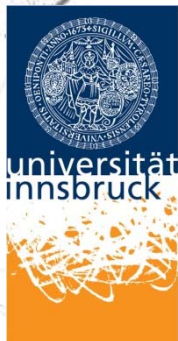


# PlaTo Mars

**Planetary Topography eLearning Tool - Endbericht**



**Ao.Univ.-Prof. Dr. R. Weinberger & Mag. G. Grömer  
Institut für Astro- und Teilchenphysik**

**Universität Innsbruck, Oktober 2010**



## Kurzfassung

**PlaTo ist ein eLearning-Tool um sich mit der Topographie des Mars und grundlegenden planetologischen Prozessen vertraut zu machen.**

Das Projekt besteht aus zwei Komponenten:

Basierend auf den frei verfügbaren Google-Maps für den Planeten Mars, die auf den aktuellen Mars-Daten des NASA Ames Research Centers aufbauen, wurde ein API entwickelt werden, um sich mit der Topographie und Morphologie der Planetenoberfläche vertraut zu machen. Die BenutzerInnen sollen anhand von Altimetrie- und optischen Karten wesentliche Schlüsselstrukturen der Oberfläche in Kontext setzen und benennen können.

Die zweite Komponente vermittelt grundlegende Techniken in der Erschließung von planetologischen Prozessen. Ausgehend von einfachen Fragestellungen (z.B. „Woher kommen die saisonal variierenden, dunklen Farben der Syrtis Major?“), sollen die BenutzerInnen eine systematische Vorgehensweise lernen (In diesem Beispiel etwa zuerst ein Interpretation der Altimetriedaten, anschließend etwa der Windsysteme, wobei sich herausstellt, das saisonale Winde auf den Hochebenen mittels des sogenannte Flake-Off-Prozesses den dunklen basaltischen Untergrund freigeben).

Die Fragestellungen sind so gewählt, dass die StudentInnen auch externe Datenquellen (wie etwa hochauflösende Bildarchive von Marssonden der NASA) verwenden oder vereinzelte Literatursuchen durchführen müssen.

### Komponente 1 – Topographie

Aus ausgewählten topografischen Features des „Gazetteer of Planetary Nomenclature“ des US Geological Surveys wird eine zufallsgesteuerte Auswahl von zu bezeichnenden Orientierungspunkten ausgewählt, welche die Studenten zuerst auf Google Mars mittels der Suchfunktion identifizieren sollen. (Dazu zählen etwa auch die Landestellen von Raumsonden.)

Im nächsten Schritt wurde eine Liste erstellt, wo sie direkt auf die Stellen zeigen sollen – die Entfernung zur tatsächlichen Stelle wird berechnet und als identifiziert oder nicht identifiziert markiert. Ein Logbuch verzeichnet die Zahl der erfolgreichen Suchen.

Im dritten Schritt schlägt die API Stellen auf dem Mars vor, welche (orthografisch korrekt) benannt werden sollen. Sofern mindestens eine zu definierende Quote von Orientierungspunkten (z.B. 85%, wählbar) korrekt identifiziert worden sind, wird dem Benutzer empfohlen, die zweite Komponente zu nutzen.

### Komponente 2 – Prozesse

Am Beginn wird den StudentInnen eine planetologische Fragestellung, etwa in Form eines Fotos mit Text präsentiert. Im nächsten Schritt soll der/die NutzerIn die „richtigen Grundfragen“ stellen, etwa die Frage nach Maßstab, Beleuchtungsverhältnissen, etc. und anschließend die besten Datenquellen für die Analyse der Fragestellung zusammenstellen.

## Projektdaten

PlaTo Mars ist ein eLearning Projekt der Abteilung Neue Medien und Lerntechnologien des Zentralen Informatikdienstes der Universität Innsbruck in Kooperation mit dem Institut für Astro- und Teilchenphysik und dem Österreichischen Weltraum Forum

Der php-basierende Source-Code ist diesem Endbericht elektronisch beigelegt.

### Team

- Projektleitung: Ao.Univ.-Prof. Dr. R. Weinberger
  - Koordination und Inhalt: Mag. Gernot Grömer
  - Programmierung: Nikolei Haider
  - Alpha-Tester: Bianca Neureiter, Verena Wiedemair
- 
- Einreichung: 15. November 2011
  - Projektlaufzeit: Jänner – Juli 2010

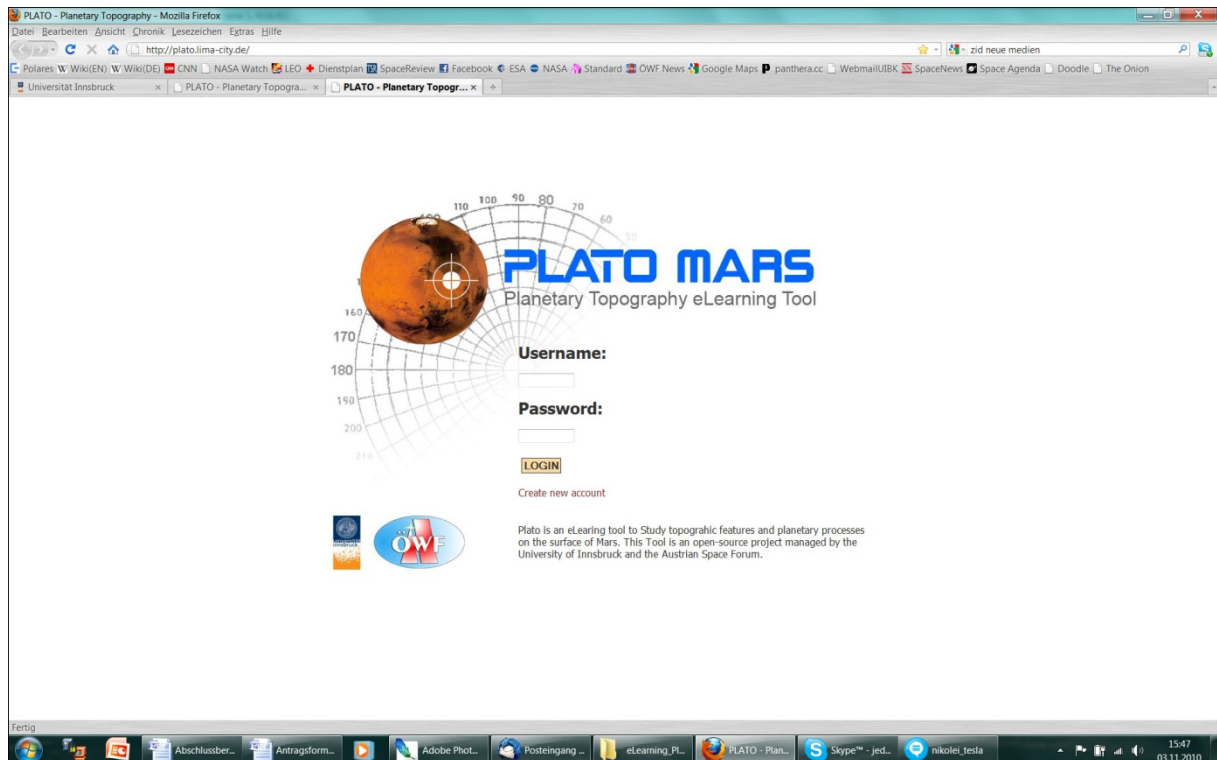
Benutzertests wurden im Juli und August 2010 durchgeführt und einige Usability-Anregungen in der Programmierung implementiert. Das Tool wird im Rahmen des Planetologie-Vorlesungszyklus des Institutes für Astro- und Teilchenphysik ab dem Wintersemester 2010/2011 eingesetzt.

### Kostenübersicht

Projektkoordination (Grömer, geringfügig 1.1.-31.7.2010 Univ. Innsbruck):	1.342,80 €
Programmierung(Werkvertrag Nikolei Haider, siehe beigelegte Rechnung):	1.500,00 €
<hr/>	
SUMME:	2.842,80 €

## Komponente 1 – Topografie

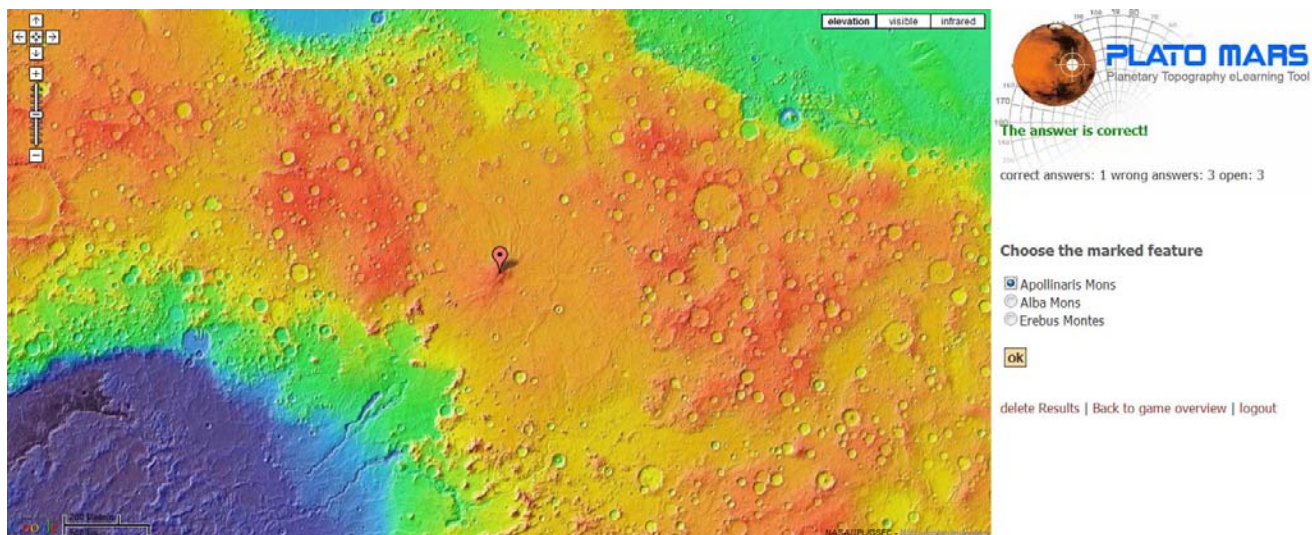
Basierend auf dem USGS Nomenklaturmodell für den Mars wurde eine php-basierende Applikation für Google-Maps geschrieben. Dabei können die Benutzer in einer Art „Quiz“ in kurzer Zeit die wichtigsten topografischen Features des Mars erlernen. Der Lehrende kann in einer Hintergrundverwaltung verschiedene Text-files mit den topografischen Objekten laden, bzw einzelne Objekte in der Datenbank aktivieren oder deaktivieren .



