

# **VERMESSUNG IM SONNENSYSTEM: KARTOGRAFIE VON PLANETEN, MONDEN UND KLEINEN KÖRPERN**

---

Ralf Jaumann, Andrea Naß, Marlene Bamberg

# ZUSAMMENFASSUNG

Die bisherigen Missionen ins Sonnensystem lieferten eine enorme Fülle an Daten in unterschiedlichen Formaten und in Form von Bildern und digitalen Messergebnissen. Die Oberflächenprozesse der planetaren Körper, die mit Hilfe dieser Daten erforscht werden können, sind äußerst vielfältig und reichen von Einschlagskratern über Vulkanismus und Tektonik zu allen Formen der Erosion und Sedimentation. Um diese Prozesse verstehen zu können werden Verfahren angewendet, die für die Datenanalyse auf der Erde entwickelt wurden. Allerdings ist es notwendig all diese Verfahren zum Teil mit erheblichem Aufwand und unter Berücksichtigung der jeweiligen physikalischen Rahmenbedingungen anzupassen. Die Entwicklung kartographischer Verfahren zur Abstraktion der hier angesprochenen Informationen, also die Erfassung, geomorphologische Analyse und Visualisierung planetarer Oberflächen und Prozesse, hat jedoch gerade erst begonnen. Um diese Entwicklungen voranzutreiben, hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Kooperation mit der Universität Potsdam (Institut für Geographie, Fachgruppe Geoinformatik, Prof. Dr. Asche), im Rahmen von Dissertationen und Forschungsvorhaben, in einem ersten Schritt kartographische Analyseverfahren für den Mars und die Asteroiden Ceres und Vesta entwickelt.

# 1 EINLEITUNG

Nach einem halben Jahrhundert Weltraumfahrt haben wir einen guten Überblick über die Körper in unserem Sonnensystem und inzwischen auch eine relativ gute bildliche Erfassung von deren Oberflächen. Die genaue Erfassung und Vermessung hochaufgelöster planetarer Daten, die wiederum eine detaillierte kartographische Visualisierung ermöglicht und sich dabei auf moderne, computergestützte Methoden stützt, hat allerdings gerade erst begonnen.

Begibt man sich in die Welt der Astronomie, so ist es kaum verwunderlich, dass vor noch nicht allzu langer Zeit Beobachtungen am Firmament als eine philosophische Wissenschaft betrachtet wurden. Derart gewaltig sind die Dimensionen von Zeit und Raum, dass etwas Philosophie auf naturwissenschaftlichem Terrain nicht von Schaden sein konnte. Es ist daher kein Zufall, dass die ersten bedeutenden Interpretationen zu Ursprung und Werden unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft, von einem Philosophen stammen: Immanuel Kant. Er formulierte 1755 in seiner *Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Kant 1755) seine Ansichten zum Kosmos im Allgemeinen und dem Werdegang unseres Sonnensystems im Besonderen in erstaunlicher Schärfe, indem er zusammenfassend feststellt, dass eine Urwolke, bestehend aus einem Gas von geringer Dichte, das Universum erfüllt. Diese Gaswolke könne in sich nicht stabil sein, sondern kollabiert durch die Wirkung der Schwerkraft zu Zonen großer Dichte, aus denen die Sterne, also auch unsere Sonne, mitsamt den sie umgebenden Planeten entstanden. Ein halbes Jahrhundert später ergänzte der französische Mathematiker Laplace dieses schon recht schlüssige Konzept mit genaueren Berechnungen (Laplace 1796). Und obwohl beide Denker seinerzeit mangels Beobachtungstechniken im Grunde genommen nur qualitative Ansätze verfolgten, können wir heute, gestützt auf immer bessere Beobachtungen und mithilfe fortschrittlicher Technik, voller Anerkennung feststellen, dass diese *Kant-Laplace-Theorie* im Wesentlichen zutreffend ist!

Die Sonne und der Mond, mit seinen ihm vielleicht unheimlich anmutenden Phasen, waren der Menschheit als erste astronomische Studienobjekte vertraut. Bereits sehr früh wusste man auch die hellen Lichtpunkte von Venus und Mars, Jupiter und Saturn als Nicht-Fixsterne zu deuten und nahm daher richtig an, dass diese Körper eher zu unserer unmittelbaren Umgebung zu rechnen sind. Die Griechen gaben ihnen den Namen: *Planeten*, Wanderer, da sich diese Körper vor dem Fixsternhintergrund auf ihren eigenen Bahnen bewegten. Schon damals waren bereits die gelegentlich vom Himmel fallenden Meteoriten bekannt, die den Sternendeutern vieler Generationen allerdings ein Rätsel aufgaben. Ähnliches gilt für die selten und unregelmäßig am Nachthimmel auftauchenden

Schweifsterne, die Kometen. Sie wurden in früheren Zeiten als Boten nahenden Unglücks betrachtet, weil sie so gänzlich aus dem *kosmischen Rahmen* fallen. Mit der Aufklärung gingen mathematisch-theoretische Überlegungen Hand in Hand mit den immer besseren Beobachtungen am Nachthimmel. Masse und Größen der schon bekannten Planeten konnten bestimmt werden. Im Jahre 1781 wurde von Wilhelm Herschel mit Uranus zum ersten Mal ein Planet entdeckt, der nicht mit dem bloßen Auge, sondern nur mit Hilfe eines Fernrohrs am Nachthimmel gefunden werden konnte. Unregelmäßigkeiten in der Laufbahn dieses Planeten machten schließlich auf einen noch weiter außen befindlichen Planeten aufmerksam und 1846 wurde Neptun entdeckt. Der Italiener Giuseppe Piazzi erblickte 1801 einen über 400 Kilometer großen Kleinplaneten (später Ceres getauft) und schon bald wurden von Hans Olbers zwei weitere, über 200 km große Planetoiden entdeckt (Pallas (1802) und Vesta (1807)) und der gesamte Asteroidengürtel erschien in den Teleskopen. Aufgrund von Berechnung wurde schließlich das „Fehlen“ eines weiteren noch nicht entdeckten Körpers postuliert: Die Entdeckung des neunten Planeten Pluto markiert im Jahr 1930 gewissermaßen den Abschluss eines großen Kapitels der Astronomie. Doch das nächste Kapitel sollte noch viel interessanter werden, denn Mitte des 20. Jahrhunderts brach das Raumfahrtzeitalter an.

Der Wettlauf zum Mond führte auf allen Gebieten der jungen Raumfahrt zu beispiellosen technischen Fortschritten – was auch zum Vorteil für die Forschung wurde. Nicht nur der Mond, auch die um ein Vielfaches weiter entfernten Planeten unseres Sonnensystems waren nun mit robotischen Raumsonden erreichbar. Zunächst zur Venus und zum Mars, dann zu Merkur, Jupiter, Saturn und noch weiter. Es gelangen unzählige faszinierende und erhellende Beobachtungen, denn durch den Blick auf die anderen Planeten und Monde haben wir nicht nur unglaublich viel über das Sonnensystem erfahren, sondern auch Wichtiges über die Frühzeit und Entwicklung unserer Erde lernen können, die unter allen Planeten so beispiellos einmalig ist. Nach wie vor ist die Erde der einzige Ort im Universum, von dem wir wissen, dass er Leben beherbergt. Und nicht zuletzt wurde erkannt, dass dieser *Blaue Planet* fragil ist, geschützt werden muss und das Beste aller denkbaren Raumschiffe darstellt.

