

Die Qualität der SRTM-90m Höhendaten und ihre Verwendbarkeit in GIS

Wolfgang Czegka¹, Knut Behrends², Stephan Braune³

¹ Sächsische Akademie der Wissenschaften – Schadstoffdynamik , Karl-Tauchnitz-Str.1 , D-04107 Leipzig, czegka@saw-leipzig.de

² GeoForschungsZentrum Potsdam, Daten- und Rechenzentrum, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, knb@gfz-Potsdam.de

³ GeoForschungsZentrum Potsdam, Department 1.3, , Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, braune@gfz-potsdam.de

Zusammenfassung

Mit den am 01. November 2003 vom USGS freigegebenen C-Band Daten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) liegt erstmalig für Europa südlich des 60sten Breitengrades ein konsistentes und kontinuierliches digitales mittelauflösendes (90m) Landschaftsmodell (Digitales Oberflächenmodell) vor. Die vom USGS gemäß des Freedom of Information Acts (FOIA) als freie Geodaten vertriebenen Rohmodelldaten müssen herstellungsbedingt nachbearbeitet werden, um Leerstellen (voids) und unscharfe Küstenbereiche zu korrigieren. Stichproben zeigen aber, dass die SRTM Höhenmodelldaten auch im Vergleich zu den von Landesvermessungsämtern vertriebenen digitalen Höhenmodellen als gut bezeichnet werden können. Der Workshop im Rahmen der UNIGIS-Update zeigt außerdem Methoden auf, wie die Nachbearbeitung mit kommerzieller Software und Freeware zu bewerkstelligen ist.

Keywords: Höhenmodell, SRTM, DEM, DGM, Radar, GIS, ArcView, Open Source

...lautlos und ohne den üblichen Presserummel hat der USGS am 01 November 2003 die Daten der 90m Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) C-Band Höhenmodelle (DEM) für Europa zum FTP-Download freigegeben (Czegka 2003).

Mit dem Start der US Amerikanischen Raumfähre Endeavour am 11. Februar 2000 begann die bisher einzigartige Mission zur Kartierung der Erde, an der Raumfahrtinstitute aus Deutschland (DLR), USA (NASA-JPL, NIMA) und Italien (ASI) beteiligt waren. Im Rahmen der interferometrischen Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) wurde die Erde innerhalb von nur elf Tagen mit zwei Radarsystemen an Bord der Endeavour 182 mal umrundet. Dabei wurden hochgenaue topographische Rohdaten der Erdoberfläche aufgezeichnet. Ziel der Mission war es, hochaufgelöste, einheitlich erhobene und flächendeckende digitale Höhendaten der Erde im Bereich zwischen dem 60. Grad nördlicher und dem 54. Grad südlicher Breite zu erheben. Nach Ablauf des Projekts liegen zum ersten Mal für fast 80% der festen Erdoberfläche ein einheitliches mittelauflösendes Oberflächenmodell vor. Mit der Freigabe am 01. November 2003 besteht also Grund genug, sich die verfügbaren SRTM C-Band Daten genauer anzusehen.

SRTM

Die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verwendete zur Datenerfassung mit der Radarinterferometrie ein aktives Verfahren. Von einem Sender in der Ladebucht des Space Shuttle wurden Radarimpulse zu Erde gesandt. Neben der Radarantenne des Shuttle empfing eine zweite Antenne am Ende eines 60m langen Mastes die von der Erdoberfläche reflektierten Radarpulse. Diese Konfiguration ermöglichte die sogenannte Einpass-Radarinterferometrie und somit die Ableitung eines sehr genauen globalen Höhenmodells mit einer vertikalen Genauigkeit von 6m und einem horizontalen Pixelabstand von 30m. Während der SRTM arbeiteten zwei Radarsysteme gleichzeitig: das deutsche X-SAR-Instrument (3,1cm Wellenlänge) und das amerikanische C-Radar-Instrument (5,6 cm). Das C-Band-Radar tastete die Erdoberfläche in 225km breiten Streifen ab, das X-SAR-System erfasst innerhalb dieses Streifens einen Bereich von 50km Breite. Seit Ende der Mission im Februar 2000 werden die Rohdaten aufbereitet.

Digitale Oberflächenmodelle

Digitale Oberflächenmodelle (DOM) beschreiben das Kontinuum einer Oberfläche durch eine finite Menge von Punkten im dreidimensionalen Raum (xyz-Tripel). Die mit verschiedenen Methoden gemessenen xyz-Tripel sind meist unregelmäßig auf der Oberfläche verteilt. Aus den unregelmäßig verteilten xyz-Tripeln werden – über verschiedene Interpolationsverfahren (z.B. Kriging) – quadratische Raster berechnet. Ein xyz-Tripel im so interpolierten quadratischen Raster repräsentiert eine Fläche von der Kantenlänge der Quadrate und wird daher auch als ‚Rasterzelle‘ bezeichnet. Damit unterscheidet sich ein quadratisches Raster von anderen Repräsentationen eines DOMs wie z.B. einem TIN (Triangulated Irregular Network) oder Vektor-Höhenlinien.

