

## Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten

HARTMUT LEHMANN, STEPHAN GEHRKE, JÖRG ALBERTZ, MARITA WÄHLISCH, Berlin;  
GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** cartography, Mars, HRSC, cartography, topographic maps, image maps, thematic maps

**Zusammenfassung:** Die Herstellung von Karten der Marsoberfläche ist eines der Ziele des Kameratelexperiments *HRSC on Mars Express*. Als kartographisches Hauptprodukt ist die *Topographic Image Map Mars 1:200 000* definiert worden. Es ist das erste großmaßstäbige Kartenwerk, das den Planeten Mars systematisch erfasst. Die Blätter werden aus DGMs und farbigen Orthobildmosaiken abgeleitet. Dieser Beitrag beschreibt die kartographischen Grundlagen und die wichtigsten Aspekte der Kartengestaltung. Außerdem wird ein Beispiel für eine thematische Kartierung auf der Grundlage von Bildkarten gezeigt.

**Summary:** *Topographic and thematic maps of Mars in large scales.* The generation of maps is one of the primary objectives of the experiment *HRSC on Mars Express*. As the main product the *Topographic Image Map Mars 1:200 000* has been defined. This is the first program for mapping the planet Mars systematically in large scale. The map sheets are derived from DTMs and ortho-image mosaics in color. This paper describes the cartographic principles and the most important aspects of the cartographic design. Furthermore a thematic map is presented which shows geological interpretation results displayed on the background of an image map.

---

### 1 Einleitung

Die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) liefert multispektrale, hoch auflösende Bild-daten des Planeten Mars in systematischer Stereoabdeckung, die für die photogrammetrische Auswertung sowie für kartographische Anwendungen prädestiniert sind (ALBERTZ et al. 2005).

Wichtige Vorarbeiten zur kartographischen Nutzung der HRSC-Daten wurden bereits während der Vorbereitung der gescheiterten Mission *Mars'96* geleistet. Eine internationale Arbeitsgruppe hatte sich intensiv mit der Gestaltung eines neuen großmaßstäbigen Kartenwerks befasst, das auch die Grundlage für die künftige Marsforschung bilden sollte. Als Ergebnis wurde die *Topographic Image Map Mars 1:200,000* definiert (LEHMANN et al. 1997). Das Grundkonzept für das neue Mars-Kartenwerk ist

nach wie vor gültig, es wurde aufgrund neuer Erkenntnisse – z. B. Definitionen der Referenzsysteme – aktualisiert. Im Folgenden werden die Grundlagen zur Gestaltung der topographischen und thematischen Karten erläutert.

### 2 Das kartographische Konzept

Die kartographischen Grundlagen für das Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* werden hier zusammenfassend beschrieben. Weitere Details sind z. B. von GEHRKE et al. (2003) und ALBERTZ et al. (2004) veröffentlicht worden.

#### 2.1 Bezugssysteme

Die Lagekoordinaten auf dem Mars beziehen sich auf ein Rotationsellipsoid, welches im Massenzentrum gelagert ist. Laut Defi-

nition durch die *Internationale Astronomische Union* (IAU) beträgt die Länge der äquatorialen Halbachse 3396,19 km, die der polaren Halbachse 3376,20 km (SEIDELMANN et al. 2004). Entsprechend den internationalen Festlegungen bilden planetozentrische Breiten in Kombination mit östlich positiv gezählten Längen das laterale Referenzsystem auf der Marsoberfläche. Als Längenbezug dient der durch den Krater Airy-0 festgelegte Meridian.

Für den Höhenbezug auf dem Mars ist eine Äquipotentialfläche des Schwerefeldes, das so genannte Areoid, definiert (SEIDELMANN et al. 2004).

## 2.2 Kartenmaßstab

Bei der Wahl des Maßstabes wurde berücksichtigt, dass die früheren Karten kleinerer und mittlerer Maßstäbe durch ein großmaßstäbiges Kartenwerk ergänzt werden, das die aus den HRSC-Bilddaten zu gewinnenden Geländemodelle und Orthobilder im Maßstab 1:200 000 in optimaler Weise wiedergibt.