Für die Planetenforschung werden neben Sensoren im sichtbaren Licht, die in verschiedenen Kamerasystemen zum Einsatz kommen, auch Detektoren in vielen weiteren Teilen des elektromagnetischen Frequenzspektrums für Spektrometer eingesetzt. Bei diesen Sensoren ist die Auflösung allerdings vielfach geringer. Der klassische Prozess der Erkundung anderer Himmelskörper besteht aus Vorbeiflug am Zielkörper, Umlaufbahn um den Himmelskörper, weicher Landung und in-situ Messungen auch mit Roboterfahrzeugen (Rover), Materialprobenrückführung und bemannter Expedition. All diese Aktivitäten erfordern die Vermessung der Körper im Sonnensystem. Denn je detaillierter die Exploration der planetaren Oberflächen wird, umso genauere kartografische Produkte können daraus abge-

leitet werden, welche im Umkehrschluss wieder als Grundlage für zukünftige Explorationen dienen.

Die Entwicklung kartographischer Verfahren zur Erfassung, geomorphologischen Analyse und Visualisierung planetarer Oberflächen hat gerade erst begonnen. Die Oberflächenprozesse auf planetaren Körpern sind äußerst vielfältig und reichen von Einschlagskratern über Vulkanismus und Tektonik zu allen Formen der Erosion und Sedimentation (z. B. Jaumann 2003). Darüber hinaus finden diese Prozesse sowohl im Gestein als auch im Eis unter unterschiedlichsten physikalischen Rahmenbedingungen statt. Zwar sind die für die Erde entwickelten Verfahren ein guter Leitfaden, um auch die planetaren Prozesse zu erkunden, sie müssen jedoch zum Teil erheblich für die planetaren Bedingungen angepasst werden. Um dies zu ermöglichen, hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Kooperation mit der Universität Potsdam (Institut für Geographie, Fachgruppe Geoinformatik, Prof. Dr. Asche), im Rahmen von Dissertationen und Forschungsvorhaben, in einem ersten Schritt kartographische Analyseverfahren für den Mars und die Asteroiden Ceres und Vesta entwickelt.

## AUFBAU EINES PLANETAREN INFORMATIONSSYSTEMS AUF BASIS VON ARCGIS

Die bisherigen Missionen ins Sonnensystem lieferten eine enorme Fülle an Informationen in unterschiedlichen Datenformaten und in Form von Bildern und Messergebnissen. Diese galt und gilt es zu strukturieren, zu verwalten, zu aktualisieren und zu interpretieren. Für die Interpretation terrestrischer Daten werden Geographische Informationssysteme (GIS) hinzugezogen, die jedoch für planetare Anwendungen aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen nicht ohne weiteres eingesetzt werden können. Daher wurde im Rahmen der Kooperation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Universität Potsdam die für die Verwaltung von geographischen Daten der Erdfernerkundung kommerziell erhältliche Software ArcGIS Desktop (ESRI 2007) durch eigene Programme und Module für die Planetenforschung erweitert. Diese ermöglichen die Aufbereitung und den Import planetarer Bild- und Textinformation in die Software. Zusätzlich wurde eine planetare Datenbank zur Speicherung und Verwaltung der Informationen aufgebaut. Die entwickelten Softwarekomponenten ermöglichen eine schnelle und benutzerfreundliche Aufbereitung der in der Datenbank gehaltenen Informationen und das Auslesen in Dateiformate, die für geographische Informationssysteme geeignet sind (Saiger 2007). Die Entwicklung einer Werkzeugsammlung für ArcGIS hat die Verarbeitung planetarer Datensätze beträchtlich beschleunigt und vereinfacht (Saiger 2007). Diese Werkzeuge beinhalten auch Module zur wissenschaftlichen Interpretation der planetaren Informationen, wie beispielsweise der Berechnung der Oberflächen-

raugigkeit des Mars inklusive der flächendeckenden Kalibrierung der Eingangs-Basisdaten. Besondere Bedeutung kam der auf ArcGIS basierenden Prozesskette zur Berechnung von hierarchischen Flussnetzen zu. Anhand eines terrestrischen Beispiels, der Analyse eines Abflusssystems auf Island, konnte gezeigt werden, dass eine sehr große Übereinstimmung der errechneten Gewässernetze mit den morphologischen Gegebenheiten vor Ort besteht (Abb. 1).

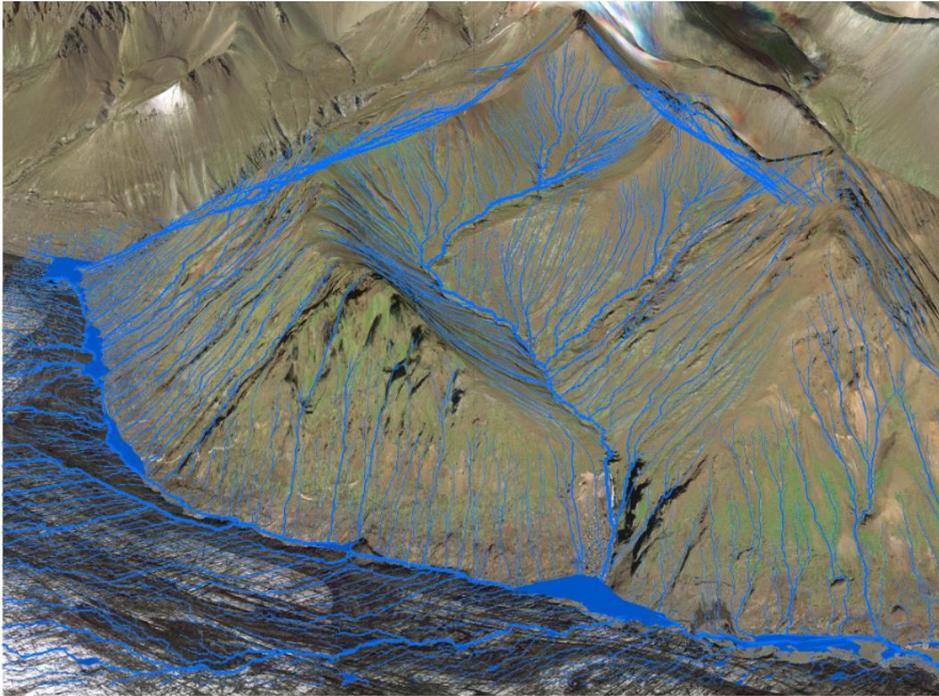


Abb. 1: Darstellung der automatischen Gewässernetzkartierung Skeidarasandur, Island, auf Basis eines Digitalen Geländemodells (Saiger 2007).