Üblich sind die Begriffe ‚Digitales Geländemodell‘ (DGM, engl. digital terrain model - DTM) und ‚Digitales Höhenmodell‘ (DHM, engl. digital elevation model - DEM). Hier herrscht im Sprachgebrauch leider einige Verwirrung. Als ein DHM werden digital gespeicherte Höhenpunkte einer Oberfläche bezeichnet. Bei einem Digitalen Höhenmodell muss immer angegeben werden, um welche Oberfläche es sich handelt (z.B. DHM der Vegetationsoberfläche, DHM der Grundwasseroberfläche, DHM der Erdoberfläche, DHM der Vegetation und der Bebauung = Landschaftsmodell). Im Gegensatz dazu bezeichnet das DGM die digital gespeicherten xyz-Tripel der Erdoberfläche. Ein DGM ist demnach ein Spezialfall des Begriffs DHM (DGM = DHM der Erdoberfläche).

Das hier beschriebene SRTM Oberflächenmodell ist ein Digitales Landschaftsmodell, da jedes Landschaftselement (Vegetation, Bebauung) abgebildet wird. Dennoch werden die (i.e. Sinn sachlich unrichtig) SRTM Oberflächenmodellldaten meist als DEM – DHM bezeichnet. Man unterscheidet:

- Grob auflösende Oberflächenmodelle (Rasterweiten > 500 m),
- Mittel auflösende Oberflächenmodelle (Rasterweiten 100-30m),
- Fein auflösende Oberflächenmodelle (Rasterweiten <10m).

Für DGM und DHM gibt es keine offenen und verbindlichen Dateiformate. Das einfachste Format ist eine Text-Datei mit den x-, y- und z-Werten eines Tripels in jeweils einer Zeile. De-facto-Standard ist das ‚DEM‘-Format (Text-Format) des USGS. Weit verbreitete

kommerzielle binäre Formate sind zum Beispiel die ‚.grd‘-Grid-Dateien des Programms SURFER (Golden Software), Grid-Dateien des Programms ARC/INFO ArcGIS (ESRI). Ebenfalls weit verbreitet ist auch das DTED Format des USGS.

DOM Daten im Vergleich

Außerhalb von Deutschland, Österreich, der Schweiz (sog. D-A-CH-Region), Frankreichs, der Beneluxstaaten, Italiens, Grossbritanniens, Skandinaviens, der USA und Kanadas wird die Beschaffung von mittel oder hoch auflösenden topografischen Daten in der Regel sehr problematisch sein. In Tabelle 1 ist die theoretische Verfügbarkeit von mittelauflösenden DEM und topografischen Karten in Prozent der Abdeckung der jeweiligen Kontinente aufgelistet. Theoretisch deshalb, da die in der Tabelle aufgenommenen Daten und Karten außerhalb der o.g. Länder in der Regel aus „Sicherheitsgründen“ nicht zugänglich sind. Tabelle 2 gibt die weltweit verbreiteten DOM wieder. Hier ist in der Kategorie mittelauflösendes Modell nur die durch SRTM gewonnenen Modelle vorhanden. Tabelle 3 zählt die Satelliten auf, deren Daten zur Generierung von mittelauflösenden Oberflächenmodellen herangezogen werden können. Die horizontale Auflösung des DOM ist dreimal größer als die Auflösung der Fernerkundungsdaten. Aus Kostengründen dürften Fernerkundungsdaten des ASTER Satelliten zur Generierung von Oberflächenmodellen verwandt werden. Eine detaillierte Anleitung, die allerdings eine recht teure Software erfordert, ist in Klug 2002 dargestellt. Andere Methoden zur Höhendatengewinnung, die hier nicht dargestellt werden sollen, sind Laserscanning (z.B. LIDAR) oder Generierung aus Luftbildern (vgl. Strobl 2003).

In Tabelle 4 sind die in der deutschsprachigen Region verfügbaren DOM aufgelistet. Dabei ist auf folgende Punkte hinzuweisen:

- fast alle der von Vermessungsämtern/ landeseigenen Geodatenbetrieben vertriebenen Oberflächenmodelle unterliegen restriktiven Lizenz- und Nutzbedingungen,
- gerade die föderale Struktur der Bundesrepublik Deutschland bedingt eine heterogene Datenlandschaft. Die in Tabelle 4 aufgelisteten DOM unterscheiden sich nicht nur in ihrer Struktur, sondern auch in ihrer Datengrundlage,
- teilweise sind auch für Mitteleuropa keine Daten verfügbar (z.B. Luxemburg),
- es fallen die recht hohen Preise auf. So kostet eine Einzelplatzlizenz des DGM 50 der BKG für die gesamte Bundesrepublik ca. 38 000 €, eine ebensolche des DHM 50 von Baden-Württemberg schlägt mit 25 000 € zu Buche.