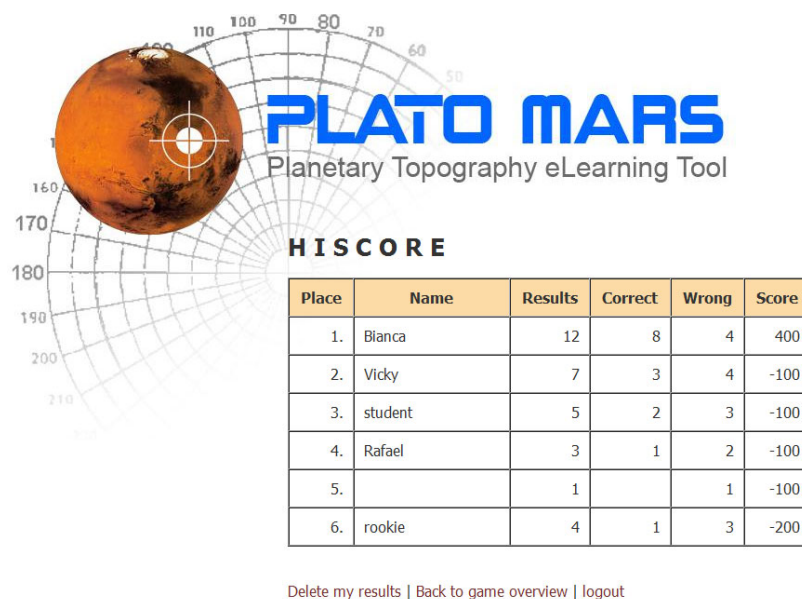
Login- und Startscreen; der Login-bereich wurde sehr kompakt gehalten und kann auch ohne Kontrolle der persönlichen Daten verwendet werden.







Beispiel – Abfragemaske für „Choose-it“, bzw High-Score um einen Vergleich zwischen anderen Nutzern zu ermöglichen. Im Back-end kann man die detaillierten Scores abfragen.



Im Back-end ist eine einfache Benutzerverwaltung, sowie die Administrationsoberflächen zum Importieren und Aktivieren von einzelnen topografischen Objekten möglich.

## Komponente 2 – Prozesse

In dieser Komponente werden vier grundlegende planetologische Prozesse in Fallbeispielen erarbeitet. Die NutzerInnen können sich anhand eines „geführten“ Beispiels entweder selbstständig oder in Form von sorgfältig platzierten Hinweisen an das Thema herantasten.

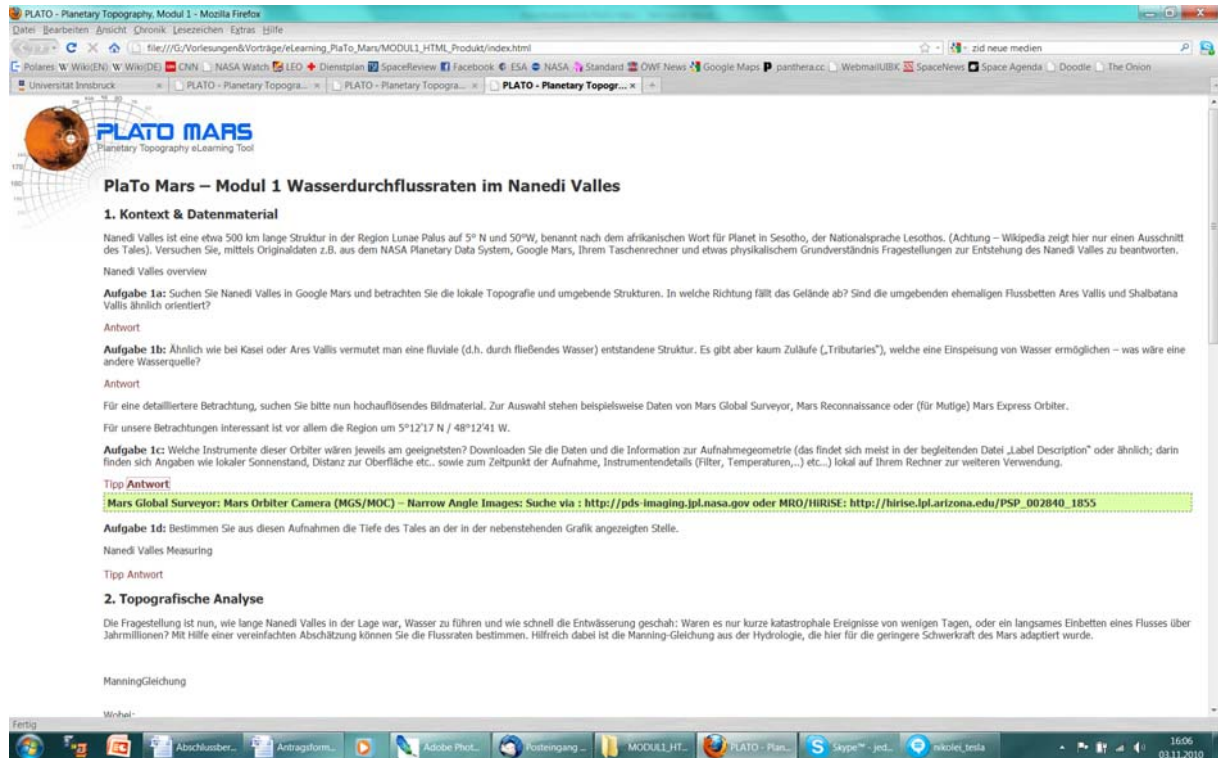


Abb.: Beispiel für die Benutzeroberfläche für „Wasser auf dem Mars“ – in Grün ist ein aktivierter Hinweis zu sehen. Die NutzerInnen müssen einige Informationen auch aus externen Internet-Quellen beziehen. Dafür ist etwa der Zugriff auf Bilddatenbanken von Mars-Raumsonden notwendig. Der didaktische Hintergrund dabei ist sich auch für andere –hier nicht beschriebene Problemstellungen– mit den gängigsten Datenbanken vertraut zu machen.

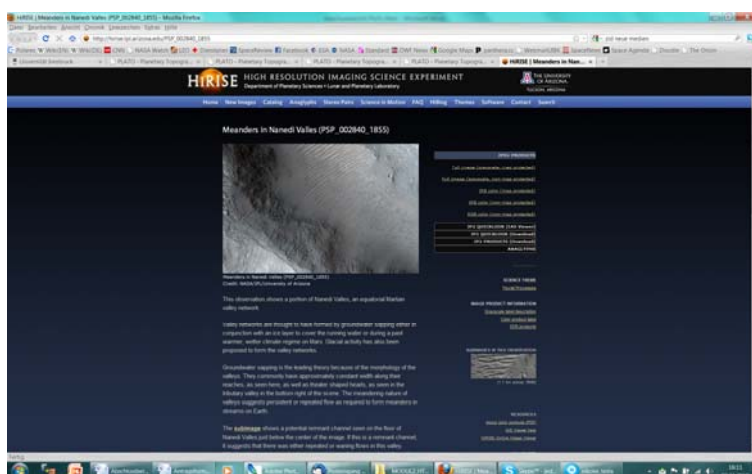


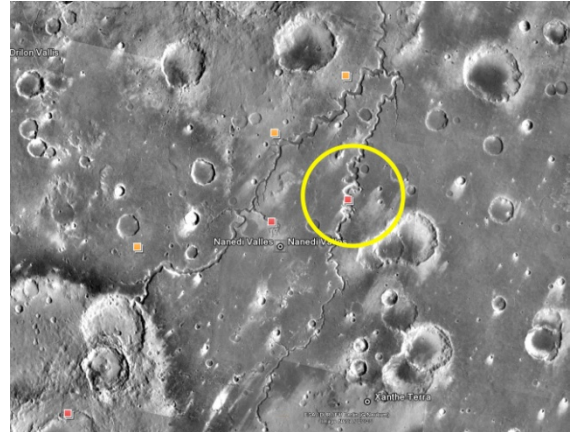
Abb.: Beispiel für eine externe Datenquelle: Das Bildarchiv der HiRISE-Kamera an Bord der NASA Sonde MRO. Die NutzerInnen müssen hier etwa mit den Daten des Imageheaders die Aufnahme-Parameter verwenden um die Tiefe eines alten Flussbettes zu ermitteln.