Auf Basis dieser automationsgestützten Gewässernetzerkennung konnte der Ansatz zur Ableitung der potentiellen Gewässernetze auf dem Mars erarbeitet werden.

Um automatisch erzeugte Flussnetze auf Basis von HRSC-Aufnahmen (Jaumann et al. 2007) des Mars zu bekommen, wurde auf der Grundlage hochauflösender Geländemodelle und Farbinformationen mittels ArcGIS das potentielle Gewässernetz manuell kartiert (Abb. 2A und B) (Saiger 2007).

Im Anschluss werden automatische Gewässernetze (Abb. 2C) generiert. Für die automatisch erzeugten Gewässernetze werden mittels SQL-Abfragen Ausschlusskriterien angegeben. So bedeutet z. B. eine Abfrage *Strahler* > 4 (Strahler 1964), dass Strahler-klassifizierte Elemente kleiner der fünften Ordnungszahl ausgeschlossen werden. Dabei wird das Ergebnis der Verästelung der Gewässernetze umso weniger detailreich, je höher die Klassifikation der Ausschlusskriterien ist.

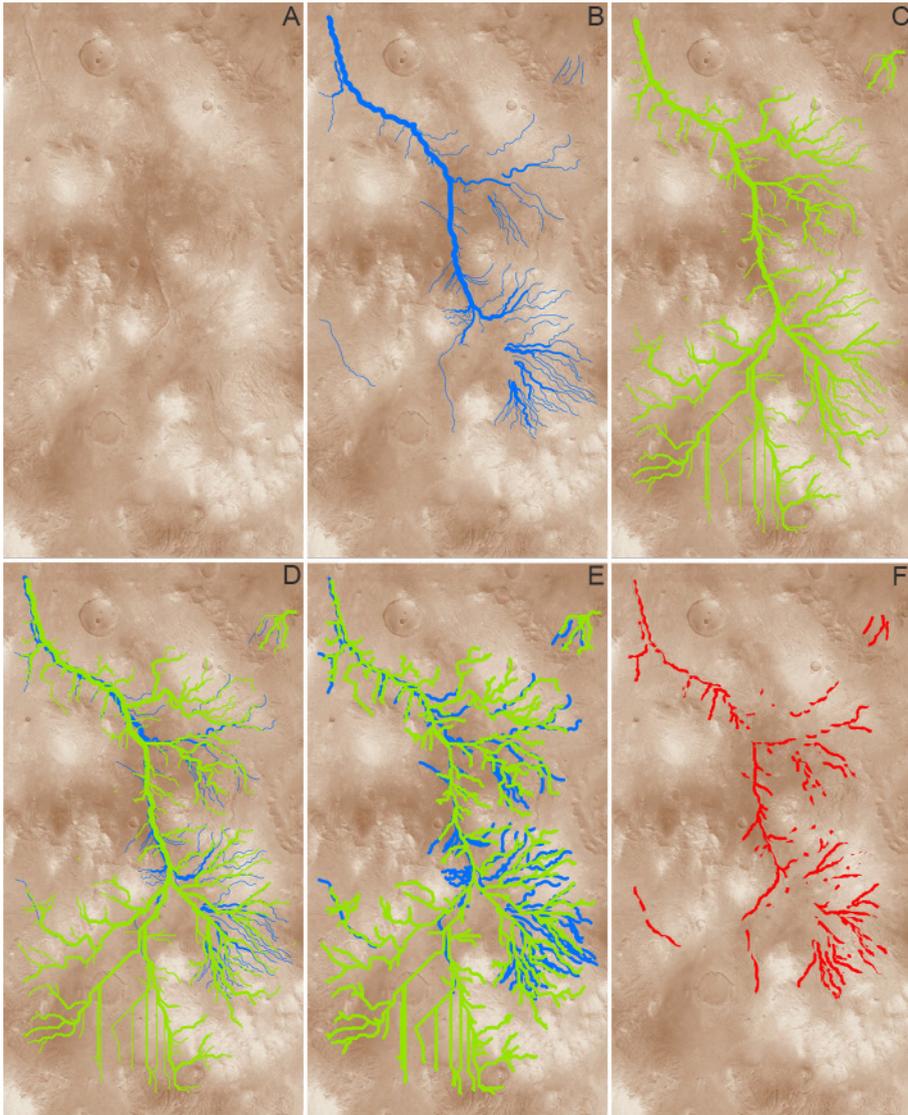


Abb. 2: Automatisch erzeugtes Gewässernetz, Lybia West, Mars (Saiger 2007).

Dadurch ist ein direkter visueller Vergleich zwischen automatisch erzeugten und manuell kartierten Gewässernetzen ersichtlich (Abb. 2D). Um die Genauigkeit quantitativ erfassen zu können, wird ein Puffer um die jeweiligen Linienelemente der Gewässernetze gelegt. Die Breite des Puffers wurde um das Zehnfache der Auflösung des zu Grunde liegenden Geländemodells gewählt. Im Anschluss werden die erzeugten Puffer für das kartierte und das generierte Gewässernetz digital übereinandergelegt (Abb. 2E) und miteinander verschritten (Abb. 2F). Letztlich

werden die Flächen für das kartierte und das generierte Gewässernetz und das Ergebnis der Schnittmenge, für den Abgleich der Datensätze, berechnet. Da sich hinter dieser gesamten Vorgehensweise die Frage verbirgt, welche Fläche des visuell kartierten Gewässernetzes mit der Fläche des automatisch generierten Gewässernetzes am stärksten übereinstimmt, wird der prozentuale Anteil der Verschneidungsfläche mit den jeweiligen kartierten Pufferflächen in Relation gesetzt. Dabei wird das kartierte Abflussnetz mit 100 % als Bezugsfläche für die Fläche der Schnittmenge genutzt, um den prozentualen Anteil der Überdeckung zu erhalten. Das Resultat in Prozent ist durch die Fläche der Schnittmenge, in Abhängigkeit des Detailgrades (*Strahler-Klassifizierung*), definiert.

Auf Grundlage dieser entwickelten Programme und Module lassen sich auch Daten zukünftiger Missionen aktualisieren, aufbereiten und verwalten und auf die Anforderungen neuer wissenschaftliche Fragestellungen anpassen und präsentieren.