Weitere Informationen sind über die Vermessungsverwaltungen abrufbar.

Die SRTM-3 Daten

Die SRTM-3 (3 Bogensekunden, $3'' \triangleq 90\text{m}$) Daten wurden aus den SRTM-1 ($1'' \triangleq 30\text{m}$) erzeugt. Sie liegen in Kacheln von jeweils 1° geogr. Länge und 1° geogr. Breite im binären Datenformat ‚.hgt‘ (heightfield) vor. Jede Kachel hat 1201×1201 Rasterzellen ($1200 * 3'' = 1^\circ$, eine Rasterzeile/-spalte Überlappung). Das Format folgt der DTED-Konvention (<http://www.nima.mil/ast/fm/acq/89020B.pdf>). Die Höhenwerte der Rasterzellen liegen ganzzahlig in Meter bezogen auf WGS84 EGM96 vor (vgl. <http://earth-info.nima.mil/GandG/wgsegm/>). Sie werden als 16-bit signed integer Datensatz (16-bit-Integer mit Vorzeichen, Zahlenbereich von -32768 bis 32767, $32767 = 2^{15} - 1$) in einem binären Raster abgelegt. Dieser Binär-Datensatz enthält keinen Header, die Höhenwerte sind nacheinander abgelegt (Den Höhendaten der ersten Reihe folgen die der zweiten usw.) Die

Anordnung der Bytes folgt dem Motorola Standard für Großrechner („big endian“) mit dem signifikanten Byte zuerst. Zahlenwerten von -32767 bis 32767 entsprechen der Höhe der Rasterzelle (in Meter), -32768 kennzeichnet fehlende Werte („missing values“).

SRTM-3 Daten unterscheiden sich vom DTED Standard in folgenden Punkten signifikant:

1. Sie sind nicht nachbereitet und können Leerstellen (voids) sowie Artefakte wie Spitzen („spikes“) oder Dellen („wells“) enthalten.
2. Küstenlinien sind unscharf. Größere Wasserflächen erscheinen uneben.
3. SRTM-3 Daten wurden nicht mit vorhandenen Vergleichsdaten abgeglichen.
4. Das Datenformat ähnelt, aber gleicht nicht den DTED Standards.
5. Die Höhenangaben sind relativ zum WGS84 Ellipsoid (nicht Geoid) oder zu der Oberfläche, die zur Bestimmung der Grundkontrollpunkte genutzt wurde.

Datenpolitik und Preise

SRTM C-Band Daten werden vom USGS in zwei Qualitätsstufen angeboten, die Qualitätsstufe SRTM-1, die auf einen 1" (30m) Gitter beruht und die daraus abgeleitete Qualitätsstufe SRTM-3 mit einem 3" (90m) Gitter. Die SRTM-3 werden direkt aus der Mittelung von 3 x 3 SRTM- Zellen errechnet. Neben einer Vergrößerung der Auflösung wirkt dieses Vorgehen wie ein Glätten der Daten durch Filtern des Hintergrundrauschens. SRTM-3 Daten sind mit einem Internet-Browser unter der URL <ftp://edcscgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/Eurasia/> abrufbar, es bedarf keines expliziten FTP Client. Die Dateinamen geben die geographische Breite und Länge der 1°x1° Kachel an, z.B. hat die Kachel N48E008 („Straßburg“) ihre südwestliche Ecke bei 48° nördlicher Breite und 8° östlicher Länge (Genauer beziehen sich die Koordinaten auf das geometr. Zentrum des südwestlichsten 3"x 3" Pixels). Zur Orientierung ist deshalb ein alter Schulatlas nützlich.

Mit Stichtag 29.03.2004 waren die Daten noch nicht in das „nahtlose“ Geodatenportal <http://seamless.usgs.gov/> eingearbeitet.

Die Rohdaten sind nach dem Freedom of Information Act (FOIA) als Public Domain (freie Geodaten im Sinne von freegis.org) zu bezeichnen. Näheres zu freien Geodaten kann man unter <http://freegis.org> erfahren.

In Folge des 11.09.2001 wird aus „Sicherheitsgründen“ nur die Qualitätsstufe SRTM-3 ausgeliefert. Die STRM-1 (1")-Daten sind vorhanden und werden im militärischen Bereich genutzt. Diese sind nur auf Anfrage unter folgenden Bedingungen abrufbar:

- „Full-resolution 30-m digital topographic data will require the concurrence of both NASA and NIMA for consideration as well as special secure handling procedures while the data are in your possession.
- Until the data are released to the public, they are generally restricted-distribution and you will be required to sign an acknowledgement that you will not redistribute the data beyond your research group.
- The data are for scientific research purposes only.”
(<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html>)

