

Das »Topographische Mars Informationssystem« (TMIS) – Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten

PETER DORNINGER, Wien, GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

Keywords: photogrammetry, information system, web services, XML, digital terrain model, High Resolution Stereo Camera, Mars

Zusammenfassung: Das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* dient der Verwaltung und Verteilung von HRSC Originalbild- und daraus abgeleiteter Bild- und Geländemodelldaten. Im Rahmen der Entwicklung von TMIS wurde die Dissertation "*A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data*" verfasst. In dieser Arbeit werden zunächst Konzepte zur Modellierung und Verwaltung räumlicher Daten unter Berücksichtigung vorhandener Standards und Normen diskutiert. Die Möglichkeiten *Extensible Markup Language (XML)* basierter Formate für Datenhaltung und Datenaustausch raumbezogener Daten sowie deren kartographische Aufbereitung zur Darstellung im Internet werden im Detail untersucht. Derzeitig verfügbare Implementierungen von *Web Map Services (WMS)* liefern meist statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objektbasierte Ausgabeformate wie z.B. *Scalable Vector Graphics (SVG)* unterstützt werden. An Hand einer kartenbasierten Benutzerschnittstelle für TMIS wurden die Möglichkeiten von SVG eingehend untersucht. Abschließend wird in der Arbeit der Implementierungsstand von TMIS im Frühjahr 2004 als Anwendungsbeispiel der beschriebenen Methoden gezeigt. Der folgende Artikel stellt wesentliche Erkenntnisse zusammenfassend dar.

Summary: The »*Topographic Mars Information System*« (TMIS) – Concept and realization of a system for management of planet-wide data. TMIS is used for management and distribution of HRSC original and derived image data and topographic data. In the course of the development of TMIS, the dissertation '*A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data*' has been written. First, concepts for modelling and management of spatial data, considering existing standards and norms are discussed in this thesis. The capabilities of concepts for data management and exchange based on *Extensible Markup Language (XML)* and their applicability for cartographic visualization and presentation on the internet are investigated in detail. Currently available implementations of *Web Map Services (WMS)* mainly provide static representations, although the specification of WMS would support object-based presentation formats such as *Scalable Vector Graphics (SVG)* as well. During the development of a map-based interface for TMIS, the capabilities of SVG have been investigated. Finally, the status of implementation of TMIS is described as an application of the discussed concepts. The following article summarizes main results of this work.

1 Einleitung

In der Vorbereitung von *Mars Express (MEX)* wurde am *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.)* der *Technischen Universität Wien* das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* entwickelt. Mittlerweile werden etwa 1.500 GB an Bilddaten mit TMIS verwaltet und den beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung

gestellt. Mittlerweile werden etwa 1.500 GB an Bilddaten mit TMIS verwaltet und den beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung

gestellt. Abgeleitete Produkte wie digitale Geländemodelle oder Orthophotos werden ebenfalls verwaltet. TMIS stellt somit die zentrale Datendrehscheibe innerhalb der Projektgruppe „HRSC on Mars Express“ dar. Der Betrieb des Systems erfolgt am I.P.F. sowie am *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Planetenforschung*, in Berlin.

Im Rahmen dieser Entwicklung wurde eine Dissertation verfasst (DORNINGER 2004). Im ersten Teil der Arbeit werden allgemeine Konzepte zur Modellierung und Präsentation raumbezogener Daten diskutiert und der Entwicklungsstand des TMIS im Frühjahr 2004 aufgezeigt. Ausgewählte Ergebnisse sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Im zweiten Teil der Dissertation werden Methoden zur Bearbeitung und Analyse topographischer Marsdaten untersucht. Da diese Untersuchungen durchgeführt wurden, bevor MEX Daten lieferte, basieren sie auf Topographiedaten, welche vom *Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)* (<http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>), einem Instrument an Bord von *Mars Global Surveyor (MGS)* (<http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>), erfasst wurden. Die Ergebnisse wurden bereits publiziert (DORNINGER et al. 2004, DORNINGER 2005) und werden im folgenden Artikel nicht näher beschrieben.