## 2 PLANETARE ANALYSEWERKZEUGE AM ANWENDUNGSGEBIET VON KRATERN MIT ZERBROCHENEN BÖDEN AUF DEM MARS (PLANETARY MAPPING TOOLS APPLIED TO FLOOR-FRACTURED CRATERS ON MARS)

---

Planetenforschung umfasst oft zeitintensive Auswertungen der Daten, bei denen Expertise und Erfahrung eine wesentliche Rolle spielen. Aufgrund äußerst komplexer Datensätze sind Annahmen, Definitionen und Regeln zur Lösung oft nicht eindeutig festzulegen. Durch diese Tatsache werden Vergleiche unterschiedlicher Lösungsansätze oftmals erschwert und Ergebnisse verzerrt, da die Ausgangslage und Randbedingungen unterschiedlich definiert worden sind. Es ist daher notwendig, Standardmethoden zur Oberflächenanalyse zu entwickeln, die auf unterschiedliche Untersuchungsfragen angewendet werden, sodass im Folgenden eine gleichbleibende Qualität der Ergebnisse sichergestellt werden kann. Hierbei ist es wünschenswert, dass diese Methode ohne Vorwissen und Expertise im Bereich Informatik angewandt werden kann und die Ergebnisse in kurzer Zeit vorliegen. Außerdem sollten die Ergebnisse vergleichbar und nachvollziehbar

sein. Um dies zu erreichen, sind automatisch operierende Analysewerkzeuge ein sehr guter Ansatz.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und der Universität Potsdam ermöglichte es, solch Analysewerkzeuge zu entwickeln und an ausgewählten Kratern auf dem Mars zu testen. Durch die Expertise im Bereich der Planetengeologie seitens des DLR war es möglich die Randbedingungen und Schlüsselstrukturen der Krater zu definieren. Diese flossen in die logische und technische Umsetzung der Werkzeuge ein. Die Expertise der Universität Potsdam auf dem Gebiet der Geoinformatik und Datenbanksysteme hat maßgeblich zur erfolgreichen Implementierung und Analyse der Werkzeuge in ArcGIS geführt.

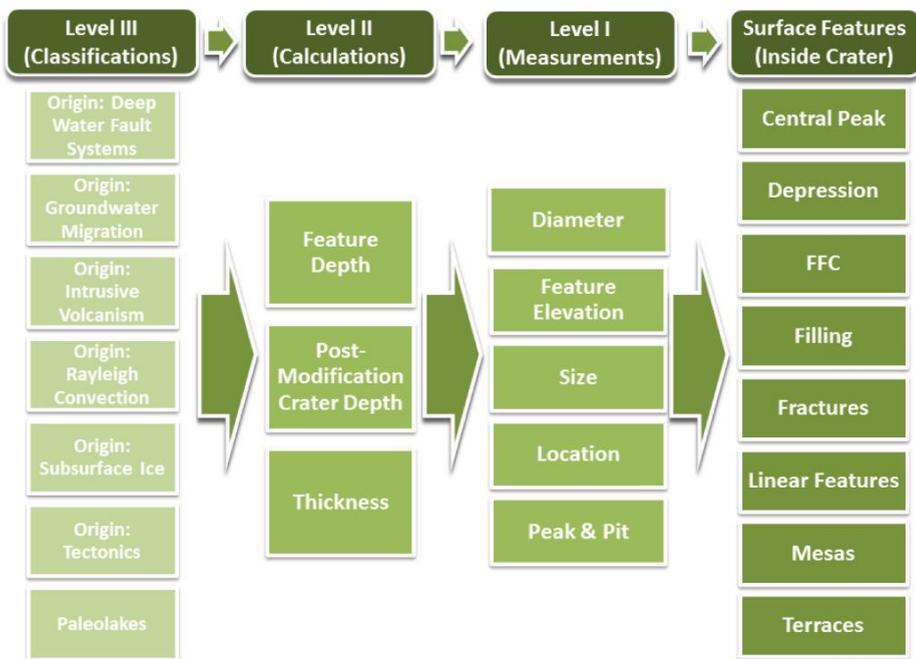


Abb. 3: Hierarchische Struktur zur Vermessung des Inneren von Einschlagskratern auf planetaren Oberflächen (Bamberg 2014).

Die Werkzeuge basieren auf vordefinierten, geowissenschaftlichen Techniken und umfassen Messungen, Berechnungen und Klassifikationen der zu untersuchenden Oberflächenstrukturen (Bamberg 2014). Für die Anwendung dieser Werkzeuge werden zum einen Schlüsselstrukturen und Randbedingungen definiert und zum anderen eine Datenbank angelegt, in der alle Oberflächenstrukturen, aber auch Informationen zu den Randbedingungen gespeichert sind. Durch den Einsatz der Werkzeuge ist es letztlich mit geringem Aufwand möglich, Datenbanken zu aktualisieren und sie auf verschiedenste Fragestellungen zu adaptieren (Abb. 3,

Abb. 4). Dies steigert die Flexibilität, Reproduzierbarkeit und auch Vergleichbarkeit der Untersuchung. Um eine gleichbleibend hohe Qualität der Untersuchung zu gewährleisten, muss sichergestellt werden, dass alle vordefinierten Bedingungen eindeutig sind und auf vorheriger Forschung basieren.

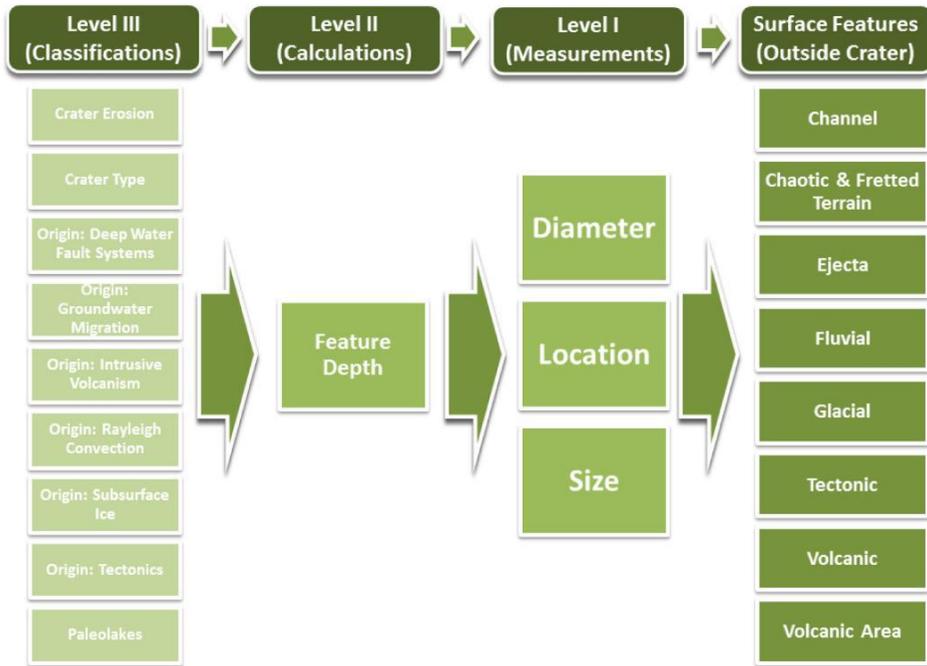


Abb. 4: Beispiele der Klassifikation geologischer Strukturen in Einschlagskratern auf dem Mars (Bamberg 2014).