## 2.3 Kartenprojektionen

Während bei den meisten der in kleineren Maßstäben erstellten Karten konforme Projektionen – Mercator, Lambertsche Kegelprojektion bzw. Stereographische Projektion – Anwendung fanden, wurden für die *Topographic Image Map Mars 1:200 000* flächentreue Abbildungen gewählt. Der größte Teil der Planetenoberfläche, der Bereich zwischen 85° nördlicher und 85° südlicher Breite, wird in der *Simusoidalprojektion* kartiert. Die polnahen Gebiete werden in der *Flächentreuen Lambertschen Azimutalprojektion* wiedergegeben. Dabei wird jedes Kartenblatt auf einen eigenen, in der Blattmitte liegenden Meridian bezogen. Aufgrund dieser individuellen Projektionsparameter treten in dem großen Maßstab lediglich marginale Verzerrungen auf.

## 2.4 Blattschnitt

Jedes Kartenblatt deckt in der Breite 2° ab. Die Längenausdehnung in Grad nimmt zu

den Polen hin zu, wird also schrittweise der Meridiankonvergenz angepasst. Deshalb wächst sie von 2° am Äquator bis 360° an den Polen. Durch diese Festlegungen werden alle Karten ungefähr gleich groß. Insgesamt wird die Marsoberfläche in 10 372 einzelne Kartenblätter eingeteilt.

Diese Definitionen sind so gewählt, dass das Blattschnittsystem auch die Basis für weitere Kartenprodukte bilden kann. Karten der Maßstäbe 1:100 000 und 1:50 000 lassen sich – ähnlich wie im System der amtlichen topographischen Kartenwerke in Deutschland – aus dem Maßstab 1:200 000 systematisch ableiten. Bei Bedarf können nach den gleichen Abbildungsgesetzen auch Kartenblätter ausgewählter Regionen oder anderer Maßstäbe erstellt werden. Dank dieser Flexibilität wird das moderne Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* auch die Grundlage für die zukünftige Marskartographie bilden.

## 3 Karteninhalte und Layout

Im Folgenden werden die Inhalte eines Kartenblattes kurz beschrieben. Sämtliche Komponenten können mit dem Softwarepaket PIMap automatisch generiert werden (GEHRKE et al. 2005).

### 3.1 Bilddaten

Die Basis der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* sind Bilddaten der Marsoberfläche, d. h. farbige Orthobildmosaiken, die durch das HSRC Co-Investigator Team aus den Bilddaten abgeleitet werden (SCHOLTEN et al. 2005). Für die Einbindung als Kartengrundlage werden die Bilddaten dem Blattschnitt entsprechend zugeschnitten und – falls erforderlich – umprojiziert.

### 3.2 Höhenlinien

Die im Rahmen des Projektes berechneten DGMs der Mars-Oberfläche stehen als Rasterdaten zur Verfügung (SCHOLTEN et al. 2005). Daraus werden durch Interpolation die gewünschten Höhenlinien abgeleitet. Die zweckmäßige Äquidistanz wird nach

dem Kartenmaßstab und der Reliefenergie des jeweiligen Gebietes so gewählt, dass ein aussagekräftiges Höhenlinienbild entsteht. In Anlehnung an amtliche topographische Kartenwerke in Deutschland werden die Höhenlinien so beschriftet, dass Höhenzahlen mit dem Fuß talwärts gerichtet sind. Um bei geschlossenen Formen Senken von Bergkuppen unterscheiden zu können, werden entsprechende Linien mit einem Kesselpfeil versehen (vgl. Abb. 4 in GEHRKE et al. 2005).