2 Datenbankmodelle für raumbezogene Daten

Seit nunmehr 15 Jahren befasst man sich am I.P.F. mit *Topographischen Informationssystemen (TIS)*. Derartige raumbezogene Informationssysteme verwalten digitale Daten und Modelle der natürlichen und künstlichen Topographie in einem Maßstabsbereich von 1:2.500 bis 1:100.000 (KRAUS 2000). Das TIS *TopDB* wurde von LOITSCH & MOLNAR (1991) präsentiert. Es handelt sich dabei um eine relationale Datenbank mit zusätzlichen Datentypen und Funktionen für topologische Relationen. Es stellt somit eine topologisch-relationale Datenbank dar. Das System, erweitert um die Datenbankapplikation *TopDM (Topographic*

Data Management) (HOCHSTÖGER 1996), wurde bislang zur Verwaltung landesweiter Topographiedaten eingesetzt. Das *Topographische Marsinformationssystem (TMIS)* ist eine Multiuser-Webapplikation für die Verwaltung, Verteilung, Analyse und Visualisierung planetenweiter Topographiedaten in Verbindung mit Bildinformation. Es integriert die Funktionalitäten von TopDB und TopDM.

Im Rahmen der Dissertation wurden verschiedene Datenbankmodelle zur Verwaltung raumbezogener Daten untersucht. Raumbezogene Daten stellen komplexe Objekte mit einer Vielzahl an Eigenschaften (Attributen) dar. Daher würden sich prinzipiell semantische wie auch objekt-orientierte Modelle (OO) auszeichnen, um derartige Daten zu modellieren. Allerdings haben derzeit verfügbare Implementierungen dieser Methode große Defizite. So gibt es beispielsweise keine standardisierte Abfragesprache, und die Trennung zwischen Datenbank-Managementssystem und Anwendung ist unscharf. Objekt-relationale Modelle (OR) stellen einen Kompromiss zwischen den Vorzügen rein objekt-orientierter und der bewährten relationalen Modelle dar. Diese dominieren derzeit den kommerziellen Markt und bieten somit die gewünschte Zuverlässigkeit. OR-Modelle stellen Konzepte von OO-Ansätzen, eingebettet in rein relationale Umgebungen, zur Verfügung. Dies sind beispielsweise abstrakte Datentypen, Objektidentifikatoren, Definition von Hierarchien, Definition von Methoden und Funktionen und vieles mehr. HEUER & SAAKE (2000) geben einen Überblick und kategorisieren kommerzielle OR-Systeme entsprechend der implementierten OR-Methoden. TMIS basiert auf der Datenbank Oracle (<http://www.oracle.com>), welches OR-Konzepte implementiert.

3 Extensible Markup Language zur Repräsentation raumbezogener Daten

Die *Extensible Markup Language (XML)* ist eine strukturierte, semantische Sprache und ermöglicht so, Daten gemeinsam mit

beschreibender Information (Metainformation) semi-strukturiert zu verwalten. Die Anwendung von XML als Metasprache erlaubt die Definition von Anwendungsschemata (XML-Schema), welche definieren, wie ein schemakonformes Dokument aufgebaut sein muss. Im Folgenden werden zwei ausgewählte XML-Anwendungen für Verwaltung und Visualisierung raumbezogener Daten vorgestellt:

- Geography Markup Language (GML)
- Scalable Vector Graphics (SVG)

3.1 Geography Markup Language

TMIS unterscheidet zwei Gruppen raumbezogener Daten: *Originaldaten* und *abgeleitete Produkte*. Originaldaten sind Messergebnisse, beispielsweise aus Bild- oder Laserscanning-Daten erstellt, und liegen typischerweise in Vektorform (Punkte, Linien, Polylinien, ...) vor. Solche Daten werden mit Hilfe des in Abschnitt 2 beschriebenen erweiterten topologisch-relationalen Modells verwaltet. Das zugehörige textbasierte Datenaustauschformat ist WINPUT. Dieses Format ermöglicht die Zuweisung eines Objektcodes zu jedem Punkt. Digitale Geländemodelle (DGMs) sind typische Repräsen-

tanzen von abgeleiteten Produkten. Neben rein punktbasierten DGMs (z. B. Gitter, Raster, Knoten von Triangulierungen) unterstützt TMIS ein so genanntes hybrides Geländemodell. D.h. neben einem regelmäßigen Gitter, abgeleitet aus den Originalpunkten, können auch zusätzliche Vektorinformationen, welche markante, topographische Strukturen definieren (z. B. Bruchlinien, Punkte mit horizontaler Tangentialebene, ...), verwaltet werden.