Die von den Autoren genutzten Daten wurden versuchsweise mittels analogem Modem in einer „normalen“ Internet by call Verbindung geladen. Im Schnitt dauerte der Transfer einer 1° x 1° Kachel rund 5 Minuten. Bei einem marktüblichen Preis von 0,99ct/min für eine solche

Verbindung entstehen also rund 5ct Transferkosten pro Kachel. Die Bundesrepublik Deutschland ist mit 68 Kacheln (3,36 €), Österreich mit 22, die Schweiz mit 12 Kacheln abzudecken. Das Bundesland Baden Württemberg benötigt 11 Kacheln (entspricht Transferkosten von 0,55 €). Die Transfer- Kosten sind um mehrere Größenordnungen niedriger als die Listenpreise vergleichbarer Daten die in Deutschland von offizieller Seite vertrieben werden.

In den USA „veredeln“ kommerzielle Datenanbieter (wie z.B. „mapmart“) die Daten durch Wandeln des Formates, ohne inhaltliche Änderungen/Korrekturen (wie z.B. Entfernen der ‚missing values‘) vorzunehmen.

Genauigkeit

Zur Qualitätsabschätzung von digitalen Oberflächenmodellen existieren keine ISO/DIN Normen oder allgemein akzeptierte Standards für die Qualitätssicherung. Häufig wird die Qualität eines DOM durch Vergleich mit einem anderen ermittelt. Das Referenz-DOM sollte ‚genau‘ eine Qualitätsklasse besser als das zu vergleichende DOM sein. Weitere Qualitätsmerkmale können aus GIS-Datenmodellen abgeleitet werden (vgl. Kresse, Fadaie 2004). Herkunft, Positionsgenauigkeit und logische Konsistenz sind Kriterien einer Qualitätsbewertung. Hier wird eine stichprobenartige Qualitätsabschätzung durchgeführt.

Für die Stichprobe wurden zwei typische mitteleuropäische Landschaften, eine Mittelgebirgsregion (Thüringer Wald - Thüringer Becken) und eine Übergangslandschaft (Holzland – Leipziger Tieflandsbucht), ausgesucht. Als Vergleichs- (‚Referenz‘-) DOM diente das in der TOP50-Serie der Landesvermessungsämter hinterlegte 25m DHM. Leider geben die Herausgeber der Reihe TOP50 keine Metadaten zu dem hinterlegten Höhenmodell an. Zu diesen beiden Regionen wurden zwei Versuchsreihen gefahren.

1) In jeder $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ SRTM-Kachel, die eine Vergleichsregion abdeckt, wurden per Zufallsgenerator 100 Punkte ausgewählt. Ein Zufallsgenerator wurde gewählt, um jeden Landschaftstyp (Stadt, Wald, Wiese, Feld, Braunkohletagebau...) zu erfassen. Zu diesen Punkten wurden jeweils die DOM-Höhen aus dem SRTM-3 DEM und dem DHM der TOP 50 bestimmt.

2) Aus der in der TOP50 enthaltenen Topographischen Karte wurde in jeder Kachel manuell 30 Punkte ausgewählt und zu diesen Punkten die geographischen Koordinaten und die Höhe (absolute Höhe über NN) bestimmt. Zu diesen Punkten wurden zusätzlich die Höhenangaben aus dem SRTM DEM und dem DHM der TOP50 bestimmt.

Mittelgebirgsregion:

SRTM DOM und das DHM der TOP50 zeigen eine sehr hohe Korrelation (0,9991). Die mittlere Streuung beider Modelle beträgt 6,2m, die Standardabweichung beträgt 7,9m.

Im Mittel wichen die aus dem SRTM DOM gewonnenen Höhen um 0,15m von denen aus der Topografischen Karte gewonnenen Punkten ab. Die Standardabweichung beträgt hier 4,4m. Die mittlere Abweichung des ‚Referenz-DHM‘ aus der TOP50 beträgt dagegen 7m, die Standardabweichung 5,9m.

Übergangslandschaft:

Bei der Zufallsauswahl fiel ein Punkt in eine SRTM-Leerstelle (Braunkohletagebau) die Korrelation war deshalb mit 0,9666 weniger gut. Lässt man diesen Punkt beim Vergleich der

beiden Höhenmodelle weg, so erreichte auch hier die Korrelation mit 0,9995 einen sehr guten Wert. Die mittlere Abweichung zwischen den beiden DOM beträgt 1,6m (0,3m ohne void), die Standardabweichung beträgt 3,6m (2,3m ohne void).

Die aus dem SRTM DOM gewonnenen Höhen wichen in der Übergangslandschaft im Mittel um 1,2m ab, Standardabweichung 1,0m. Die mittlere Abweichung zwischen TOP50 DOM und den Höhenpunkten beträgt 1,1m, Standardabweichung 1,8m.

Integration in Geoinformations Systeme

Die Integration und Nutzung der SRTM-Daten mit ESRI-Programmen ist ausführlich in den beiliegenden Folien beschrieben.