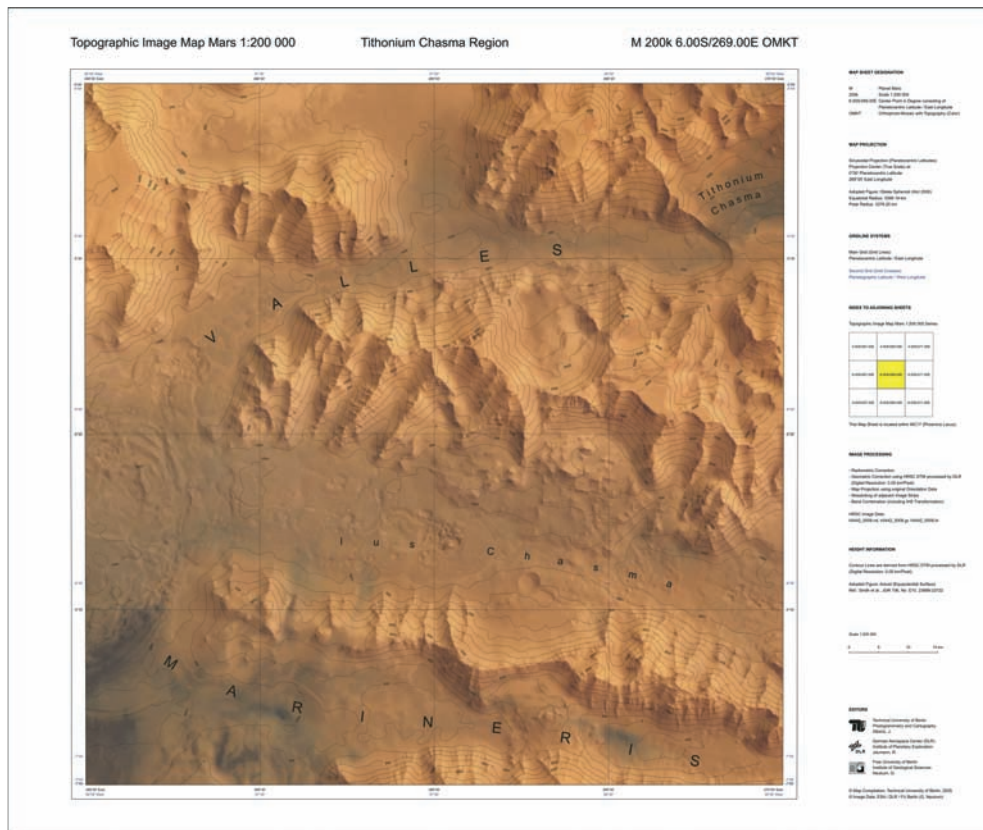
### 3.3 Gitternetze

Da für den Blattschnitt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* die planetozentrischen Breiten und östlichen Längen maßgebend sind, bilden diese Größen auch das Hauptgitternetz in den Kartenblättern. Sie werden als Gitterlinien im Abstand von  $0,5^\circ$

wiedergegeben (in Polnähe werden die Meridiane wegen ihrer Konvergenz ausgedünnt). Zusätzlich werden planetographische Breiten in Kombination mit westlichen Längen angegeben, welche vor 2003 für Marskarten benutzt wurden. Dieses zweite Gitternetz wird dezent in Form von farbigen Gitterkreuzen und Randstrichen markiert. Die Darstellung beider Gitternetze zur leichteren Zuordnung früherer Koordinatangaben aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist in der Mars-Kartographie üblich.

### 3.4 Nomenklatur

Die Nomenklatur für geologische und morphologische Einheiten auf dem Mars wird durch die IAU geregelt. Bis heute sind mehr als 1500 Oberflächenformen in 24 verschie-



**Abb. 1:** Ein Beispiel für die *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, das Blatt »M 200k 6.00S/269.00E OMKT, Tithonium Chasma Region«.

denen Kategorien (Krater, Täler, usw.) benannt. Ein vollständiger, aktueller Datensatz wird vom *United States Geological Survey* (USGS 2005) bereitgestellt. Darüber hinaus enthalten die Karten besondere Signaturen, z. B. Landeplätze einschließlich der Missionsnamen und -daten.

### 3.4 Kartenrandangaben

Die einzelnen Blätter des Kartenwerkes werden oben mit einem Index versehen, zu dem der Kartentyp, die Blattbezeichnung bzw. -nummer sowie ein eindeutiger topographischer Name gehören.