Die *Geography Markup Language (GML)* ist eine XML-Anwendung für Speicherung und Austausch raumbezogener Daten in Form von Geometrie und attributiver Information. Der aktuelle Standard GML 3 unterstützt komplexe 3D-Objekte, 2D-Topologien, Objekte zur Oberflächenbeschreibung (Gitter) und vieles mehr (Cox et al. 2003). Auf Grund der Integration von Zusatz- (Attribut) und Syntaxinformation (Tags) benötigen lesbare (plain-text) GML-Dokumente in der Regel mehr Speicherkapazität als rein geometriebasierte Formate (z. B. WINPUT, XYZ). Tab. 1 und 2 zeigen die Dateigrößen eines ausgewählten Testdatensatzes, welcher in ein GML-konformes Dokument konvertiert wurde. Der Testdatensatz (photogrammetrische Auswertung) enthält 55.801 Punkte. 16.140 Punkte davon modellieren topologisch zusammenhängende Objekte (Polylinien). Die restlichen Punkte wurden gitterweise erfasst (Gitterweite: 50 m). Die Daten liegen im WINPUT-Format vor. Aus diesen Originaldaten wurde ein DTM mit einer Gitterweite von 25 m abgeleitet. Die binäre DTM-Datei wurde in ein WINPUT-Dokument und in ein GML-Dokument konvertiert. Das WINPUT-DTM ist in diesem Fall größer als die GML-Datei,

Tab. 1: Platzbedarf von Originaldaten bei unterschiedlicher Speicherung.

	Dateigröße (Byte)			
	<i>Original</i>	<i>Bzip2</i>	<i>Gzip</i>	<i>XMill</i>
<i>WINPUT</i>	2.567.260	346.363	477.789	–
<i>GML</i>	4.744.025	335.141	503.808	440.327

Tab. 2: Platzbedarf von abgeleiteten Produkten bei unterschiedlicher Speicherung.

	Dateigröße (Byte)						
	<i>Original</i>		<i>Bzip2</i>		<i>Gzip</i>		<i>XMill</i>
	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>
<i>DTM</i>	6.014.086	680.744	731.686	556.998	1.072.813	587.446	–
<i>GML</i>	2.046.373	–	439.641	–	625.936	–	619.146

da für jeden Höhenwert das gesamte Koordinatentripel gespeichert werden musste. GML hingegen unterstützt ein Gitter-Objekt. Deshalb müssen nur Ursprung, Ausdehnung und Gitterweite sowie die Höhenwerte der Gitterpunkte gespeichert werden.

Diese Dateien wurden mit verschiedenen Komprimierungsalgorithmen komprimiert, wobei zwei Open-Source-Lösungen, Bzip2 (<http://sources.redhat.com/bzip2/>) und Gzip (<http://www.gzip.org>), sowie eine eigens für XML-Dokumente implementierte Lösung, XMill (<http://sourceforge.net/projects/xmill>), verwendet wurden. Die erzielten Kompressionsraten sind etwa identisch (zw. 81 % und 93 %). Bzip2 (optimiert zur Kompression von Bilddaten) ist jedoch etwa um den Faktor 10 langsamer als die beiden anderen Kompressoren. Weitere Ergebnisse beschreibt DORNINGER (2004).

Wie bereits angedeutet, sind die GML konformen Dokumente größer. Für nichtzeit-kritische Anforderungen (z. B. Archivierung, Datenaustausch, ...) lässt sich der erhöhte Platzbedarf durch die Anwendung geeigneter Kompressionsverfahren stark reduzieren.