Um diesen methodischen Ansatz zu testen, wurden Verfahren zur Vermessung dreidimensionaler Strukturen auf Einschlagskraterformationen auf dem Mars angewandt. Krater mit zerbrochenen Kraterböden (floor-fractured craters) sind in verschiedensten Regionen auf dem Mars zu finden, sie zeigen zahlreiche Oberflächenstrukturen und wurden durch unterschiedliche Prozesse geformt, was diesen geologisch und morphologischen Kratertyp zu einem geeigneten Testfall macht. 433 dieser Kratertypen wurden anhand ihrer geographischen Position, der Art des geologischen Umfeldes und der Strukturen im Kraterinneren erfasst und je nach Entstehungsprozess klassifiziert (Abb. 5). Durch die kombinierte Analyse dieser Informationen können Annahmen über die Prozesse, welche zum Zerbrecen des Kraterbodens geführt haben, abgeleitet werden.

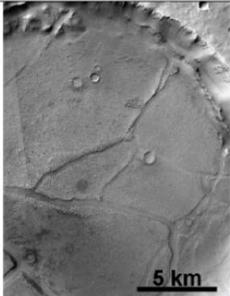
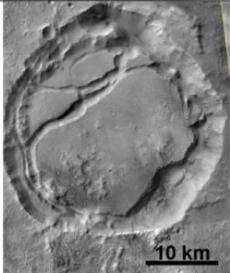
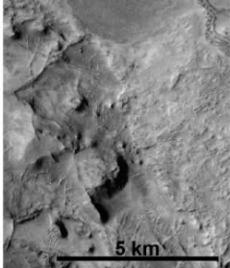
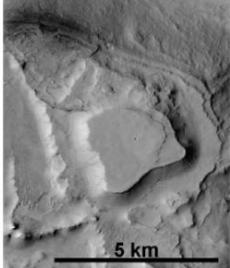
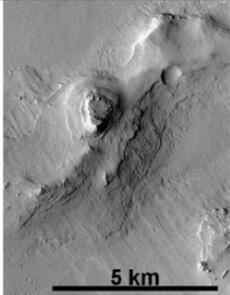
Feature	DB Name	Values	Source	Example
Filling	FILLED	0 - no 1 - yes	HRSC CTX	
Fractures	FRACTURING	0 - rim 1 - partial 2 - puzzle 3 - strong 4 - total	HRSC CTX	
Linear Features	LF	0 - no 1 - yes	CTX	
Mesas	MESAS	0 - no 1 - yes	HRSC CTX	
Terraces	TERRACES	0 - no 1 - yes	CTX	

Abb. 5: Einschlagskrater mit zerbrochenen Kraterböden auf dem Mars können in Bezug auf zugrundeliegende geologische Prozesse in 3 Klassen unterteilt werden (Bamberg 2014).

Diese Analysemethode liefert Wahrscheinlichkeitswerte für drei mögliche Entstehungsarten: 15 % der Marskrater mit zerbrochenen Kraterböden sind mit einer Wahrscheinlichkeit > 50 % durch Vulkanismus, 20 % durch Tektonik und 43 % durch Wasser- und Eis-bedingte Prozesse gebildet worden (Abb. 6). Insgesamt kann für 75 % des untersuchten Kratertyps ein potentieller Entstehungsprozess zugeordnet werden. Für 22 % der Krater ist eine Klassifizierung nicht möglich. Die Ursache hierfür ist eine Kombination von geologisch sehr ähnlichen Prozessen, die sich nicht separieren lassen bzw. durch Erosion stark überprägt wurden oder aber es liegt ein bisher nicht identifizierter Prozess vor.

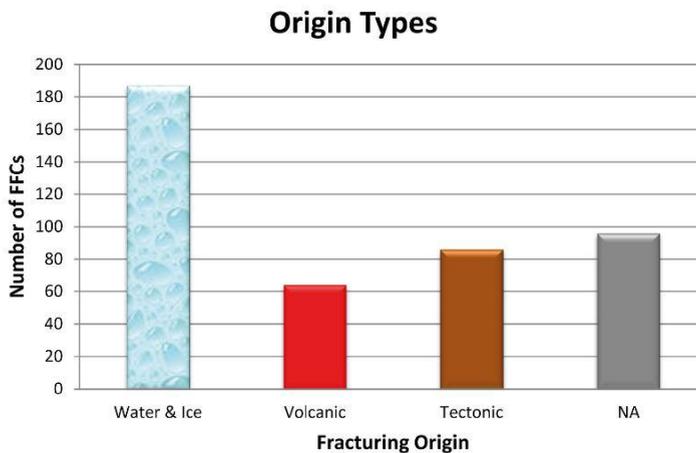


Abb. 6: Diagramm der Anwendungsszenarien, die den Kartierungsprozess im Rahmen der Planetaren Wissenschaften beschreibt (van Gasselt und Nass 2010).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass es möglich ist, planetare Oberflächenstrukturen quantitativ durch automatisch operierende Analyseverfahren zu erfassen und hinsichtlich einer definierten Fragestellung zu klassifizieren (Bamberg 2014).

# 3 KONZEPTION UND IMPLEMENTIERUNG EINES GIS-BASIERTEN KARTIERUNGSSYSTEMS FÜR DIE GEOWISSENSCHAFTLICHE PLANETENFORSCHUNG

---

Die Kartierung planetarer Körper stellt seit den 1960er Jahren ein wesentliches Mittel der raumfahrtgestützten Exploration der Himmelskörper dar. Hierbei werden hauptsächlich Fernerkundungsdaten interpretiert und zu Karten verarbeitet. Auf diese Weise entstanden bis heute mehrere 1000 publizierte thematische Karten von Himmelskörpern wie Mars, Mond und Venus. Erarbeitet wurden und werden diese Karten entweder im Rahmen systematischer Kartierungsprogramme, innerhalb projekt- und missionsgebundener Kartenreihen und –serien, oder in Form einzelner Arbeitskarten, die zur Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse dienen. Ein Merkmal dieser Kartierungsarbeiten ist, dass sie meist kollaborativ in internationalen Arbeitsgruppen und über große räumliche Distanzen erstellt werden (Abb. 7). Es ist daher notwendig, eine Prozesskette (Planetary Mapping System, PMS) zu konzipieren, mit dem Schwerpunkt geologische und geomorphologische Karten planetarer Oberflächen einheitlich durchführen zu können.

Aktuell kommen zur Erstellung der planetaren Karten Geoinformationssysteme zum Einsatz, die eine Erfassung, Analyse, Speicherung und Visualisierung raumbezogener Daten auf Datenbankbasis ermöglichen. Bei den ausführenden Wissenschaftlern handelt es sich um Fachwissenschaftler der Planetologie und artverwandter Disziplinen, die i. d. R. über eine eingeschränkte GIS-Praxis verfügen. Auch sind die GIS-internen Möglichkeiten zur qualitativ hochwertigen Aufbereitung im Sinne der kartographischen Visualisierung meist limitiert.