# PlaTo Mars – Modul 1

## Wasserdurchflussraten im Nanedi Valles

### 1. Kontext & Datenmaterial

Nanedi Valles ist eine etwa 500 km lange Struktur in der Region Lunae Palus auf 5° N und 50°W, benannt nach dem afrikanischen Wort für Planet in Sesotho, der Nationalsprache Lesothos. (Achtung – Wikipedia zeigt hier nur einen Ausschnitt des Tales). Versuchen Sie, mittels Originaldaten z.B. aus dem NASA Planetary Data System, Google Mars, Ihrem Taschenrechner und etwas physikalischem Grundverständnis Fragestellungen zur Entstehung des Nanedi Valles zu beantworten.



Aufgabe 1a: Suchen Sie Nanedi Valles in Google Mars und betrachten Sie die lokale Topografie und umgebende Strukturen. In welche Richtung fällt das Gelände ab? Sind die umgebenden ehemaligen Flussbetten Ares Vallis und Shalbatana Vallis ähnlich orientiert?

(Antwort: alle diese Kanäle haben einen Abfall Richtung Norden in Richtung Chryse Planitia.)

Aufgabe 1b: Ähnlich wie bei Kasei oder Ares Vallis vermutet man eine fluviale (d.h. durch fließendes Wasser) entstandene Struktur. Es gibt aber kaum Zuläufe („Tributaries“), welche eine Einspeisung von Wasser ermöglichen – was wäre eine andere Wasserquelle?

(Antwort: z.B. Groundwater sapping)

Für eine detailliertere Betrachtung, suchen Sie bitte nun hochauflösendes Bildmaterial. Zur Auswahl stehen beispielsweise Daten von Mars Global Surveyor, Mars Reconnaissance oder (für Mutige) Mars Express Orbiter.

Für unsere Betrachtungen interessant ist vor allem die Region um 5°12'17 N / 48°12'41 W.

Aufgabe 1c: Welche Instrumente dieser Orbiter wären jeweils am geeignetsten? Downloaden Sie die Daten und die Information zur Aufnahmegeometrie (das findet sich meist in der begleitenden Datei „Label Description“ oder ähnlich; darin finden sich Angaben wie lokaler Sonnenstand, Distanz zur Oberfläche etc.. sowie zum Zeitpunkt der Aufnahme, Instrumentendetails (Filter, Temperaturen,..) etc..) lokal auf Ihrem Rechner zur weiteren Verwendung.

[TIPP: das MGS Archiv findet sich z.B. unter <http://pds-imaging.jpl.nasa.gov>, die MRO Daten direkt auch auf der Seite <http://hirise.lpl.arizona.edu> Datensätze von beiden amerikanischen Sonden sind relativ leicht auswertbar, aber aufgrund der besseren Auflösung ist HiRISE eine bessere Wahl. Die

Verwendung des ESA Planetary Science Archive (<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA>) erfordert etwas mehr Geduld und Einarbeitungszeit]

(Lösung:

Mars Global Surveyor: Mars Orbiter Camera (MGS/MOC) – Narrow Angle Images: Suche via : <http://pds-imaging.jpl.nasa.gov>

oder

MRO/HiRISE: [http://hirise.lpl.arizona.edu/PSP\\_002840\\_1855](http://hirise.lpl.arizona.edu/PSP_002840_1855)

Aufgabe 1d: Bestimmen Sie aus diesen Aufnahmen die Tiefe des Tales an der in der nebenstehenden Grafik angezeigten Stelle. [→ BILD KOMMT NOCH DAZU]

[TIPP: verwenden Sie die Daten des Sonnenstandes: Im Image Label sind immer auch der lokale Einfallswinkel des Sonnenlichtes dokumentiert, sowie die lokale Auflösung. Mittels einfacher geometrischer Überlegungen – sie müssen nicht übermäßig genau arbeiten – eine Bestimmung auf 100m genau ist vollkommen ausreichend).

(Lösung: an der gesuchten Stelle ist das Vallis etwa 850 m tief. )

## 2. Topografische Analyse

Die Fragestellung ist nun, wie lange Nani Valles in der Lage war, Wasser zu führen und wie schnell die Entwässerung geschah: Waren es nur kurze katastrophale Ereignisse von wenigen Tagen, oder ein langsames Einbetten eines Flusses über Jahrtausende? Mit Hilfe einer vereinfachten Abschätzung können Sie die Flussraten bestimmen.

Hilfreich dabei ist die Manning-Gleichung aus der Hydrologie, die hier für die geringere Schwerkraft des Mars adaptiert wurde.

$$Q = A \left( \frac{g_m S R^{\frac{4}{3}}}{g_e n^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Wobei:

Q = Flussrate in m<sup>3</sup>/s

S = Steigung/Gefälle (hier: 0,001)

R = hydraulischer Radius = Gesamt-Querschnitt/Querschnitt mit Wasserkontakt; (hier: 2)



$n$  = Gauckler-Manning Koeffizient (engl.: „Manning's  $n$ “; dimensionsfrei); dieser wurde empirisch für verschiedene Untergründe und Mäanderformen bestimmt (einen Eindruck von der Variationsbreite, mit Fotos verdeutlicht findet sich unter <http://www.rcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm>)

$A$  = Querschnittsfläche des Flussbettes

$g_m/g_e$ : Gravitationskonstanten Mars & Erde.

**Aufgabe 2a:** Nehmen Sie eine Wassertiefe von 3m an, einen Gauckler-Manning Koeffizienten von 0,01. Welche Flussrate ergibt sich daraus?

(Antwort: ca. 20.000 m<sup>3</sup>/s; zum Vergleich: der Mississippi hat eine Flussrate von ca 30.000 m<sup>3</sup>/s, ist also in derselben Größenordnung.)

**Aufgabe 2b:** Wenn Sie die hochauflösende Abbildung des Valles betrachten, sehen Sie mehrere Höhenniveaus, die auf rekurrende fluviale Aktivität schließen lassen. Wieviele solcher Episoden können Sie aus dem Bild erkennen? Fällt auf den angegebenen Koordinaten etwas besonderes auf?

(Antwort: mindestens drei Phasen, in denen sich das Flussbett tiefer geschnitten hat. Insbesondere auf den gegebenen Koordinaten handelt es sich in der zweiten Phase um eine Terrassenbildung, bei der ein ausgeprägter Mäander nach Osten entstand und die Terasse „umfloss“. Das kann ein Hinweis auf eine lokale Dichteerhöhung im Untergrundmaterial sein, das nicht erodiert wurde.)

### 3. Implikationen & Diskussion

Nehmen wir an, dass die Quelle für Nanedi Valles nicht Niederschlag mit Zuläufen war, sondern aufgrund einer Schwankung des Grundwasserspiegels Wasser eingespeist wurde. Kraterdichtezählungen in der Umgebung ergaben, dass diese relativ flache Region aus der mittleren noachischen Periode stammt, die unmittelbare Umgebung am Valles aber hesperisch ist, d.h. ein Alter von 2,5-3,5 Gy aufweisen.

Der Mars-Regolith bietet einen Porenraum, der in manchen Regionen bis zu 2km Tiefe erreichen kann. Legt man die Partikelgröße des Regolith (mit einer Korrektur für eine abnehmende Porengröße bei zunehmender Tiefe) zugrunde, ergibt sich ein Porenvolumen, das potentiell Wasser aufnehmen kann und eine Äquivalent von bis zu 400m Wasserschicht aufweist. Nehmen wir weiters an, dass bei Nanedi Valles tatsächlich 50% des Porenraumes gefüllt waren, und durch Hebung des Grundwasserspiegels das System speisen konnte.

**Aufgabe 3a:** Wie lange konnte das Reservoir das Flusssystem unter den oben angeführten Bedingungen speisen? (Annahme: das Einzugsgebiet von Nanedi Valles ist ca 500 x 800 km groß)

(Antwort: ca. 12 Jahre).

**Aufgabe 3b. MULTIPLE CHOICE ZUR DISKUSSION**

- 1) Warum hat Nanedi Vallis so eine stark mäanderte Form im Vergleich zu Ares Vallis?
  - a. Flache Geländeform und langanhaltende Wasserflüsse führen zu verstärktem Mäandern – vgl. Mississippi, Donauschlingen,... Ares Vallis hat vermutlich kürzere, aber gewaltsamere „Discharge“-Perioden gehabt. (Korrekt)