3.2 Scalable Vector Graphics

Scalable Vector Graphics (SVG) ist eine standardisierte XML-Anwendung für Speicherung, Austausch und insbesondere Web-Präsentation raumbezogener Daten (FERRAIOLO et al. 2003). Obwohl in der Bezeichnung „Vektor“ enthalten ist, unterscheidet SVG drei unterschiedliche Objekttypen: *Vektordaten*, *Rasterbilder* und *Text*. Im Gegensatz zu GML ist SVG auf 2D-Datenrepräsentation beschränkt. Gemäß der Definition von XML-Schemas kann das SVG-Schema zwar um die Repräsentation der dritten Dimension erweitert werden, allerdings können Standardapplikationen (z. B. SVG-Viewer) diese Information nicht korrekt interpretieren. DORNINGER (2004) gibt dennoch ein Beispiel zur 2,5D Erweiterung von SVG. Er demonstriert dieses Konzept an Hand eines „DTM Analyse Tools“.

SVGs können *on-the-fly*, beispielsweise durch Zugriff auf eine Datenbank, generiert werden. Für das TMIS wurde ein SVG-konformes, kartenbasiertes Benutzerinterface zur Abfrage von HRSC Bildern realisiert, das automatisch aus TMIS-Daten generiert wird (Abb. 1). Die Navigation ist vollständig im SVG-Dokument integriert. Vorteile einer derartigen objektbasierten Realisie-

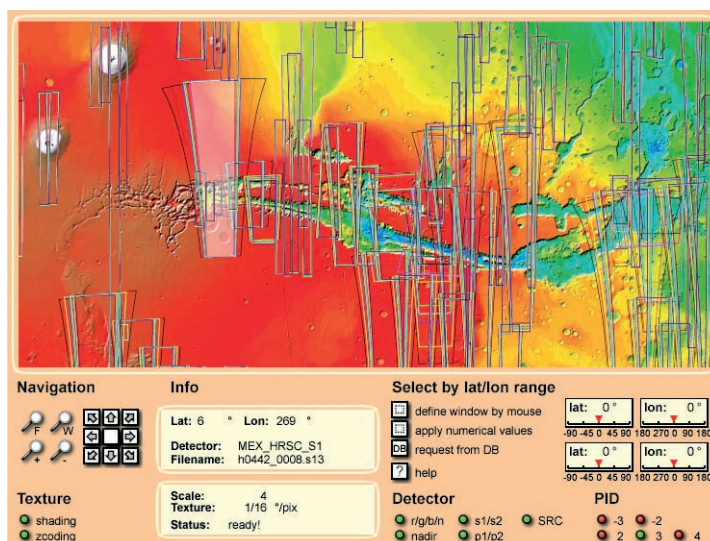


Abb. 1: SVG-basiertes Benutzerinterface von TMIS.

rung gegenüber statischer, rein bildbasierter Web Services sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

4 Web Services

KREGER (2001) definiert einen Web Service als „*Interface, welches eine Sammlung von Funktionen beschreibt, die über ein Netzwerk mittels standardisierter XML-Messages zugänglich sind*“. Auf diese Weise können Funktionen verteilter Applikationen zusammengefasst und in Form neuer Services zur Verfügung gestellt werden. Um dies gewährleisten zu können, ist es notwendig, im Rahmen der Realisierung eines Services auf die strikte Trennung von *Datenspeicherung*, *Datenzugriff und Manipulation* und *Datenpräsentation* zu achten. DOYLE & CUTHBERT (1998) definieren hierfür ein „*essential model of interactive portrayal*“ und weisen den einzelnen Stufen entsprechende Web Service Definitionen (<http://www.opengeospatial.org/>) zu.

Um räumliche Daten in einem Web-Browser zu präsentieren, werden häufig *Web Map Services (WMSs)* implementiert. Die meisten derzeit verfügbaren Implementierungen von WMSs liefern statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objektbasierte Ausgabeformate wie z. B. *Scalable Vector Graphics*

(*SVG*) unterstützt werden. Tab. 3 listet grundlegende Unterschiede von objekt- und bildbasierten Realisierungen auf.

5 Realisierung von TMIS

Das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* basiert auf den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Konzepten zur Modellierung raumbezogener Daten. Abb. 2 zeigt die Architektur von TMIS als Blockdiagramm. Entsprechend einer 3-Schicht-Architektur erfolgt eine Unterteilung in Datenverwaltung, Zugriff und Präsentation. Die Pfeile zwischen den einzelnen Komponenten symbolisieren unterschiedliche Abfrageszenarien. *User 1* fragt nach Metadaten (grün), *User 2* lädt Bilder vom Bildarchiv (hellblau) und *User 3* ordert topographische Daten (dunkelblau).