Das Planetary Mapping System soll es ermöglichen, derartige Kartierungen vergleichbar und nachhaltig nutzbar zu gestalten. Es ist erforderlich, die Kartierungsergebnisse zu homogenisieren, d. h. einheitlich zu erarbeiten, abzubilden, zu verwalten, zu archivieren und Abfragen zuzulassen, um so eine Weiterführung und Reproduktion der Kartendaten zu ermöglichen. Hierfür ist ein Prozessfluss erforderlich, der die einzelnen GIS-basierten Arbeitsschritte unter Berücksichtigung internationaler Standards umfasst. Das entwickelte Planetary Mapping System enthält die technisch-administrativen sowie die kartographischen Basisaufgaben der planetaren Kartierung. Obwohl der Schwerpunkt auf der visuellen Aufarbeitung der GIS-basierten Kartenendprodukte liegt, die kartographische Gestaltung in

GIS jedoch hauptsächlich durch die Datenbeschreibung und -struktur beeinflusst wird, setzt das Planetary Mapping System bereits bei der Datenakquisition an. Die Konzeption ist darauf ausgerichtet, das im GIS bereitgestellte Methodeninventar zu nutzen, um ein Struktur-Modell für die Ansprüche planetarer Kartierungen zu erzeugen. Inhaltlich weist das Konzept Parallelen zu allgemeingültigen Visualisierungsprozessen auf. In Form einer Visualisierungspipeline wird eine logische, d. h. funktionale und informationstechnische Umsetzung der einzelnen Schritte beschrieben, um die verfügbaren Daten zielorientiert visualisieren zu können.

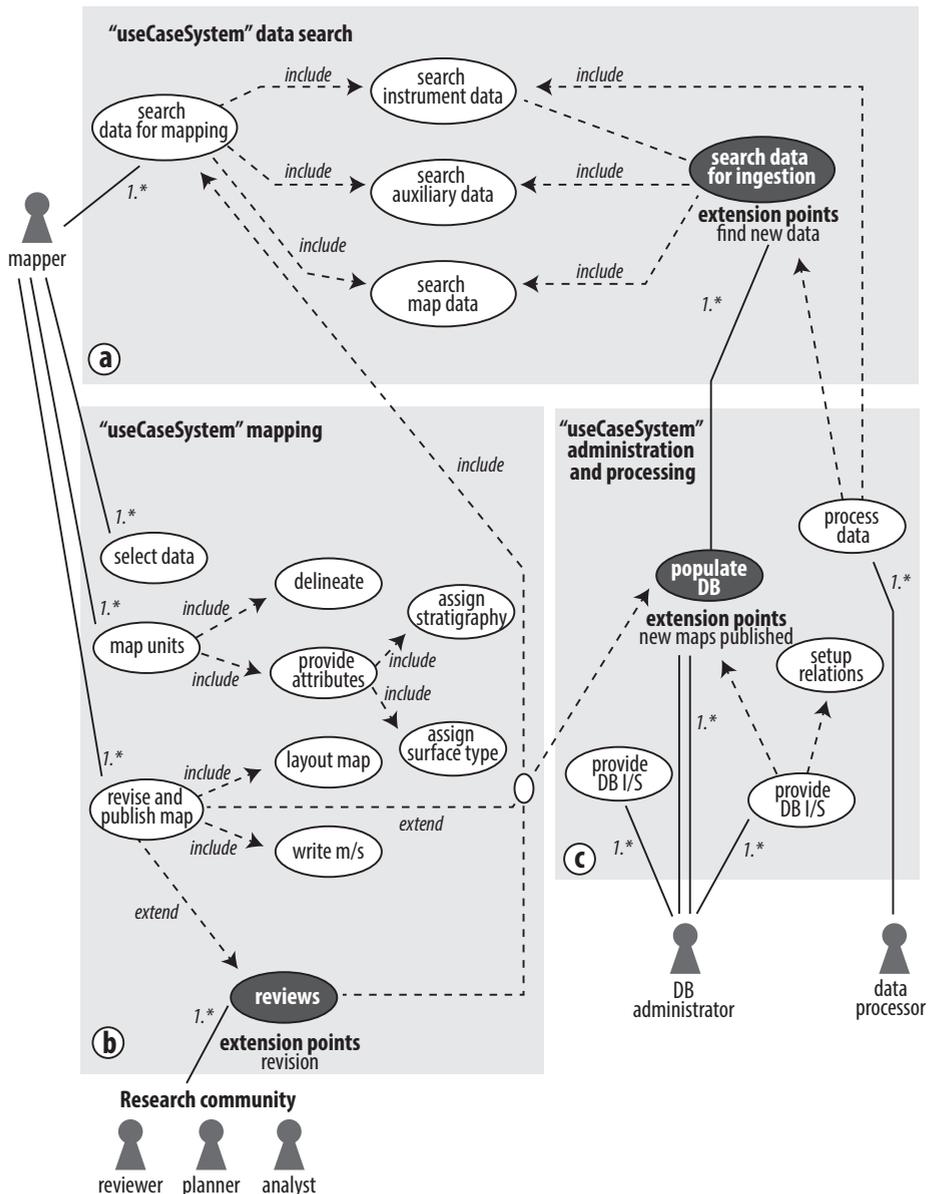


Abb. 7: Diagramm der Anwendungsszenarien, die den Kartierungsprozess im Rahmen der Planetaren Wissenschaften beschreibt (van Gasselt und Nass 2010).

Das PMS ist ein softwaregestütztes GIS-integriertes Konzept und System, das aus einzelnen Modulen zusammengesetzt ist. Der Fokus der Modulentwicklung liegt darauf, dass einzelne Module (1) alleinehend operationell einsetzbar, (2) weitestgehend unabhängig von der physikalischen Implementierung und (3) intuitiv bedienbar sind (Abb. 8).