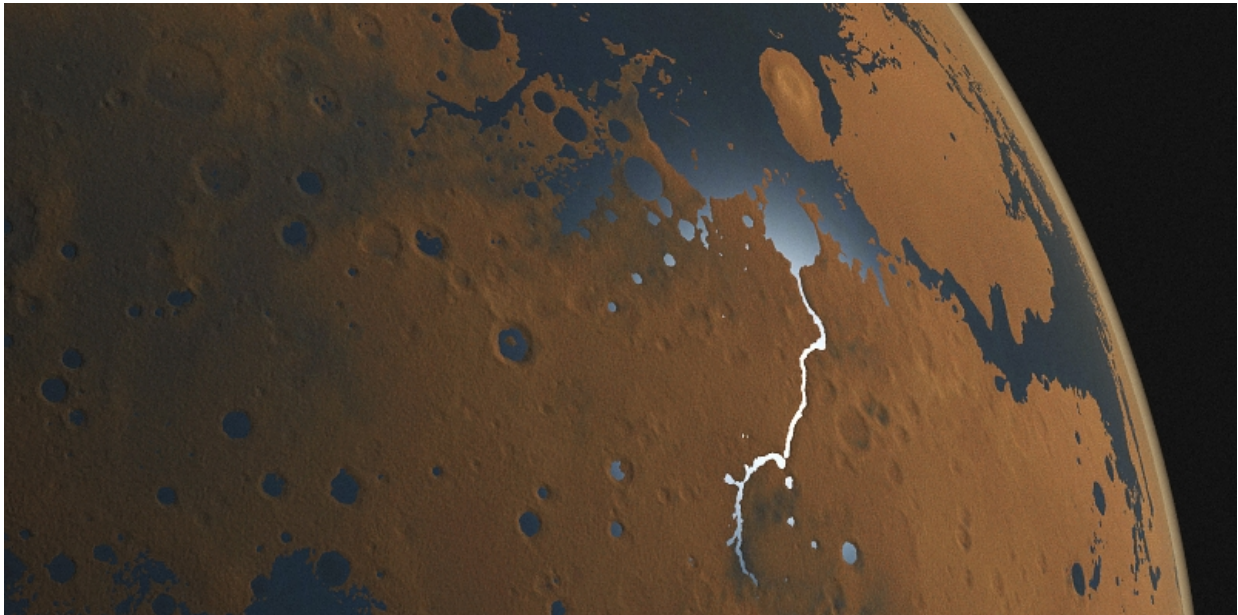
- b. Da es gegenüber Ares Vallis etwas erhöht gelegen ist, wurde das Wasser nur knapp unterhalb des Tripelpunkts vom Grundwasser eingespeist. Daher führte das lokale Anfrieren von Eisschollen zu lokalen Turbulenzen, die letztlich eine verstärkte Mäanderbildung begünstigte. (Falsche Antwort)
  - c. Ares Vallis wurde primär nicht durch Grundwasser gespeist, sondern durch Zuflüsse in den höher gelegenen Ursprungsregionen. Präzipitation führte zu einer anderen Entladungsgeschwindigkeit als bei Grundwas (Falsche Antwort)
- 2) Könnte man mittels einer Kraterdichtezählung die einzelnen Flussepisoden unterscheiden und damit die Frequenz der rekurrierenden Flüsse bestimmen?
  - a. Nein, da die Fläche zu gering ist, um eine statistisch valide Kraterdatierung zu ermöglichen (korrekt)
  - b. Prinzipiell schon, sofern eine lokale Kalibrierung, etwa mittels des Grades an Space Weathering (Einbettung von Fe-Nanopartikel durch den Sonnenwind)(Falsche Antwort)
  - c. Nein, da bei einer derartig kleinräumigen Variation zwischen Oberflächen aus der hesperischen und noachischen Periode es zu einer Superposition von zwei Impakt-Eichkurven führt, deren Lösung nicht eindeutig ist. (Falsche Antwort)
- 3) Ist der in 3a errechnete Zeitraum eher die Unter- oder Obergrenze der Wasserspeisung durch Grundwasser?
  - a. Obergrenze: Die Annahme, dass der Porenraum zu 50% gefüllt war, ist um eine Größenordnung zu hoch angesetzt, da ein Großteil dieses Wassers innerhalb weniger Jahre in das Mineral eingebettet werden würde. (Falsche Antwort)
  - b. Obergrenze, da in der Praxis das Einzugsgebiet von Nanedi Valles aufgrund der umgebenden Flusstrukturen deutlich kleiner ist und zusätzlich die Verluste in die Atmosphäre nicht berücksichtigt wurden. (Falsche Antwort)
  - c. Die Untergrenze: einerseits kann zwar das tatsächliche lokale Porenvolumen in der hesperischen Periode nur unzureichend abgeschätzt werden, aber da es sich um das Ende der feuchten Periode des Mars handelt, wäre auch ein positiver Eintrag (etwa aus benachbarten Regionen etc..) plausibel. Mars hatte hydrologische Kreisläufe. Vor allem aber ist kein Fließmechanismus bekannt, der so schnell etwa einen Kilometer tief in den Mars Megareolith schneiden könnte. (Korrekt)
- 4) Wenn Sie eine Bodenprobe aus Nanedi Valles nehmen könnten, welche nicht durch jungen Sand bedeckt ist, sondern Material ist, das noch aus der Zeit des fließenden Wassers stammt: wonach würden Sie diese untersuchen, um eine Flusszeit von z.B. weniger als einem Jahrzehnt sicher auszuschließen?
  - a. Phyllosilikate oder hydrierte Silikate, weil diese erst durch langandauernden Wasserkontakt hydrieren können (Korrekt)
  - b. Blueberries (Hämatit-Spherulen, oft in Sulfat-Evaporite eingebettet) mit möglichst homogener sphärischer Form (Falsche Antwort)
  - c. Rampert Krater (Falsche Antwort)

# PlaTo Mars – Modul 2

## Crater Clustering

### 1. Kontext & Datenmaterial

Ma'adim Vallis gilt als eines der Hauptbewässerungssysteme für den Gusev Krater, in dem auch die US Rover Spirit nach Wasserspuren gesucht hat. Die Suche brachte kaum direkt Hinweise auf Wasser (da hatte der Zwillingsrover Opportunity mehr Glück), da vermutlich durch rezenteren Vulkanismus in der Apollinaris Region eine dicke vulkanische Staubdecke deponiert wurde. Etwa 30 km östlich des Ma'adim Vallis befindet sich auf  $20^{\circ}11' \text{ S}$  und  $178^{\circ}12' \text{ E}$  eine bemerkenswert dichte Ansammlung von Einschlagskratern, deren Entstehungsgeschichte wir hier untersuchen wollen.



Aufgabe 1a: Betrachten Sie Ma'adim Vallis in Google Earth / Mars oder auf [maps.google.com/mars](https://maps.google.com/mars) (Achtung: das topografische Datenmaterial ist in beiden Karten zu gering aufgelöst um diese Struktur zu zeigen – welche Einstellung hat die beste Auflösung?). Welchen Durchmesser haben die größeren Krater, bzw. wie groß ist das gesamte Cluster-Gebiet?

(Antwort: Infrarot hat bei beiden Karten die beste globale Auflösung; Das Cluster-Gebiet erstreckt sich über etwa 12 km, entsprechend etwa 110 km<sup>2</sup>; die größeren Krater haben einen Durchmesser von ca. 1 km)

Aufgabe 1b: Die Wahrscheinlichkeit, dass zufällig eine solche lokale Erhöhung der Kraterdichte vorliegt ist sehr unwahrscheinlich. Mehrere alternative Erklärungsversuche wurden vorgeschlagen.

Darunter auch das Tidal Break-up eines Kometen, der bei einer vorangehenden Passage (z.B. am Mars) durch die Lagrange-Kräfte aufbrach und dann als Gruppe von Fragmenten eine Serie von Impakten verursachte. Wäre das eine plausible Erklärung für diese Struktur?

(Antwort: Definitiv nein! Nach dem Aufbruch eines Kometen haben zwar die Fragmente eine fast idente keplersche Flugbahn, aber sie verteilen sich wie eine „Perlenkette“ auf der Flugbahn (Beispiel Shoemaker-Levy 9 kurz vor seiner Kollision mit Jupiter 1994). D.h. die Bruchstücke prallen in kurzen zeitlichen Abständen hintereinander auf. In dieser Zeit dreht sich der Mars aber weiter und das resultierende Phänomen kennen wir aus zahlreichen Beispielen auch aus anderen Einschlagsregionen im Sonnensystem: Kraterketten (Beispiele auf dem Mars: Tractus Catena, Acheron Catena – schauen Sie sich diese auf Google Mars an!). )

Aufgabe 1c: Eine oft zu sehende Häufung von Kratern ist bei größeren Impakten in Form von Sekundärkratern, d.h. Auswurfmaterial eines Einschlages. Wäre das eine mögliche Erklärung? (Tipp: sehen Sie sich die unmittelbare Umgebung der Struktur an.)

(Lösung: Negativ. Auch Sekundärkrater haben eine Vorzugsrichtung, die radialsymmetrisch vom Ursprungspunkt weg weist.)

Aufgabe 1d: Auf dem Mond gibt es keine vergleichbaren Strukturen, weshalb das Vorhandensein einer (damals auch dichteren) Atmosphäre eine Rolle gespielt haben dürfte. Dabei liegt der Vergleich eines Airburst nahe – etwa der dem Tunguska-Ereignis 1908 in Sibirien, wo vermutlich ein lockerer Steinmeteorit oder Komet in 10km Höhe beim Eintritt in die Erdatmosphäre explodierte). Nehmen wir im Gedankenexperiment an, dass ein lockerer Komet (Durchmesser 1 km) mit 20 km/s in die Marsatmosphäre eintritt und sich zwei 100m-großen Fragmente mit einer relativen Geschwindigkeit von 200 m/s verteilen:

Wie groß wäre dann das Streufeld der Kometenfragmente? Ist das mit der Beobachtung konsistent?

(Lösung: Die beiden entferntesten Fragmente wären zum Eintrittszeitpunkt etwa 900 m entfernt, was bei einer Separationsgeschwindigkeit von 200 m/s über einen Zeitraum von 1 s zu einem Streufeld von ca. 1100 m führen würde – damit ist das Streufeld viel zu groß, um durch einen Airburst erklärt werden zu können. Die erforderliche Separationsgeschwindigkeit würde bei über 2000 m/s liegen – dafür steht nicht genügend Energie zur Verfügung.)

Randnotiz: Es gibt aber tatsächlich Hinweise auf Airbursts in der Marsatmosphäre – Streufelder, die durch viel kleinere Fragmente und einer weitaus kleineren Streufläche (Durchmesser typischerweise etwa 100 m) verteilt sind.