In der Planetenkartographie folgt man allgemein den *Map Sheet Designation Codes* nach GREELEY & BATSON (1990). Eine solche Kennung für ein Kartenblatt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* besteht aus vier Elementen, die den Planeten, den Maßstab, das Blattzentrum und den Kartentyp beschreiben (vgl. Abb. 1). Falls vorhanden, werden die Kartenblätter zusätzlich mit dem Namen einer abgebildeten Oberflächenform versehen.

Innerhalb der Legende werden die grundlegenden Eigenschaften sowie Karteninhalte erläutert. Im Einzelnen betrifft dies die Parameter der Kartenprojektion, des Referenzellipsoids, des Areoids (Höhenbezug) sowie die Gradnetze als Repräsentation der beiden lateralen Referenzsysteme des Mars. Weiterhin werden Informationen zu den verwendeten Bilddaten und Geländemodellen gegeben. Eine Nebenkarte gibt die Lage des Kartenfeldes in Bezug zum Standardkartenwerk an.

## 4 Topographische Karten aus Mars Express Daten

Nach verschiedenen Versuchen, bei denen noch Bilddaten anderer Missionen verwendet werden mussten, konnten schon bald nach der Aufnahme der ersten HRSC-Daten und ihrer Prozessierung durch das DLR im Januar 2004 einige topographische Bildkarten der Marsoberfläche generiert werden. Dabei handelte es sich um Sonderblätter auf der Grundlage des Kartenwerkes *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, deren

Lage an die jeweiligen Bildstreifen angepasst wurde (ALBERTZ et al. 2004).

Aufgrund der Aufnahmekonfigurationen der HRSC auf Mars Express ist für die vollständige Abdeckung eines Kartenblattes im Maßstab 1:200 000 – bei 2° bzw. etwa 120 km Längenausdehnung – die Breite eines Bildstreifens in der Regel nicht ausreichend; es sind also Mosaikbildungen benachbarter Streifen erforderlich. Mit der fortschreitenden Erfassung der Mars-Oberfläche liegen zunehmend Überlappungsgebiete vor, so dass bereits wenige Monate nach Missions-Beginn erste Orthobildmosaik und zugehörige DGMS als Ausgangsdaten für vollständige Kartenblätter prozessiert werden konnten. Auf Basis dieser Daten wurden inzwischen mehrere Blätter im Regelblattschnitt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* generiert. So ist beispielsweise das geologisch interessante Talssystem Mangala Valles durch mehrere Kartenblätter abgedeckt.

## 5 Erste Thematische Karten

Die Analyse der HRSC-Bilddaten durch verschiedene Arbeitsgruppen innerhalb des HRSC Co-Investigator Teams führt zu einer Vielzahl neuer Erkenntnisse und zu beeindruckenden Interpretationsergebnissen, welche in Form von thematischen Karten geeignet dokumentiert werden können.