Integration der Daten in „Surfer“ (Golden Software)

Das Paket „Surfer“ der Firma Golden Software ist ein im geowissenschaftlichen Bereich sehr verbreitetes Softwarepaket zur Bearbeitung und Visualisierung von Oberflächenmodellen. Auch dieses Paket bietet standardmäßig keine Schnittstelle zum ‚hgt‘-Format. Abhilfe schafft hier z.B. der Freewarekonverter ‚3DEM‘. 3DEM ist im eigentlichen Sinn kein Konversionsprogramm, sondern ein FreewareViewer der Firma Visualization Software und kann unter <http://www.visualizationsoftware.com/3dem/downloads.html> geladen werden. Es ist aber in der Lage, ‚hgt‘ Daten einzulesen und in das Quasi-Standardformat USGS ASCII DEM zu exportieren. USGS DEM können in Surfer geladen und weiterverarbeitet werden. Allerdings verfügt Surfer kaum über geeignete Möglichkeiten, um die bei SRTM notwendige Nachbearbeitung durchzuführen (z.B. Leerstellen, voids, zu reparieren).

Integration in MicroDEM 6.03

Im Gegensatz zu den oben vorgestellten Programmen ist die Freeware MicroDEM in den europäischen Geowissenschaften wenig bekannt. MicroDEM hat sich jedoch in der 3D Kartographie-Szene den Ruf eines Referenzprogrammes erworben. Es ist das sehr ehrgeizige Delphi-Projekt eines Teams um den Geologieprofessor Peter Guth aus dem Oceanography Department der U.S. Naval Academy. Aktuell ist die Version 6.03, die Version 7.01 befindet sich im Beta-Stadium.

Obwohl MicroDEM heute überwiegend für militärische Zwecke (ein Blick in den Funktionsumfang und / oder in den online Support zeigt die Brisanz von DEM) eingesetzt wird, versucht das Team um Guth immer noch den Spagat wissenschaftlicher und militärischer Nutzung. Das Programm benötigt eine 32-bit-Version von MS Windows (NT/2000/XP mit Einschränkungen auch auf 95/98/ME). Da es für unsere Zwecke gut einsetzbar ist, seien stichpunktartige Hinweise zu diesem Programm erlaubt:

- MicroDEM ist Freeware,
- MicroDEM liest und interpretiert SRTM Heightfield-Daten problemlos direkt ein,
- mit MicroDEM lassen sich SRTM DEMs ‚mergen‘ und ‚clippen‘,
- mit MicroDEM lassen sich **kleinere** Voids mittels Interpolations-Algorithmen schließen (Befehl edit fill hole),

- auch für große Leerstellenflächen gibt es Methoden, diese mit einem anderen DEM zu verschneiden oder durch Erzeugen eines TIN (nur Vers 7.0x) zu schließen (näheres erfahren Sie im MicroDEM Support),
- unebenen Seeflächen kann mit dem Befehl ‚Edit outline Regions, outline lakes‘ eine definierte Höhe zugeordnet werden.

Das Problem von MicroDEM ist das proprietäre Datenformat ebenfalls ‚DEM‘ genannt. Das MicroDem DEM-Format ähnelt dem binären Format der 7.5' SDTS DEMs. Ein Export dieses Formats ist in MicroDEM nur in ASCII xyz-Tripeln und dem DTED1 Format möglich. Ein von John Child geschriebenes Konsolenprogramm konvertiert Daten von MicroDEM zu USGS ASCII DEM, siehe <http://www.terrainmap.com/>.

Fazit

- Mit dem SRTM-3 Datensatz liegt erstmalig für fast ganz Europa ein konsistentes und kontinuierliches digitales mittelauflösendes Landschaftsmodell (DOM) vor.
- Die Datenbeschaffung der SRTM-3 Daten erfolgt problemlos. Der Datentransfer ist sehr kostengünstig. Die Rohdaten unterliegen keiner restriktiven Lizenzierung, sie können als freie Geodaten bezeichnet werden.
- Stichproben bestätigen den SRTM-3 Daten eine gute, mit Produkten der Landesvermessungsämter vergleichbare Qualität.
- Herkunftsbedingt müssen die SRTM-3 Daten u.U. nachbearbeitet werden. Der Artikel zeigt Wege auf, wie dies mit kommerzieller Software und Freeware zu bewerkstelligen ist.

Die aufgezählten Punkte sprechen dafür, diese neue Datenquelle für geowissenschaftliche Zwecke intensiv zu nutzen. Dies ist auch für wenig erschlossene Gebiete möglich. Anstrengungen wie in Bubenzer und Wagner (2002) geschildert, um aus GTOPO 30 (USGS Eros Data Centre) Daten Informationen „herauszupressen“, gehören der Vergangenheit an. Es bleibt zu hoffen dass diese aufgelisteten Fakten Auswirkungen auf die Geodatenpreispolitik der staatlichen Vermessungsämter resp. der landeseigenen Geobasisdatenbetriebe sowie auf die X-Band SRTM-Daten der DLR haben wird.