## 2. Impakt-Energie

Ein erster Schritt zum Verständnis dieses Ereignisses liegt in der Abschätzung der Impaktenergie um einen Anhaltspunkt für die ursprüngliche Größe des Mutterprojektils zu bekommen. Eine einfache Abschätzung ist mittels eines Tools von Melosh und Beyer möglich (Aufgabe 2a).



Aufgabe 2a: Verwenden Sie den Algorithmus von Melosh und Beyer unter [http://pirlwww.lpl.arizona.edu/~jmelosh/crater\\_c.cgi](http://pirlwww.lpl.arizona.edu/~jmelosh/crater_c.cgi) und versuchen Sie in den Inputparametern selbst plausible Werte für einen Kometeneinschlag einzusetzen. Experimentieren Sie mit dem Tool um eine plausible Größenabschätzung eines ursprünglichen Fragmentes zu bestimmen, welches einen Kraterdurchmesser von 1300 m zur Folge hat.

(Lösung: wenn man eine Fragmentgröße von 100 m annimmt, das mit einer Dichte von  $1000 \text{ kg/m}^3$  als Asteroid einschlägt (7 km/s) und nimmt man weiters poröses Gestein mit  $1500 \text{ kg/m}^3$  als Matrix an, die mit losem Sand bedeckt ist, ergibt sich ein Kraterdurchmesser von ca. 1100 m. (Achtung: Final crater – der ursprüngliche (transiente) Krater ist etwas kleiner!))

Randnotiz: Haben Sie bemerkt, dass der Einschlagswinkel keinen sonderlich großen Einfluss auf die Kratergröße hat? – Tatsächlich verhält sich Gestein bei diesen Hochgeschwindigkeitseinschlägen eher wie eine Flüssigkeit denn wie ein Feststoff.

Aufgabe 2b: Angenommen, der Impakt der größeren Krater des Streufeldes ist tatsächlich durch einen Kometen mit jeweils etwa 100 m Durchmesser bei 7 km/s geschehen – schätzen Sie die Gesamtenergie des Einschlages ab. Eine grobe Abschätzung mit der Genauigkeit einer Größenordnung ist hier völlig ausreichend.

(Antwort: Bei ca 40 Einschlägen mit ca 1 km Durchmesser würde sich eine  $5 \times 10^{17} \text{ J}$  ergeben, dies entspricht etwa 120 Megatonnen-Äquivalent TNT. Wenn man diese Energie in einem einzigen Fragment freisetzen wollte, ergibt sich der Durchmesser von 350 m für den Meteoriden.)

Diese Abschätzungen basieren nun auf einigen - zwar plausiblen - aber dennoch unpräzisen Werten. Ein Team um Bill Hartmann, Olga Popova und Daniel Berman hat in einem sehr interessanten Paper 2005 eine zwar spektakuläre, aber mit den Beobachtungen konsistente Hypothese aufgestellt. (Popova et.al.: "Crater clusters on Mars: Shedding light on martian ejecta launch conditions", Icarus Vol. 190, Issue 1, September 2007, S. 50-73): Dieses Crater Clustering ist tatsächlich eine Sonderform von Sekundärkratern: Die Fluchtgeschwindigkeit (2te kosmische Geschwindigkeit) des Mars beträgt etwa 5.000 m/s, wenn die Ejekta eines größeren Impaktes knapp unter dieser Geschwindigkeit liegen, kommen Sie wieder zurück zur Oberfläche. In der Zwischenzeit rotiert der Mars aber zwischen dem Auswurfzeit- und dem Aufschlagszeitpunkt weiter, bzw. fliegt die Gruppe von Fragmenten weiter auf einer Teilellipse und der Sekundärkrater kann etwa an der gegenüberliegenden Stelle des Planeten entstehen.

Versuchen wir dazu eine kleine numerische Abschätzung...

Aufgabe 2c: Nehmen wir an, ein Impakt setzt genügend Energie frei, um die Ejekta knapp auf Entweichgeschwindigkeit zu beschleunigen, sagen wir 5000 m/s, den Luftwiderstand können Sie im

Augenblick vernachlässigen.– Wie lange sind die Teile unterwegs? (Hinweis: Das Schwerfeld des Mars beschleunigt mit  $3,69 \text{ m/s}^2$ ).

[TIPP: Erinnern Sie sich an die Beschreibung des senkrechten Wurfes im Schwerfeld – da gilt: die Geschwindigkeit beträgt:  $v = v_0 - gt$ , und der dabei zurückgelegte Weg  $s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ ]

[TIPP 2: Keine Ahnung, wies weitergehen könnte? Hmmm – versuchen Sie es mit dem Freistellen von  $t$  im Scheitpunkt bei  $v = 0$ ]

(Lösung: Die Flugzeit zum beträgt ca.  $2 \times 1.355 \text{ s}$  (Steigzeit = Fallzeit) =  $2.710 \text{ s}$  und  $3.400 \text{ km}$  als Gipfelhöhe, streng genommen müsste man auch die geringer werdende Schwerebeschleunigung des Mars bei wachsender Entfernung berücksichtigen, d.h. dieser Wert ist eine Untergrenze.)

Aufgabe 2d: Nehmen wir an, die Separationsgeschwindigkeit beträgt (konservativ betrachtet)  $5 \text{ m/s}$ , mit der sich die Fragmente nach dem Impakt voneinander entfernen. Wie groß ist das Streufeld, wenn beim Impakt zwei  $100 \text{ m}$ -Bruchstücke „Seite an Seite“ gestartet sind?

(Lösung:  $1.355 \text{ s} \times 2 \times 5 \text{ m/s} = 13.550 \text{ m}$ , was ziemlich genau dem Nord-Süddurchmesser des Krater-Clusters entspricht. Diese Hypothese ist also plausibel; eine weitaus exaktere Rechnung unter Berücksichtigung der atmosphärischen Reibung, Einschlagsgeometrie etc... führen aber zu einem ähnlichen Ergebnis.)

Anmerkung: So beeindruckend es auch sein mag, solche Berechnungen mit komplexen hydrodynamischen Modellen an einem Hochleistungscomputer durchzuführen, eine Sache ist sicherlich noch weitaus beeindruckender: Nämlich vor einigen hundert Millionen Jahren an der Stelle östlich des Ma'adim Vallis zu stehen, aus dem rötlichen Himmel über sich plötzlich eine Gruppe von glühenden Punkten zu sehen, die sich lautlos nähern (der Schall hat sie noch lange nicht erreicht) und einige Minuten später bricht die Hölle los, als ein Schwarm aus 30-40 Feuerbällen die Fläche einer Großstadt mit fast gleichzeitigen Explosionen eindeckt, die jede für sich die Kraft einer modernen Atombombe hat. Willkommen auf dem Mars.

### 3. Implikationen & Diskussion

#### Aufgabe 3a. MULTIPLE CHOICE ZUR DISKUSSION

- 5) Wenn man die Geometrie der Krater beim Clustering betrachtet, fällt auf, dass die Kraterränder nicht so schön kreisförmig sind, wie man es bei direkten Impakten kennt. Ein schönes Beispiel findet sich etwa beim **Amenthes Crater Cluster** unter <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06326> . Hätten Sie eine Idee, warum es zu diesen Abweichungen von der Kreissymmetrie kommen könnte?

- a. Die einschlagenden Fragmente haben noch eine residuale Eigenbewegung relativ zum gemeinsamen Schwerpunktes der Bolidengruppe. Damit können elongierte Formen erzeugt werden. (Falsche Antwort)
  - b. Anders als bei direkten Einschlägen, ist die kinetische Energie nach dem Ende der Flugparabel deutlich niedriger. Deshalb können lokale Variationen in der Dichte, Zusammensetzung und Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes kleinere Abweichungen in der Ausbreitungen der Druckwelle verursachen und damit Symmetriebrüche ermöglichen. (Korrekte Antwort)
  - c. Diese Abweichungen von der Kreisform sind erst NACH den Einschlägen entstanden, etwa durch lokale Erosion oder glaziale Prozesse. (Falsche Antwort)
- 6) Eines der rezentesten Beispiele für ein Crater Clustering findet sich etwa 1000 km nordöstlich von Elysium Mons ([http://hirise.lpl.arizona.edu/ESP\\_011323\\_2265](http://hirise.lpl.arizona.edu/ESP_011323_2265) ). Diese Gruppe entstand zwischen dem 4. Juni und 10. August 2008, charakteristisch für diesen Cluster ist die dunkle Färbung der Ejekta – woher kommt diese auffällige Kontrastveränderung?
- a. Durch den Einschlag wurde darunterliegendes basaltisches Material ausgeworfen. Dieses hat eine dunkle Färbung, bis durch den anhaltenden Kontakt mit der Marsatmosphäre das Eisen verwittert und eine hellere Färbung bekommt. (korrekt)
  - b. Bei dem Impakt ist derartig viel Energie freigesetzt worden, sodass es zu einem Verbrennungsprozess kam: der minimalen Sauerstoff-Anteil der Atmosphäre oxidierte mit dem Kohlenstoff von z.B. kohligen Chondriten aus dem Asteroidengürtel. (Falsche Antwort)
  - c. Diese dunkle Färbung ist Zeichen für einen längerdauernden Wasserkontakt. Möglicherweise war in dieser Region genügend Permafrost vorhanden, um eine „Durchtränkung“ des lokalen Regoliths zu erreichen. (Falsche Antwort)
- 7) Ist bei Crater Clustering eine Datierung durch die Kraterdichtezählung Möglich?
- a. Durchaus! Sofern die Streufläche groß genug ist, kann man –ev mit größeren Fehlerbalken- durchaus eine Kraterdatierung vornehmen (Falsche Antwort)
  - b. Mit Einschränkung: Ja. Voraussetzung dafür ist, dass die nachfolgende Erosion nicht zu einer Defizienz von kleineren Kratern führt. Das bedeutet, dass bei rezenten Impakten –im Wesentlich in der späten amazonischen Periode- solche Messungen erlaubt sind. (Falsche Antwort)
  - c. Leider nein: Zum Einen ist die Streufläche viel zu gering, zum Anderen kommt es durch das atmospheric screening zu einer Veränderung in der Verteilungsfunktion der Fragmente (die kleineren werden „aussortiert“). (Korrekt)