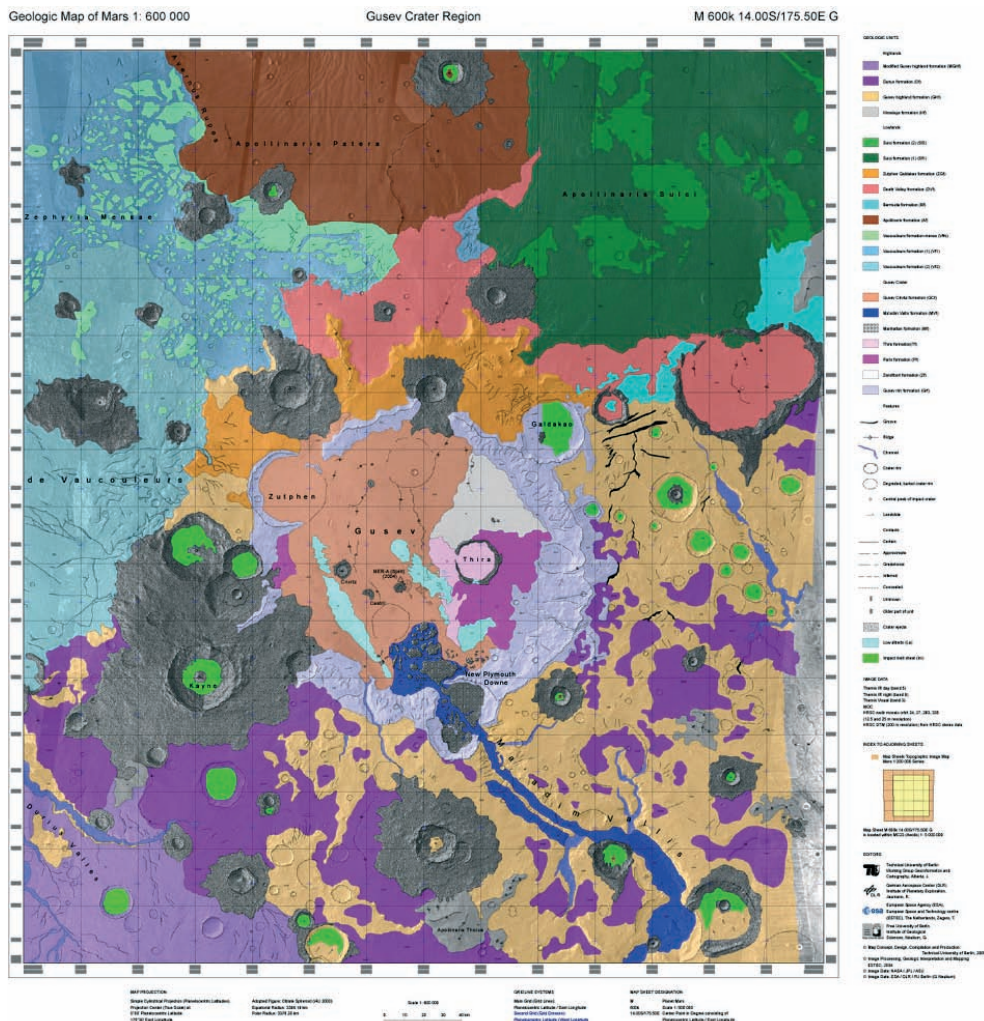
Thematische Kartenprodukte werden auf der Grundlage topographischer Basiskarten erstellt, z. B. an Hand des Kartenwerkes *Topographic Image Map Mars 1:200 000* oder individuell angefertigter Sonderkarten interessanter Zielgebiete. Dabei müssen die thematischen Informationen – bestehend aus linearen Vektordaten (Grenz-, Form-, Struktur- oder Isolinien), flächenbasierten Raster- oder Vektordaten (z. B. geologische Formationen) und Signaturen – harmonisch in die topographische Basis integriert werden. Die Kombination derartiger heterogener Inhalte stellt nach wie vor eine Herausforderung in der Kartengestaltung dar. In Abhängigkeit von der Struktur der thematischen Daten ist zu entscheiden, in welcher

Weise die topographischen Informationen wiedergegeben werden, ob beispielsweise Höhenlinien integriert werden und/oder in welcher Form die Bilddaten der Mars-Oberfläche als Kartengrundlage dienen. Die Gestaltung und Herstellung thematischer Karten ist ein individueller Prozess ist, der von dem jeweiligen Bearbeitungsgebiet und insbesondere von der Art der darzustellenden Thematik abhängig ist.

Während die notwendige topographische Basiskarte mit dem Softwaresystem PIMap generiert werden kann, ist die Integration

thematischer Daten nur zu einem geringen Teil automatisierbar. Üblicherweise nutzen die Wissenschaftler des HRSC Co-Investigator Teams topographische Karten für ihre Interpretationen, d. h. die Daten werden interaktiv aus der digital vorliegenden Basiskarte abgeleitet.