Anmerkungen

Der Begriff Freeware bezeichnet hier gratis erhältliche kommerzielle Software benutzt. OpenSource oder Software unter GPL ist als solche gekennzeichnet. Die Autoren verweisen auf die hierfür geltenden Lizenzbestimmungen

Haftungsausschluss: Die Leserinnen und Leser seien an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass alle in diesem Artikel angeführten Arbeitsabläufe, Programmschritte usw. von den Autoren gewissenhaft erprobt wurden. Diese Sorgfalt kann jedoch nicht verhindern, dass neue Programmversionen etc. teilweise veränderte Auswirkungen und Arbeitsabläufe haben. Darum muss jede Leserin und jeder Leser diese für individuelle Interessen wichtigen Details und Verfahrensabläufe an aktuellen Versionen nachvollziehen. Die von den Autoren gezeigten Ausführungen können hierbei als Analogien dienen, können jedoch keine Garantien darstellen oder irgendwelche Haftungsgrundlagen gegenüber den Autoren sein. Die angeführten Web-Adressen sowie Preise entsprechen dem Stand von 04/2004.

Literatur:

Bubbenzer, O.; Wagner, A. (2002): Erstellung von mesoskaligen Geländemodellen und Reliefprofilen aus GTOPO30-Daten mit einem Desktop-GIS. – In: GIS 3/02: 27 - 29.

Czegka, W. (2003): ..still und leise. Der USGS gibt das 90m SRTM C-Bandhöhenmodell für Europa frei. Unigis Offline 4/2003 S. 5 .
http://www.unigis.ac.at/club/unigisoffline/UNIGISoffline_4_03.pdf
(date accessed 08.01.2004).

Klug, H. (2002): Eine Einführung in die Verwendung von ASTER.
www.geo.sbg.ac.at/larg/Astertutorial.pdf (date accessed 08.01.2004)

Kresse, W. Fadaie, K. (2004): ISO Standards for Geographic Information. Springer, Heidelberg, Berlin 322S.

Strobl, J. (2002): Digitale Höhenmodelle – Sensoren Qualität und Anwendung. Tutorial.
http://www.unigis.ac.at/club/u2/2003/presentation/DEM_Tutorial.htm (date accessed 15.01.2004).

Wessel, P, & W. H. F. Smith (1996): A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, J. Geophys. Res, 101 (1996), #B4, pp. 8741-8743.

U.S. Geological Survey, EROS Data Center (2002): GTOPO30
<http://edcaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html> (Data accessed:[08.01.2004]).

URLs

<http://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/Eurasia/>
<ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/>
<http://seamless.usgs.gov>

<http://freegis.org/>

<http://www.mapmart.com/InterNationalDEMS.htm>

Vermessungsverwaltungen D-A-CH Region:

<http://www.adv-online.de/>

<http://www.swisstopo.ch/>

<http://www.bev.gv.at/>

<http://www.etat.lu/ACT/>

Glossar

BIL = band interleaved by line (Datenformat)

DEM = a) engl. digital elevation model -> DHM b) Abkürzung für verschiedene Dateiformate die Digitale Höhenmodell repräsentieren z.B. USGS ASCII DEM, MicroDEM DEM.

DGM =Digitales Geländemodell = engl. DTM

DHM = Digitales Höhenmodell' engl. digital elevation model = DEM

DOM = Digitale Oberflächenmodelle

DTM = engl. digital terrain model entspricht dem Begriff Digitales Geländemodell
 signed integer = 16-bit-Integer mit Vorzeichen, Zahlenbereich von -32768 bis 32767,
 $32767 = 2^{15} - 1$
 SRTM = Shuttle Radar Topography Mission
 TIN = Triangulated Irregular Network

Tabelle 1: Theoretische Verfügbarkeit in % von DEM 1:25000 und topografischen Karten verschiedener Maßstäbe (ohne SRTM Daten). Quellen: Centre National d'Etudes Spatiales; DLR Stand: 2000

Kontinent ¹ \ Maßstab	DEM 1:25 000	1:25.000	1:50.000	1: 100.000	1:200.000
Afrika	0	2,9	41,1	21,7	89,1
Asien	2,5	15,2	84	66,4	100
Australien	18,1	18,3	24,3	54,4	100
Europa	37,2	86,9	96,2	87,5	90,9
Nord Amerika	23,9	45,1	77,7	37,7	99,2
Süd Amerika	1,8	7	33	57,9	84,4