# PlaTo Mars – Modul 3

## Wie alt? – Kraterdatierung auf dem Mars und ihre Grenzen

### 1. Einführung Kraterdatierung

In dieser Übung soll eine vereinfachte Altersdatierung einer ausgewählten Marsoberfläche gemacht werden, die auf einer viel ausführlicheren Arbeit von K.L. Tanaka aus dem Jahr 1986 basiert (Tanaka, K.L. (1986) The stratigraphy of Mars. Proceedings of the 17<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conf., Part 1. Journal of Geophysical Research, 91, supplement, E139-E158). Ausgangspunkt ist folgende Eichentabelle:

Serie	N(1)	N(2)	N(5)	N(16)	N(4-10)
Upper Amazonian	<160	<40			
Middle Amazonian	160-600	40-150	<25		<33
Lower Amazonian	600-1600	150-400	25-67		33-88
Upper Hesperian	1600-3000	400-750	67-125		88-165
Lower Hesperian	3000-4800	750-1200	125-200	<25	165-260
Upper Noachian			200-400	25-100	>260
Middle Noachian			>400	100-200	
Lower Noachian				>200	

(N = kumulative Krateranzahl größer oder gleich dem in Klammer angegebenen Durchmesser pro 1 Million km<sup>2</sup>.)

**Aufgabe 1:** Die zu untersuchende Fläche umfasst das Gebiet zwischen 27° und 35°N sowie 330° – 335°W. – Betrachten Sie dieses Gebiet- Um welche Region handelt es sich und wie groß ist sie?

**Antwort 1:** Eine einfache Darstellung kann man z.B. via <http://mars.google.com> machen, besser wäre direkt auf Google-Earth das Mars-Modul zu laden (<http://earth.google.com>) denn hier kann man besser vermessen und Koordinaten speichern). Es handelt sich dabei um eine Fläche, welche den Übergang zwischen den Hoch- und Tiefebene im nördlichen Arabia Terra markiert. Übrigens wird diese Region auch als MC-5 (Mars Chart-5) bezeichnet, benannt nach einer (willkürlichen, aber gemeinhin akzeptierten) Einteilung des US Geological Surveys, jener Kartenabschnitt, der nach der Region Ismenius Lacus benannt ist (Ismenius ist der alte poetische Name für das griechische Theben). Der ganze Mars wird damit in 30 Quadrate eingeteilt, die jeweils ca. 3 % der Oberfläche umspannen. MC-5 überdeckt knapp 5 Millionen km<sup>2</sup>.



Aus den geografischen Koordinaten kann man den Winkel zwischen den begrenzenden entsprechenden Großkreisen berechnen; für die geografische Breite lässt sich mittels der Winkelfunktionen sich nun die physische Länge eines Großkreises in dieser Region berechnen, für die Länge ist das ja nicht notwendig. Oder – noch einfacher – man verwendet das Messwerkzeug von Google-Mars.

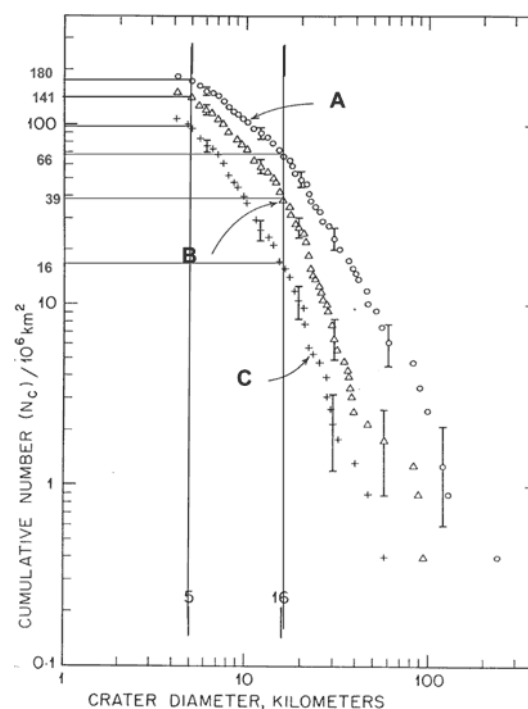
Die Fläche beträgt ca. 76.000 km<sup>2</sup>.

**Aufgabe 2a:** Kraterzählung: Jetzt kommt die akribische Feinarbeit – erstellen Sie eine Tabelle, in der sowohl die Krater >2km angeführt sind, sowie eine zweite Spalte mit Kratern >16 km. Zählen Sie nun die besagte Fläche zwischen 27° und 35°N sowie 330° – 335°W. Zählen Sie nur die Krater, deren Mittelpunkt innerhalb des untersuchten Gebietes liegen.

Die Flächendichte von Einschlagskratern wird üblicherweise auf 1 Mio. km<sup>2</sup> normiert, d.h. der Normalisierungsfaktor ergibt sich aus 1.000.000 km<sup>2</sup>/Fläche, mit dem die Anzahldicke korrigiert werden muss.

Aufgabe 2b: Erstellen Sie einen Plot, wo auf der X-Achse der Logarithmus des Kraterdurchmesser, auf der Y-Achse die kumulative Anzahl der Krater dargestellt ist. Verwenden Sie die Y-Werte bei N(2) und N(16) um nach der Eichentabelle von Tanaka das Alter zu bestimmen.

**Lösung Aufgabe 2:** Ihre Grafik sollte in etwa vergleichbar sein mit der folgenden:



Daraus ergibt sich ein Alter, das in die späte noachische Periode fällt. Verwendet man lediglich die großen Krater, ergäbe sich ein zu hohes Alter für die Oberfläche.

## 2. Diskussion

**Aufgabe 3a:** Je nachdem, welche Krater Sie mitgezählt haben, schwankt die Altersdatierung entsprechend. Welche planetologischen Prozesse könnten diese Messmethode beeinflussen?

**Aufgabe 3b:** Wie kann man diese Schwankungen kompensieren und eine präzisere Datierung ermöglichen?

**Antwort 3:** Exemplarisch angeführt seien etwa fluviale Prozesse, Erosion durch Sand bzw. das Auffüllen von Kratern durch Windtransport nach dem Flake-Off Prozess in benachbarten Regionen. Deshalb muss man bei einer Kraterdichtezählung zuerst einmal prüfen, ob solche Prozesse möglicherweise das Zielgebiet für eine solche Datierung ausscheiden lassen.

Die Alternative ist etwa, die Fläche des zu untersuchenden Gebietes zu ändern, oder aber mittels hochauflösenderer Karten auch kleinere Krater mitzuzählen. CAVE: bei sehr alten Regionen tritt nach ca. 3-4 Gyr ein Sättigungseffekt ein, sodass neu entstehende Krater ältere überdecken oder zerstören können.

## 3. Multiple Choice zur vertiefung

- 8) Es gibt mehrere hunderttausend Krater auf dem Mars. Warum aber gibt es eine Mindestgröße, unterhalb derer keine kleineren Krater mehr vorhanden sind?
- a. Beim Durchfliegen der Atmosphäre kann ein Partikel unterhalb einer gewissen Grenzgröße und Dichte komplett verglühen und erreicht damit nicht mehr die Oberfläche. (Atmospheric Screening) (Korrekt)
  - b. Es gibt sehr wohl beliebig kleine Krater wie auf dem Mond, aber man kann aus der Umlaufbahn nur mit einer begrenzten Auflösung eben nur die größeren erkennen. (Falsche Antwort)
  - c. Es gab diese kleineren Krater (bis in den Mikrometer-Durchmesserbereich) auch, aber sie wurden innerhalb von wenigen hundert Jahren lokal durch die Sanderosion weggeschliffen. (Falsche Antwort)
- 9) Leider gibt es (noch) keine Grundeichung der Kraterdichtezählung auf dem Mars durch eine Bodenprobe, deren Alter man absolut bestimmt hätte. Woher kommen dann aber die Eichkurven?
- a. Die Grundeichung erfolgt durch Marsmeteoriten, die man aufgrund der Isotopensignatur eindeutig dem Roten Planeten zuordnen kann. Damit ist eine radiometrische Datierung möglich. (Falsche Antwort – man kann zwar

Marsmeteoriten radiometrisch datieren, aber man weiß nicht mit Sicherheit, woher vom Mars sie stammen.)