Abb. 2 zeigt als Beispiel eine geologische Karte des Kraters Gusev und seiner Umgebung im Sondermaßstab 1:600.000. In diesem Krater liegt der Landeplatz des amerikanischen *Mars Exploration Rovers Spirit*. Da das untersuchte Gebiet noch nicht voll-



**Abb. 2:** Beispiel für eine u. a. auch aus HRSC-Daten abgeleitete thematische Karte (Geologische Karte der Gusev Crater Region, erstellt in Zusammenarbeit mit Dr. TANJA ZEGERS).

ständig durch die HRSC abgedeckt ist, wurden die geologischen Daten aus HRSC-Bildern und Daten anderer Missionen abgeleitet. Die geologischen Analysen wurden am *European Space Research and Technology Center* (ESTEC) der ESA in Noordwijk/Niederlande durchgeführt und von ZEGERS et al. (2005) präsentiert. Die Konzeption, Gestaltung und Herstellung der thematischen Karte »*Geologic Map of Mars 1:600 000, M 600k 14.00S/175.50E G, Gusev Crater Region*« erfolgte an der TU Berlin. Die topographische Basis ist dabei mit der Software PIMap erstellt worden.

## 6 Ausblick

Mit der Konzeption des neuen Kartenwerks *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, der Entwicklung des Software-Paketes PIMap und der Erarbeitung der ersten topographischen und thematischen Karten sind entscheidende Schritte für die großmaßstäbige Kartierung des Planeten Mars getan worden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse und Erfahrungen werden systematisch weitere qualitativ hochwertige Karten generiert, um dem zunehmenden Bedarf – sowohl innerhalb des HSRC Co-Investigator Teams als auch für die Planung zukünftiger Mars-Missionen – nachzukommen. Topographische Karten können dabei nahezu vollautomatisch generiert werden. Die eigentliche Hauptarbeit für die flächendeckende Kartierung muss jedoch erst noch geleistet werden.

## Dank

Das Projekt wird durch das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* aus Mitteln des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung* gefördert. Die Autoren danken dem HRSC-Team, insbesondere Frau Dr. TANJA ZEGERS (ESTEC) für die konstruktive Zusammenarbeit.

## Literatur

- ALBERTZ, J., GEHRKE, S., WÄHLISCH, M., LEHMANN, H. et al., 2004: Digital Cartography with HRSC on MarsExpress. – IAPRS, Vol. XXXV, (B4): 869–874, Istanbul.
- ALBERTZ, J. et al., 2005: HRSC – Die 'High Resolution Stereo Camera' auf Mars Express. – PFG **2005** (5): 361–364.
- GEHRKE, S. et al., 2003: Cartography with HRSC on Mars Express – The New Series 'Topographic Image Map Mars 1:200,000'. – Publikationen der DGPF 12: 451–458.
- GEHRKE, S. et al., 2005: Das kartographische Softwarepaket »Planetary Image Mapper« (PI-Map) – PFG **2005** (5): 417–422.
- GREELEY, R. & BATSON, R. M., 1990: Planetary Mapping. – 296 p., Cambridge University Press, Cambridge.
- LEHMANN, H., SCHOLTEN, F., ALBERTZ, J., WÄHLISCH, M. & NEUKUM, G., 1996: Mapping a Whole Planet – The New Topographic Image Map Series 1:200,000 for Planet Mars. – Proceedings 18th International Cartographic Conference, Stockholm 1997, Vol. 3, S. 1471–1478.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 365–372.
- SEIDELMANN, P. K. et al., 2004: Report of the IAU/IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2003. – Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy; im Druck.
- USGS, 2005: Gazetteer of Planetary Nomenclature. – <http://planetarynames.wr.usgs.gov> (27. 5. 2005).
- ZEGERS, T. E. et al., 2005: Mountainous Units in the Martian Gusev Highland Region: Volcanic, Tectonic, or Impact related. – Lunar and Planetary Science Conference, XXXVI, Paper 1651.

## Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. HARTMUT LEHMANN

Dipl.-Ing. STEPHAN GEHRKE

Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ

Technische Universität Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, Sekr. H 12  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
hartmut/stephan/albertz@fpk.tu-berlin.de

Dipl.-Phys. MARITA WÄHLISCH

Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Rutherfordstr. 2  
D-12489 Berlin  
e-mail: Marita.Waehlich@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstr. 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005