Die Datenverwaltung unterscheidet zwei Arten von Daten: Den *Metadaten-Katalog (MDK)* und den *Topographiedaten-Server (TDS)*. Der MDK stellt attributive Information zu den von TMIS verwalteten HRSC-Bildern zur Verfügung. An Hand dieser Attribute können einzelne Bilder bzw. Bildverbände vom Filearchiv, welches aus organisatorischen und sicherheitstechnischen Gründen am DLR betrieben wird, geordert werden. Der TDS implementiert das WMS-Interface. Allerdings werden nicht

Tab. 3: Gegenüberstellung von objekt- und bildbasierten Web Map Services.

	objektbasiert	bildbasiert
<i>Interaktivität</i>	client & serverseitig	serverseitig
<i>Skalierbarkeit</i>	clientseitig (ggf. serverseitige Pyramidenstruktur)	serverseitig
<i>Serveranfragen</i>	wenige	viele
<i>Dateigrößen</i>	abhängig von der Anzahl der Objekte und von der Auflösung der Rasterinformation	abhängig von Bildauflösung
<i>Client-Software</i>	Plug-in	keine
<i>Server-Hardware</i>	kleiner als bei bildbasiert	fat Server
<i>Integration externer WMSs</i>	client- und serverseitig: – <i>bildbasiert</i> : leicht realisierbar – <i>objektbasiert</i> : Probleme bei komplexer Dokumentstruktur	<i>clientseitig</i> : als Overlay <i>serverseitig</i> : direkt integrierbar

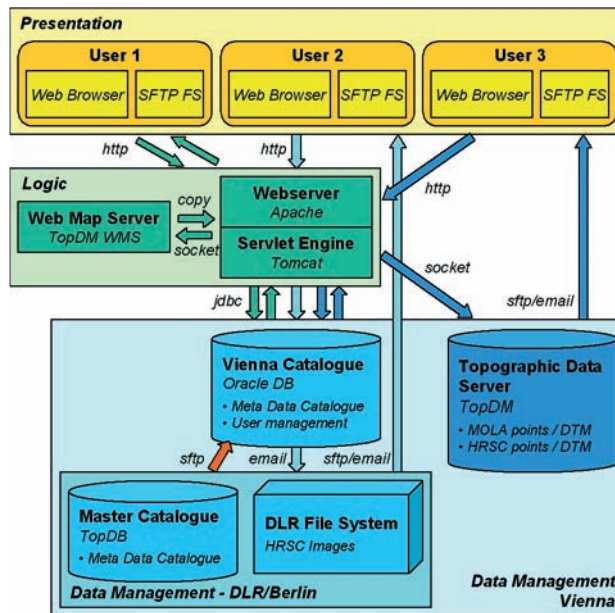


Abb. 2: Architektur des Topographischen Marsinformationssystems.

Bilder, sondern Topographiedaten (Original- oder DGM-Daten) aus vordefinierten Datenbeständen (HRSC, MOLA) erstellt und übertragen.

Die offene Definition der Schnittstellen ermöglicht überdies, WMS-konforme externe Applikationen in den TMIS-Service einzubinden. So kann jede batch-kompatible Software integriert werden. Dadurch können beispielsweise vom TDS abgefragte Originaldaten der Geländemodellsoftware SCOP++ (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/products/>) übergeben und bearbeitet werden. Das Ergebnis wird anschließend zum User übertragen.

Zur Darstellung der Footprints (Umfahrungspolygone) der verwalteten HRSC-Bilder wurde eine kartenbasierte Benutzerschnittstelle realisiert. Wie in Abschnitt 3 beschrieben, wurden zwei unterschiedliche Technologien implementiert: Ein statischer, bildbasierter Web Map Service sowie eine dynamische, SVG-basierte Lösung. Eine Gegenüberstellung der beiden Lösungen wurde in Abschnitt 4 gegeben.