- b. Diese Eichungen beruhen auf sehr ausgefeilten hydrodynamischen Simulationen, die auf dem Hobbes-Calvin Algorithmus aufbaut. (siehe auch [http://img.phombo.com/img1/photocombo/63/cache/ch860126\\_display.jpg](http://img.phombo.com/img1/photocombo/63/cache/ch860126_display.jpg)) beruhen. (Falsche Antwort, „Calvin und Hobbes“ ist aber trotzdem eine tolle Cartoon-Serie!)
- c. Die Eichung wird unter der Annahme gemacht, dass die Impaktfrequenz des Mars gleich derjenigen des Mondes war, zumindest was das Early Bombardement betrifft. Vom Mond wiederum hat man dank der Apollo-Missionen eine radiometrische Absoluteichung. (Korrekt)

10) Suchen Sie im Internet das Bild „ESP\_017229\_2110“ von der HiRISE-Kamera des Mars Reconnaissance Orbiters (MRO, z.B. [http://hirise-pds.lpl.arizona.edu/PDS/EXTRAS/RDR/ESP/ORB\\_017200\\_017299/ESP\\_017229\\_2110/ESP\\_017229\\_2110\\_RED.thumb.jpg](http://hirise-pds.lpl.arizona.edu/PDS/EXTRAS/RDR/ESP/ORB_017200_017299/ESP_017229_2110/ESP_017229_2110_RED.thumb.jpg)). Darauf erkennen Sie eine ungewöhnliche rechteckige Struktur, welche in einem Sandhügel eingebettet ist. Wie kann so etwas entstehen?

- a. Dabei handelt es sich um eine selektive Erosion durch den Marswind – durch umliegende Hügel wird durch den Bernoulli-Effekt lediglich die dunkle Fläche abgetragen und damit ein lokales, verstärktes Flake-Off von Eisenoxid bewirkt. (Falsche Antwort)
- b. Hier handelt es sich um einen lokalen Austritt von Grundwasser, das durch einen nahe Impakt einen Phasenübergang von Eis zu flüssigem Wasser durchmachte. Der feuchte Sand ist deutlich dunkler, allerdings handelt es sich dabei um ein sehr kurzlebiges Phänomen bis dass der Sand wieder ausgetrocknet ist. (Falsche Antwort)
- c. Ein frischer, nur etwa 1m großer Einschlagskrater verursachte einen lokalen Hangrutsch, der basaltisches Gebiet unter der Sanddecke freilegte. Bedingung dafür ist, dass die Hangneigung die Mohr-Coulombsche Grenzbedingung für Hangstabilität überschreitet (d.h. wenn die Schubspannung größer als die druckabhängige Scherfestigkeit ist, das heißt, wenn sie oberhalb der linearen Bruchgeraden liegt, die die Grenzlinie nach Mohr-Coulomb darstellt). (Korrekt, ein ganz netter Artikel dazu findet sich unter: <http://www.universetoday.com/64165/latest-mars-avalanche-likely-triggered-by-impact-event>).

## PlaTo Mars – Modul 4

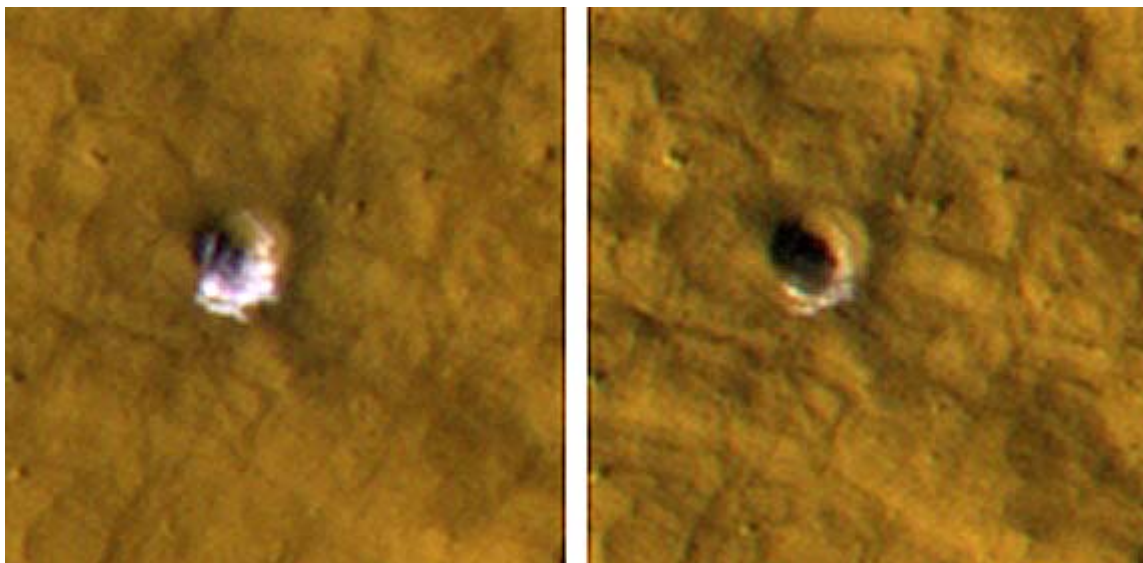
### Kurzlebige Phänomene auf dem Mars - Der Rote Planet als ein dynamischer Himmelskörper

#### 1. Phänomen 1 - Eiskrater

Planeten ohne nennenswerte Atmosphäre oder massive tektonische Aktivität erscheinen nach menschlichen Maßstäben ebenso „unveränderlich“ wie die Mondoberfläche. In diesem Übungsbeispiel sollen Sie lernen, dass der Mars einige überraschend schnelle und kurzlebige Phänomene bietet, deren Beobachtung entweder geschicktes Timing oder (meistens) großes Glück in der Wahl des Beobachtungsortes und Zeitpunktes erfordern.

Beginnen wir mit einem einfachen Beispiel mit Eis abseits der Polarregionen: Rampart-Krater sind ja ein klassisches Beispiel für z.T. mehrere dutzend-km große Einschlagskrater wo Wassereis für einige Sekunden superkritisch wurde und damit die charakteristischen Muster um das Einschlagsgebiet erzeugen. Es gibt aber auch eine „Schmalspurversion“ dieser Impakte, die zwar keine Rampart-Strukturen erzeugen, dafür aber frisches Wassereis unter der Oberfläche erzeugen.

Im Abstand von drei Monaten (18.Oktober 2008 bzw. 14 Jan 2009) fotografierte die HiRISE-Kamera des Mars Reconnaissance Orbiters einen frisch erzeugten 6m-Krater. Zufälligerweise existieren auch hochauflösende Bilder des Mars Global Surveyors, mit denen sich der Zeitpunkt des Einschlages auf zwischen Jänner 2006 und Juli 2008 einschränken lässt.



*(Rezenter Krater)*



**Aufgabe 1:** Finden Sie die HiRISE-Bilder zu diesem Objekt. Hinweis: die Aufnahme in der Nähe folgender Koordinaten gemacht worden: 43°N, 164°E – Suchen Sie dazu die Bilddaten auf der HiRISE Website. Versuchen Sie aus diesen Daten eine Bestimmung der Kratertiefe!

**Antwort 1:** Diese Daten finden Sie am einfachsten, wenn Sie auf Google-Mars (nicht mars.google.com, sondern dem Tool Google Earth (wo man Mars lädt) verwenden - hier zeigt sich die Überlegenheit dieses Werkzeuges gegenüber dem sonst recht populären mars.google.com), die Koordinaten eingeben, die Layer „HiRISE Img Browser“ einblenden und –voilà– sie haben die Links zu den Originalbildern. In der Übersichtsseite sind auch die Bilddaten angegeben. Darunter der lokale Einfallswinkel der Sonne. Wenn man einen Kraterdurchmesser von 6m annimmt und den Schattenwurf berücksichtigt, können Sie mit einfachen trigonometrischen Überlegungen die Kratertiefe mit ca. 1,5 m.

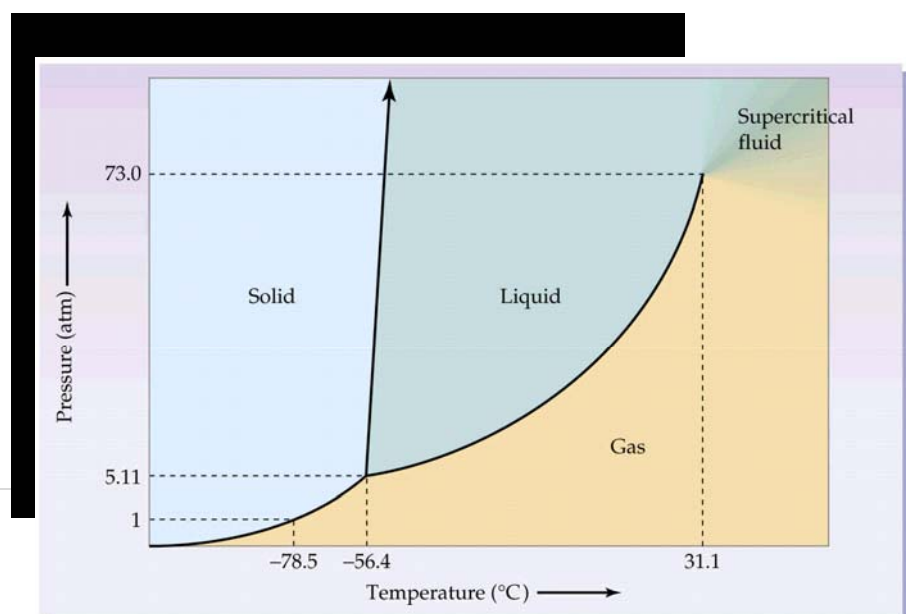
Diese Methode ist äußerst interessant für die Wahl der ersten bemannten Stationen auf dem Mars, da sie ein ausgezeichneter Indikator dafür sind, in welcher Tiefe frisches Wassereis zu erwarten ist. Eine Ausschnittskartierung dazu findet sich etwa unter:

[http://www.nasa.gov/images/content/388644main\\_fig1\\_no\\_contours.jpg](http://www.nasa.gov/images/content/388644main_fig1_no_contours.jpg) (VL2 steht für die Viking Sonde 2). Diese Karte basiert auf hydrodynamischen Rechnungen und Messungen der thermischen Trägheit des Geländes. An den Stellen „Site 1-5“ gibt es eine Eichmöglichkeit durch solche frischen Impakte, welche die zu erwartenden Eistiefen bestätigen.) Demzufolge wäre die Viking-Sonde (die mit einem Greifarm die obersten 10-15 Zentimeter des Sandbodens „abschaben“ konnte) in der Lage gewesen vor Ort frisches Wassereis freizulegen, wenn sie nur ein wenig (vielleicht nur einige Zentimeter!) tiefer hätte graben können!!!