Tabelle 2: Weltweit verbreitete DOM

DGM	Raster	Auflösung	Abdeckung	Preis
DETD 0	30'' / 1000m	vert. 10m- 250m	Global	kostenfrei
GTOPO 30	30''/ 1000 m	vert 30m at 90%	Global	kostenfrei
SRTM 30	30''/ 1000 m	vert 30m at 90%	Global s.u.	Kostenfrei
SRTM-3	3''/ 90 m		ca. 80% 60oN/ 58oS	Kostenfrei
SRTM-1	1'' / 30 m		ca. 80% 60oN/ 58oS	Auflage
SRTM-Xband	1'' / 30 m	vert. >15m; horiz. <6m	ca 35% 60oN/54oS	400€*Füllgrad

Tabelle 3: Quellen für spektrale Fernerkundungsdaten zur Generation von mittelauflösenden Oberflächenmodellen

Satellit	Betreiber	Art der Bodenaufsg Stereoszene	Auflsg [m]	Szenengrösse [km]	Preis pro Szene [€]	pro
Quickbird	Digital Globe	Seitenblick	0,61	11X11	3000	
Ikonos	Space Imaging	Seitenblick	1	16,5X16,5	37000	
Spot	CNES	Seitenblick	5 /10	60X60	2500 - 5100	
ASTER	NASA	Rückblick	15		0- 55	

Tabelle 4: Übersicht über vorhandene DOM der Vermessungsverwaltungen in Deutschland, Österreich, Schweiz und Luxemburg (D-A-CH Region)

Land	DGM-Typ	Raster [m]	vert. Genauigkeit [m]	Max. Preis €/km ² (1)	Bem.
Deutschland:					
Baden Württemberg	DHM	50	4	1,50	
Bayern	DGM 25	50	3	3,00	
	DGM 5		k.A.	15,00	partiell

Berlin	n.v.	-	-	-	
Brandenburg	DGM 25		2	3,00	
	DGM 50			1,50	Aus DGM 25
Deutschlandl. /BKG	DGM 1000	30''x 50''	k.A.		
	DGM 250	200	20		
	DGM 50 M745	1''	20	0,75	
Hamburg	DSGM 30			?	
Hessen	DGM 50	100		1,60	
	DGM 25	40		7,60	
	DGM 5	10		51,15	
Mecklenburg-Pommern	DGM 50		5	1,53	
	DGM25		0,5	3,00	nicht flächendeckend
Nieders./Bremen	k.a				
NRW	DGM 50		3	1,50	
	DGM 5		0,5	30,00	
	DGM 5L	<1		40,00	
Saarland	DGM 50	k.A.	k.A.	k.A.	
Sachsen	DGM25		2	3,00	
	DGM 5		0,5	30,00	partiell Neisse / Elbe
Sachsen-Anhalt	DGM	40		?	
	DGM	10	0,5	?	
Schleswig Holstein	DGM 50	50	4	?	
Thüringen	DGM 50	50	4	1,50	
	DGM 25	25	3	3,00	
	DGM 5	10	0,5	30,00	
Rheinland-Pfalz	QS1	20		51,07	
	QS2	40		3,07	Aus QS 1
Österreich:	DGM 50	50	5- 25	-	
	DGM 10	10	1-20	-	
Schweiz:	DHM25-Basismodell Linien		1,5 –3	CHF 4,50	
	DHM25-Matrixmodell 25		1,5 –3	CHF 3,00	
	DOM-AV	2	k.A.	CHF 80	
	DTM-AV	2	k.A.	CHF 80	
	RIMINI	250	k.A.	CHF 200 gesamt	
	DHM1000	1000	k.A.	kostenfrei	
Luxemburg:	n.V.	-	-	-	

(1) maximaler Preis pro km² ohne Bereitstellungs-Mindestgebühr

Tabelle 5: Umrechnung der unsigned-Integer-Werte in Höhenangaben in m mit ‚Spatial Analyst‘

Wert	Interpretation	Korrektur
≥ 0 und < 32768	Höhenangabe in m	keine, Höhe = Wert
$= 32768$	keine Daten, ungültig	Höhe = ‚ungültig‘
> 32768	negative Höhenangabe in m	Höhe = Wert - 65536