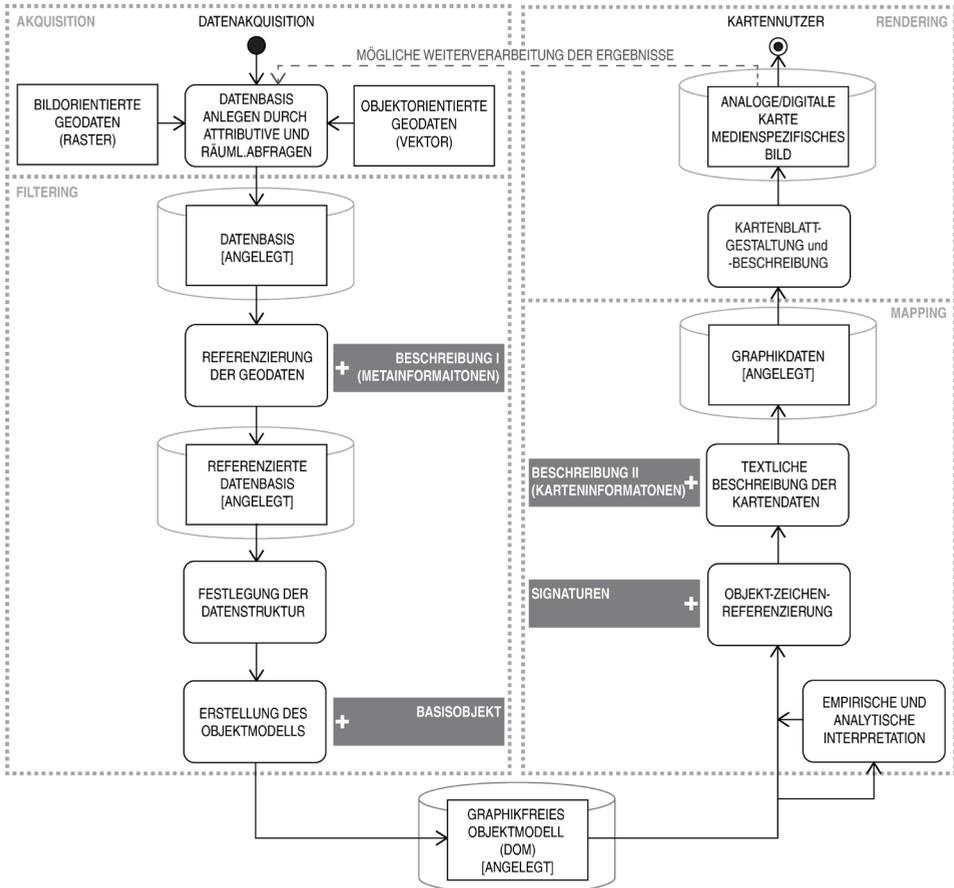


Abb. 8: Prozessfluss (basierend auf Carpendale 2003; Schumann 2004) einer digitalen Kartierung planetarer Oberflächen mit geologisch-geomorphologischem Fokus (abgerundete Kästen stehen für Ergebnisdaten, Kästen stehen für Prozesse) inklusive der Einbindung der Module Beschreibungskatalog, Basisobjekt und Signaturen (dunkelgraue Kästen) (Nass 2013).

Nach der detaillierten Skizzierung des Kartierungsprozesses wurden Module entwickelt, welche die Erreichung der zuvor definierten Ziele unterstützen sollen. Diese werden als Beschreibungs-, Basisobjekt- und Signaturenkatalog bezeichnet und setzen an den verschiedenen Stellen der Prozesskette an, an denen die wis-

senschaftlichen Interpretationsergebnisse textlich, geometrisch und graphisch festgelegt werden.

Mit Hilfe dieser Module wird dem kartierenden Wissenschaftler eine Umgebung bereitgestellt, die es erlaubt, kartographische Basisaufgaben ohne technische Detailkenntnisse zu erfüllen. Ergänzt wird dies durch ein Regelwerk zur planetaren Kartierung. Die Zusammenstellung dieser Regeln ergänzt existierende Richtlinien und gibt dem Fachwissenschaftler so einen Leitfaden für die GIS-basierte Erstellung planetarer, geologischer und geomorphologischer Karten (Abb. 9).

[...]

3. Im Vergleich zur analogen Kartenerstellung liefert die GIS-basierte Generierung digitaler Karten durch die Datenstrukturierung in einer Geodatenbank das Potential, die Objekt- und Kartenebenen durch Attribute zu explizieren. Für eine Objekt-Attributierung dieser Art sollten etablierte, international verständliche Bezeichnungen gewählt werden, sodass die Daten für zukünftige (Karten-)Nutzer verständlich, die digitalen Kartierungs- und Projektdaten weiter verwendbar und für zukünftige übergreifende Projekte zusammenführbar sind.

4. Wenn vorhanden und möglich, sollten standardisierte Signaturen verwendet werden. Für die Darstellung qualitativer und/oder quantitativer Daten oder zur Generierung neuer Symbole ist die Verwendung der vorgefertigten Template-Signaturen angeraten, um die attributive Objektbeschreibung und Einbindung in das Datenmodell problemlos zu ermöglichen. Als Vorlage dient hier bis zur vollständigen Implementierung des PMS die analoge Version des Standardwerk DCSDM (FGDC 2006) und der Signaturen-Style Planetary Geological Symbol (Nass 2010).

5. Die Anordnung der planetaren Objekte in Form der Darstellungsschichten unterliegt derselben Abfolge wie ihr Vorkommen in der Realität. Daher ist darauf zu achten, dass Linien- in Punktsignaturen nicht durch Flächensignaturen (im Sinne der geologischen Einheit) überlagert werden. Werden thematische Analysewerte als Flächen hinzugefügt, und die Darstellung der einzelnen Oberflächenobjekte und -strukturen in den Hintergrund gerückt, können die Flächen die Linien- und Punktsignaturen der Oberflächenobjekte überlagern.

[...]

Abb. 9: Auszug aus dem Regelwerk zur GIS-basierten planetaren Kartierungen (Nass 2013).

Die Bedeutung des Planetary Mapping System-Konzeptes liegt in der Effizienz der Verwaltung, Visualisierung und Wiederverwendung der digitalen Kartendaten. Im Detail bedeutet dies, (1) die digital erstellten wissenschaftlichen Ergebniskartierungen werden so auf ähnlich effiziente Art verwaltet, wie die analogen Vorläufer-Karten oder die Primärdaten der Bild-/Sensordatenkataloge. (2) Die digitalen Kartendaten werden durch eine eindeutige attribut-gesteuerte Objektstruktur, teilautomatisierte Objekt-Zeichen-Referenzierung und eine zusätzliche Datenbeschreibung erstmalig formalisiert. Daraus ergibt sich eine inhaltlich und graphisch vergleichbare Gestaltung und strukturierte Archivierung der Kartendaten. Darüber hinaus wird (3) eine optimale Ausgangsbasis geschaffen, um einen

vereinfachten Datenaustausch zwischen den einzelnen Nutzern und unterschiedlichen Softwaresystemen zu etablieren. Für das Ziel, Wissen zu extrahieren und auf bestehende Erkenntnisse aufzubauen, ist eine nachhaltige Datenarchivierung die elementare Voraussetzung. Die erste Adaption des Planetary Mapping System-Konzepts wird gegenwärtig für Kartierungsprojekte im Rahmen der NASA DAWN-Mission angewendet. Dabei wurden geologische Karten des Asteroiden Vesta erstellt (Abb. 10).