**Aufgabe 2:** Eine Alternative zu Wassereis wäre auch, die weißen Flecken im Kraterboden durch Kohlendioxid zu erklären. Was spricht eigentlich gegen Trockeneis, dass ja bei dem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Marsatmosphäre reichlich vorhanden wäre?

**Lösung Aufgabe 2:** Ein schneller Blick auf das Phasendiagramm falsifiziert diese Hypothese: Der Tripelpunkt von CO<sub>2</sub> liegt bei über 5 Bar und einer Temperatur von -56,4°C. Bei den Tageshöchsttemperaturen in diesen Breiten von knapp unter 0°C und den 6-11 mBar auf dem Mars würde das CO<sub>2</sub> sofort in die Gasphase übergehen. Bei einem solchen Krater wäre auch das Volumen viel zu klein, um über einen Zeitraum von Wochen oder Monaten ein kontinuierliches Sublimieren zu erlauben.

(CO<sub>2</sub>-  
Phasendiagramm)



## Phänomen 2 – Schneefall auf dem Mars

Die NASA Sonde Mars Phoenix landete 2008 nahe dem Nordpol des Mars (vergleichbar mit einem Landeort in Nordkanada im irdischen Vergleich). Neben der Detektion von Peroxiden und möglicherweise Wasser an der Oberfläche hatte der Lander auch ein Light Detection and Ranging-Experiment (LIDAR) an Bord, bei dem ein Laserstrahl Aerosolverteilung in der Hochatmosphäre des Mars bei Nacht gemessen hat.

Eine der bemerkenswerten Messungen machte Phoenix bei Sol 099 in der späten Nacht: Im folgenden Diagramm sieht man die Reflexion des Laserstrahles in einigen Kilometern Höhe, der ein für Schneefall charakteristische Muster zeigte.

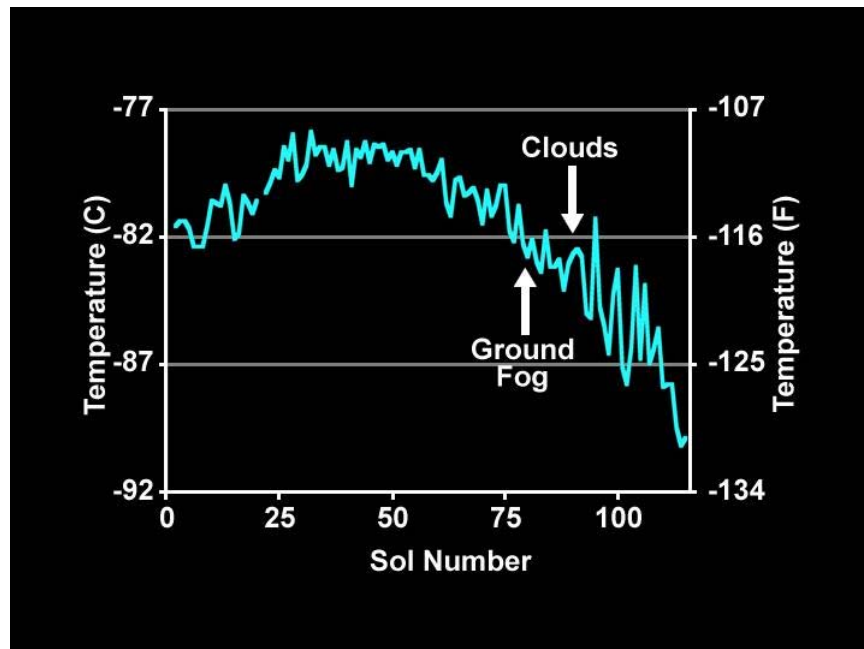
**Aufgabe 3:** Hmm.. könnte das nicht einfach auch ein Sandsturm sein, der sich wieder legt? Durch welche Beobachtung könnte man das prüfen?

**Lösung zu Aufgabe 3:** Ganz simpel: wenn es sich wirklich um das Ablagern von atmosphärischem Staub handelt, würden die Fall Streaks nicht 2-3 Kilometern Höhe abreißen. Außerdem zeigte eine Vergleichsmessung unter Tags, dass keine erhöhten Aerosolwerte zu verzeichnen sind.

**Antwort 4:** Könnte das nicht einfach auf Kohlendioxid-Kristalle sein? Wenn es Wasser ist, warum hört dann der „Fall streak“ bei etwa 3 km wieder auf?

**Hinweis:** Suchen Sie nach den Umweltbedingungen zum Zeitpunkt der Messung. Die Temperaturverläufe sind beispielsweise auf der Wikipedia-Seite von Mars Phoenix verzeichnet (die Genauigkeit ist für dieses Übungsbeispiel völlig ausreichend). Annahme: Die Lufttemperatur in 4km zum Messzeitpunkt lag bei ca -55°C. Nehmen Sie an, dass der Luftdruck am Boden bei 8 mBar, in 4 km Höhe bei 5 mBar liegt.

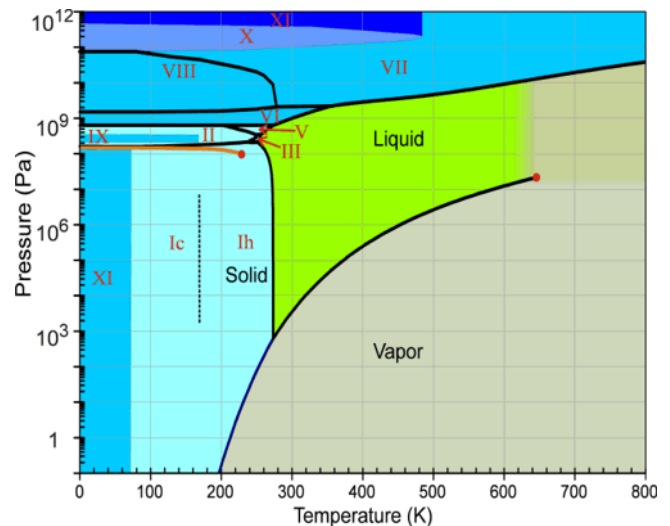
**Antwort zu Aufgabe 4:** Die Oberflächentemperatur lag zum Zeitpunkt der Messung bei ca.  $-90^{\circ}\text{C}$ , d.h. in der Höhe war es deutlich wärmer – das bedeutet es gibt auch Inversionswetterlagen auf dem Mars!



Wiederum lohnt sich ein Blick auf das Phasendiagramm von Wasser:

Damit wird der Fall klar: bei einem Druck von 5 mBar und einer Temperatur von  $-55^{\circ}\text{C}$  (=ca 218 K) ist festes Wassereis „gerade noch“ möglich. Sobald aber die Temperatur aufgrund der Inversionslage bodennäher steigt haben wir einen Phasenübergang nach rechts und das Wasser geht in die Gasphase über. Und dieser Übergang passierte in jener Nacht in 3km Höhe.

Dieser Nachweis eines hydrologischen Zyklus auf dem Nordpol des Mars zählt zu den wesentlichsten Resultaten der meteorologischen Experimente von Mars Phoenix.



# Verwendete TOPO-Features

- Novizenmodus: die größten 3 Objekte jeweils; z.B. 3 Topo-Namen für 6 Fähnchen
- Studentenmodus: „händisch“ geflaggte Objekte, die wichtig sind; z.B. Fähnchen, die beschriftet werden sollen.
- Expertenmodus: alles

3 Ausführungsmoden: „Choose it – Find it – Name it“

---

## Krater:

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=9&system=Mars&body=MarsE&type=Crater,%20craters&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam>

## Vastatitas:

[Vastitas Borealis](#) 67.27 180.0 4,100.0 5 1973 Classical albedo feature name.

## Vallis:

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=46&system=Mars&body=MarsE&type=Vallis,%20valles&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

## Terrae

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=42&system=Mars&body=MarsE&type=Terra,%20terrae&sort=AName&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

## Planum

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=32&system=Mars&body=MarsE&type=Planum,%20plana&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

## Planitiae

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=31&system=Mars&body=MarsE&type=Planitia,%20planitiae&sort=AName&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

## Pataerae

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=30&system=Mars&body=MarsE&type=Patera,%20paterae&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

### **Montes**

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=27&system=Mars&body=MarsE&type=Mons,%20montes&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

### **Labyrinthae**

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=18&system=Mars&body=MarsE&type=Labyrinthus,%20labyrinthis&sort=AName&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

### **Fossae**

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=16&system=Mars&body=MarsE&type=Fossa,%20fossae&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

### **Chaos**

<http://planetarynames.wr.usgs.gov/jsp/FeatureTypesData2.jsp?systemID=4&bodyID=8&typeID=5&system=Mars&body=MarsE&type=Chaos,%20chaoses&sort=DDiam&show=Fname&show=Lat&show=Long&show=Diam&show=Stat&show=Year&show=Orig>

### **Übersicht & Zuordnungen**

[http://planetarynames.wr.usgs.gov/mgrid\\_mola.html](http://planetarynames.wr.usgs.gov/mgrid_mola.html)