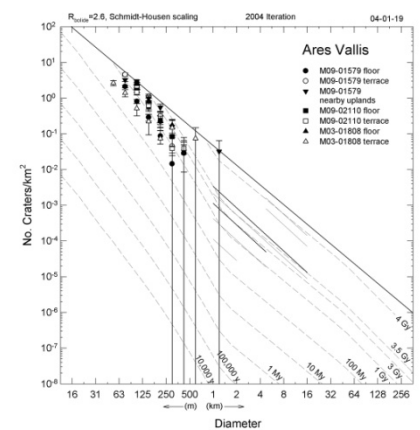
Der Benutzer kann hier mehrere Simulationen durchführen und anhand der Variation der Parameter ein Gefühl für die Verteilungsfunktionen entwickeln.

Im nächsten Schritt werden reale Oberfläche – meist Daten von der NASA Sonde Mars Global Surveyor oder der Europäischen Sonde Mars Express- dargestellt und der Benutzer kann sich hier an der Impaktdatierung versuchen. (Abbildung unten links: Realbild von Ares Vallis auf dem Mars).

Um den Vergleich mit professionellen Methoden zu erlauben, haben wir für einige ausgewählte Regionen auf dem Mars die Kalibrationsmessungen von anderen Planetologen dargestellt (die auf etwas verfeinerten Methoden beruhen, Abbildung Unten rechts).



a



b