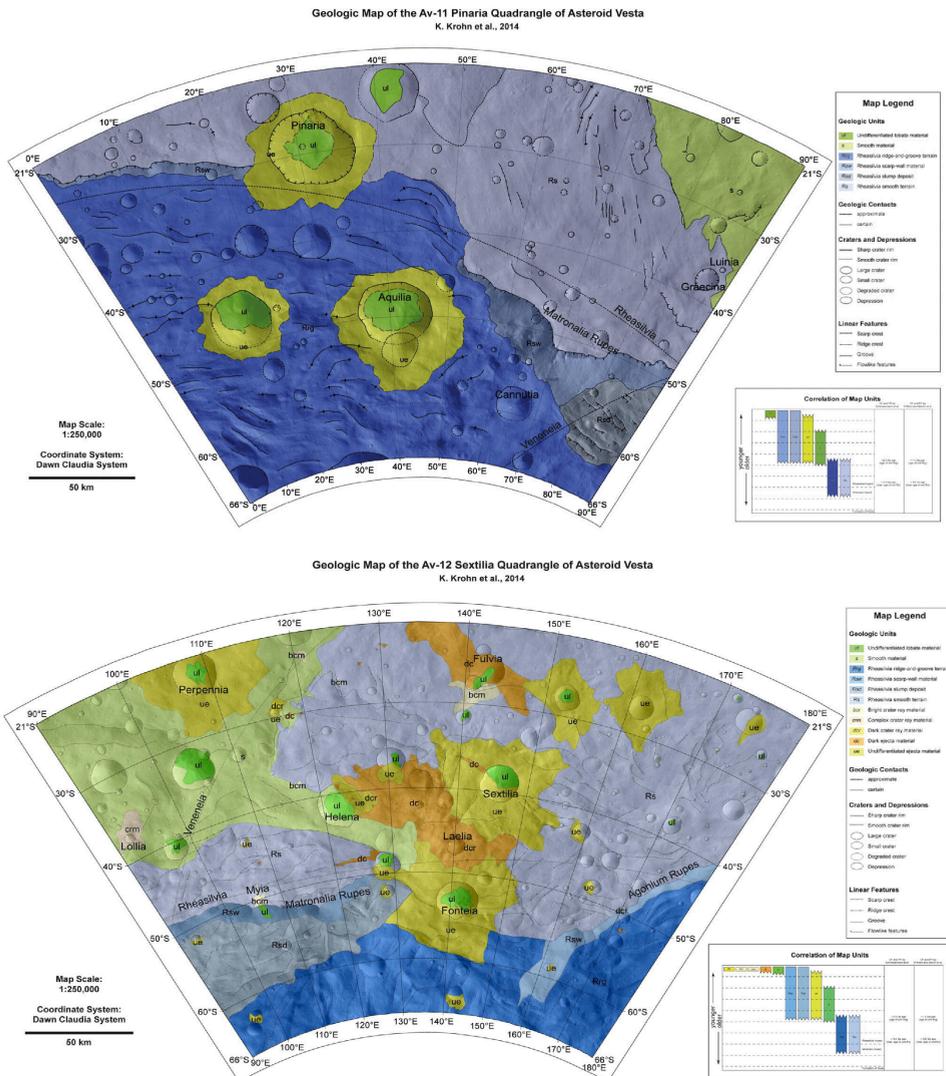


Abb. 10: Geologische Kartenblätter des Ausschnitts Pinaria (oben) und Sextilia (unten), die im Rahmen der DAWN Mission und dem hier initiierten Kartierungsprojekt im Rahmen des PMS (Nass 2013) entstanden sind (Krohn et al. 2014).

Die kartographische Erfassung planetarer Oberflächen ist die Grundlage einer systematischen Untersuchung von planetaren Oberflächen. Eine notwendige Voraussetzung, um wichtige Fragen zur Bildung der Planeten, Monde und kleinen Körper beantworten zu können. Das Institut für Geographie, Fachgruppe Geoinformatik der Universität Potsdam hat hier, unter Leitung von Prof. Dr. Ashe, mit kartographischen Analyseverfahren für den Mars und den Asteroiden Vesta Pionierarbeit geleistet.

# LITERATUR

---

- BAMBERG, M. (2014): Planetary mapping tools applied to floor-fractured craters on Mars. Dissertation, Universität Potsdam, Institut für Geographie (abrufbar unter URL: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/index/index/docId/7006>).
- CARPENDALE, M. S. T. (2003): Considering Visual Variables as a Basis for Information Visualization. Research report 2001-693-16, Department of Computer Science, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
- ESRI (2007): The Geographic Information System. (abrufbar unter URL: <http://www.esri.com/>)
- FGDC (2006): Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization. Federal Geographic Data Committee prepared by the U.S. Geological Survey (FGDC-STD-013-2006).
- KANT, I. (1755): Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt. Petersen, Königsberg und Leipzig.
- LAPLACE, P.-S. (1796): Exposition du système du monde. Erstausgabe in zwei Bänden, Paris.
- JAUMANN, R. (2003): Die Erosionsmorphologie des Mars: Genese, Verteilung und Stratigraphie von Erosionsformen und deren klimatische Bedeutung. Habilitationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Geowissenschaften.
- JAUMANN, R.; NEUKUM, G.; BEHNKE, T.; DUXBURY, T. C.; EICHENTOPF, K.; FLOHRER, J.; VAN GASSELT, S.; GIESE, B.; GWINNER, K.; HAUBER, E.; HOFFMANN, H.; HOFFMEISTER, A.; KÖHLER, U.; MATZ, K. D.; MCCORD, T. B.; MERTENS, V.; OBERST, J.; PISCHEL, R.; REISS, D.; RESS, E.; ROATSCH, T.; SAIGER, P.; SCHOLTEN, F.; SCHWARZ, G.; STEPHAN, K.; WÄHLISCH, M.; and Team (2007): The high-resolution stereo camera (HRSC) experiment on Mars Express: Instrument aspects and experiment conduct from interplanetary cruise through nominal mission. In: Planetary and Space Science, Vol. 55, pp. 928–952, DOI:10.1016/j.pss.2006.12003.

- KROHN, K.; JAUMANN, R.; OTTO, K.; HOOGENBOOM, R.; WAGNER, R.; BUCZKOWSKI, D. L.; GARRY, B.; WILLIAMS, D. A.; YINGST, R. A.; SCULLY, J.; DE SANSTIS, M. C.; KNEISSL, T.; SCHMEDEMANN, N.; KERSTEN, E.; STEPHAN, K.; MATZ, K.-D.; PIETERS, C. M.; PREUSKER, F.; ROATSCH, T.; SCHENK, P.; RUSSEL, C. T.; RAYMOND, C. A. (2014): Mass movement on Vesta at steep scarps and crater rims. In: *Icarus*, Vol. 244, pp. 120–132, DOI:10.1016/j.icarus.2014.03.013.
- NASS, A.; VAN GASSELT, S.; JAUMANN, R. AND ASCHE, H. (2011): Implementation of cartographic symbols for planetary mapping in geographic information systems. In: *Planetary and Space Science (PSS)*, Vol. 59, Special Issue: Planetary Mapping, Elsevier Ltd., pp. 1255–1264, DOI:10.1016/j.pss.2010.08.022.
- NASS, A. (2013): Konzeption und Implementierung eines GIS-basierten Kartierungssystems für die geowissenschaftliche Planetenforschung. Dissertation, Universität Potsdam, Institut für Geographie (abrufbar unter URL: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/index/index/docId/6302>).
- SAIGER, P. (2007): Entwicklung, Implementierung und Zertifizierung eines planetaren Informationssystems auf Basis von ArcGIS. Dissertation, Universität Potsdam, Institut für Geographie (abrufbar unter URL: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/index/index/docId/1230>).
- SCHUMANN H. UND MÜLLER, W. (2000): Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- STRAHLER, A. N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. McGraw Hill, New York.
- VAN GASSELT, S.; NASS, A. (2010): Planetary mapping: The datamodel's perspective and GIS framework. In: *Planetary and Space Science (PSS)*, Vol. 59, Special Issue: Planetary Mapping, Elsevier Ltd., pp. 1231–1242, DOI:10.1016/j.pss.2010.09.012.