6 Zusammenfassung

Standardkonforme Web Services und darauf aufbauende Web Applikationen bieten neue Möglichkeiten im Bereich der Softwareentwicklung. An Stelle einer universellen, Stand-Alone-Softwarelösung können so individuell angepasste, modular aufgebaute Applikationen realisiert werden. Unterstützt wird diese Entwicklung auch durch den derzeitigen Boom von Open-Source (OS) Projekten (<http://www.opensource.org/>). OS Lösungen setzen meist auf offenen, standardisierten Schnittstellen auf und können somit einfach miteinander verknüpft werden.

Obwohl TMIS zum Teil auf proprietären Softwarelösungen aufbaut, wurde versucht die Richtlinien für standardisierte Web Services einzuhalten. Dies bietet nun einerseits die Möglichkeit, das System modular um weitere Funktionen zu erweitern, andererseits können so externe Services integriert werden.

Zur Zeit werden etwa 1.500 GB an Bild-daten mit TMIS verwaltet und den am Pro-

jekt *HRSC on Mars Express* beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt. Nach mittlerweile zwei Jahren operationellem Betrieb ist die Entwicklungsarbeit am TMIS weitgehend abgeschlossen, und es gilt den Betrieb zu sichern. Die aktuellen, mars-relevanten Forschungstätigkeiten am I.P.F. liegen im Bereich der Geländemodellierung aus HRSC-Objektpunkten. ATTWENGER et al. (2005) beschreiben erste Ergebnisse.

Danksagung

Die Finanzierung der Projektbeteiligung erfolgte in der Vorbereitungszeit der Mission (2001 bis Dez. 2003) durch das *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* unter der GZ 190.174/2-V/B/10/2000. Seither wird das I.P.F. durch die Österreichische ForschungsförderungsgesmbH (FFG) (vormals: Austrian Space Agency, ASA) finanziert (DOK.-Nr.: ASAP-CO-005/04). Der Autor möchte sich auch bei den Verwaltern der Hinterlassenschaft Herrn Prof. NEUMAIERS bedanken, da er im Zeitraum von 2001 bis 2003 durch ein Stipendium aus dieser Stiftung unterstützt wurde.

Literaturverzeichnis

- ATTWENGER, M. et al., 2005: Klassifikation von HRSC Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 395–402.
- COX, S., DAISEY, P., LAKE, R., PORTELE, C. & WHITESIDE, A. (Eds.), 2003: OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Implementation Specification. – Version 3.00, OGC 02–023r4, OpenGIS Consortium, Inc., 29 January 2003.
- DORNINGER, P., 2004: A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data. – 114 S., Dissertation am I.P.F., Technische Universität Wien. <http://www.ub.tuwien.ac.at/diss/AC04223140.pdf>
- DORNINGER, P., JANSKA, J. & BRIESE, C., 2004: Visualizations and Analysis of Mars Surface. – *Planetary Space Journal* **52** (1–3), January–March 2004: 249–257.
- DORNINGER, P., 2005: Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie am Beispiel des Planeten Mars. – *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation (VGI)* **93** (2).
- DOYLE, A. & CUTHBERT, A., 1998: Essential Model of Interactive Portrayal. – OpenGIS Project Document 98–061.
- FERRAILOLO, J., FUJISAWA, J. & JACKSON, D., (Eds.), 2003: Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification. – W3C Recommendation 14 January 2003.
- HOCHSTÖGER, F., 1996: Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data. – *International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing XXXI, Part B2*: 160–163; Vienna.
- HEUER, A. & SAAKE, G., 2000: Datenbanken: Konzepte und Sprachen. – 2. Aufl., 504 S., mitp-Verlag, Landsberg.
- KRAUS, K., 2000: Topographische Informationssysteme. – *Photogrammetrie*, Band 3, 1. Aufl., 419 S., Dümmler-Verlag, Bonn.
- KREGER, H., 2001: Web Services Conceptual Architecture (WSCA 1.0). – IBM Software Group, May 2001, S. 6.
- LOITSCH, J. & MOLNAR, L., 1991: A Relational Database Management System with Topological Elements and Topological Operators. – In: *Proceedings of Spatial Data 2000*, Department of Photogrammetry and Surveying, University College London, S. 260–269.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. techn. PETER DORNINGER
Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.),
Gusshausstraße 27–29, A-1040 Wien.
e-mail: pdo@ipf.tuwien.ac.at

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

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005