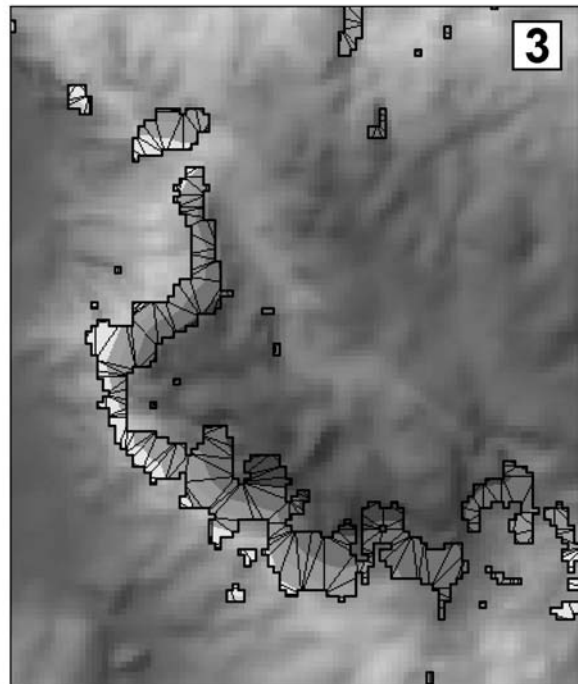
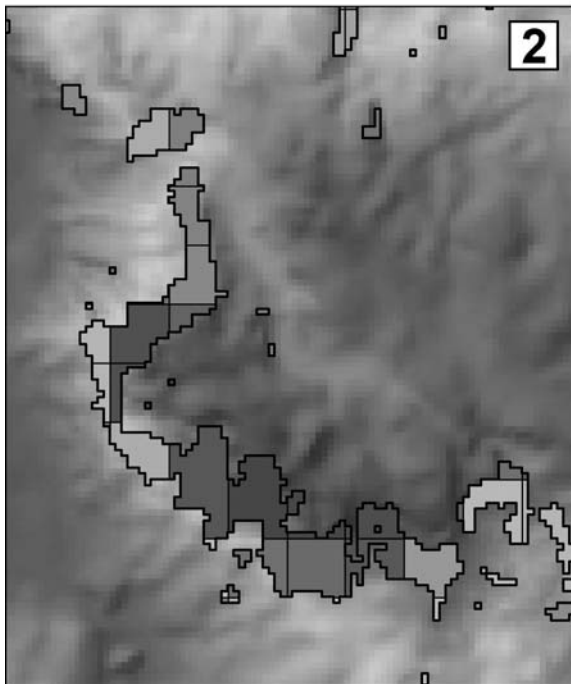
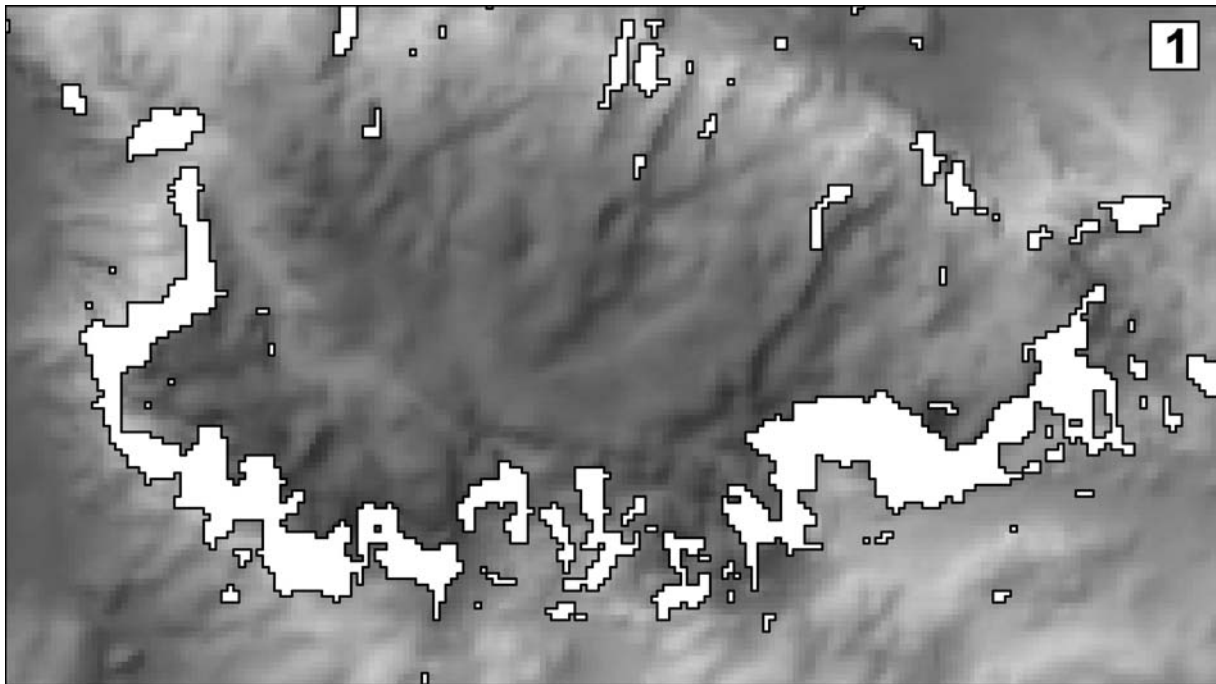


Abb. 1: Fehlerkorrektur

1. Höhendaten vom Tennengebirge. Deutlich sichtbar sind fehlende Daten an Berghängen
2. Fehlstellen ausgefüllt mit GTOPO30-Daten
3. linear interpoliert

Fig. 1: Correction of missing values in Tennengebirge (near Salzburg, Austria)

1. DEM data with voids at the mountain sides
2. voids filled with GTOPO30 data
3. voids linear interpolated