

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 89 (1991)

Heft: 10

Artikel: Digitale Orthophoto Workstation (DOW) : ein leistungsfähiges System zur Generierung digitaler Orthophotos aus Luftbildern und SPOT-Szenen

Autor: Baltsavias, E.P. / Grün, A. / Meister, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-234606>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Digitale Orthophoto Workstation (DOW)

Ein leistungsfähiges System zur Generierung digitaler Orthophotos aus Luftbildern und SPOT-Szenen

E. P. Baltsavias, A. Grün, M. Meister

Im folgenden wird das Konzept einer Digitalen Orthophoto Workstation (DOW) vorgestellt. Ziel und Zweck, potentielle Anwendungsmöglichkeiten sowie erforderliche Soft- und Hardware für eine derartige Workstation werden erläutert. Die Realisierung dieses Konzepts am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, wird vorgestellt. Dabei werden Standard Sun Computer ohne spezielle Hardware benutzt. Die modulare Struktur der Software, eine bedienungsfreundliche, graphisch unterstützte Benutzeroberfläche und angemessene Ein- und Ausgabegeräte sind wichtige Aspekte des Systems. Besonderer Wert wird auf Flexibilität, Produktivität, Genauigkeit, Bedienungskomfort und niedrige Kosten gelegt.

Es werden Beispiele gezeigt, bei denen Luftbilder bzw. panchromatische SPOT-Szenen als Ausgangsmaterial dienten. Mit diesen Daten wurden digitale Orthophotos generiert und mit Vektorinformationen überlagert, Genauigkeitsstudien unter Verwendung eines strengen geometrischen SPOT-Modells, 3D Visualisierung (Herstellung von synthetischen Bildern und Bildsequenzen) und eine radiometrische Ausgleichung beim Mosaicking durchgeführt. Auf die Produktionsgeschwindigkeit und Genauigkeit der Orthophotos wird ebenfalls eingegangen. Die Wichtigkeit der digitalen Orthophotographie bei der Nachführung und dem Aufbau von GIS-Datenbanken und die Vorteile der Integration solcher Rasterdaten in ein GIS werden anhand eines Beispiels einer solchen Integration in ARC/INFO demonstriert.

Dans ce qui suit, le concept d'une station de travail pour la production d'orthophotos digitales (Digital Orthophoto Workstation, DOW) est présenté. Le but, les éventuelles possibilités d'utilisation ainsi que les logiciels et le matériel nécessaires pour une telle station de travail sont décrits. La réalisation de ce concept à l'institut de «Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg», est présentée. Pour cela, on utilise des ordinateurs standards SUN sans installations spéciales.

Le système se distingue notamment par la structure modulaire du logiciel et une interactivité conviviale grâce à menus graphiques. Les critères importants pour le développement ont été la flexibilité, la productivité, la précision et le confort d'utilisation ainsi qu'un faible coût de l'installation.

Des exemples utilisant des images aériennes et des vues de satellite SPOT sont présentés. À partir de ces données, on a généré des orthophotos digitales auxquelles on a superposé des informations vectorielles. On a ensuite procédé à des études sur la précision par l'utilisation d'un modèle SPOT géométriquement rigoureux. Des visualisations 3D ont été réalisées afin d'obtenir... des images synthétiques et des suites d'images. On a procédé à une compensation radiométrique pour le «mosaicking». Le processus de production ainsi que la précision des orthophotos sont discutés.

L'importance des orthophotos digitales pour la création et la mise à jour de langues de données SIG et les avantages de l'intégration de telles données «raster» dans un SIG sont mis en évidence à l'aide d'un exemple utilisant ARC/INFO.

Einführung

Orthophotos und Orthophotokarten erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Sie sind leicht herzustellen und sind ein preisgünstiger Ersatz bzw. Ergänzung von topographischen Karten, vor allen Dingen wenn letztere schwierig zu produzieren oder nachzuführen sind. Orthophotokarten enthalten sowohl eine Fülle von Bildin-

formationen als auch wesentliche Vektorinformationen in impliziter oder expliziter Form. Die Produktion von Orthophotos hat sich durch die Entwicklungen von digitalen Techniken in jüngster Zeit verstärkt. Digitale Orthophotos bieten eine enorme Flexibilität und eine hohe Produktivität bei niedrigen Kosten und ohne Verschlechterung der Bildqualität, die bei den analogen

Techniken auftritt (Verminderung der Genauigkeit und der Auflösung, schwieriges Mosaicking, vor allen Dingen bei Farbbildern). Digitale Orthophotos können nicht nur schneller und billiger als analoge Orthophotos hergestellt werden; sie bieten auch andere, völlig neue Möglichkeiten und Anwendungen. Eine wichtige neue Anwendung ist z.B. die Integration von digitalen Orthophotos in ein GIS, wobei das Orthophoto eine Datenebene in dem GIS bildet. Verschiedene perspektive Ansichten, Visualisierungsprozesse und Simulationen können dann leicht produziert und mit anderen Sach-, Vektor- und Rasterdaten kombiniert werden, so dass eine hilfreiche Unterlage für Planungszwecke und Umweltuntersuchungen entsteht. Ausserdem dienen digitale Orthophotos als Grundlage für die automatische Bildanalyse und digitale Kartenherstellung.

Heute existieren mehr als dreissig Systeme zur digitalen Orthophotoherstellung; viele von ihnen sind kommerziell verfügbar. Eine kurze Zusammenstellung findet sich in Baltsavias et al., 1991.

Viele Systeme brauchen spezielle Hardware. Das hat hohe Kosten zur Folge, die Hardware ist oft nicht in einer höheren Programmiersprache programmierbar und die verfügbare Software kann – wenn überhaupt – nur schwer modifiziert oder erweitert werden. Andere Systeme haben nicht genügend Rechenleistung, Speicherplatz und Disk-Kapazität. Die Software- und Hardware-Module sind oft nicht vollständig. Dies sind einige grundlegende Einschränkungen, die uns zur Entwicklung einer flexiblen, leistungsfähigen und erweiterbaren Digitalen Orthophoto Workstation (DOW) führten.

Konzept einer Digitalen Orthophoto Workstation

Unser DOW Konzept basiert auf folgenden Prinzipien:

Kommerzielle Hardware- und Software-Standards:

- UNIX Betriebssystem
- Programmieren in C und C++
- Zugriff auf Fremd-Boards (z.B. VMEbus, Sbus)
- XWindows, PHIGS
- NFS (Network File System)

Leistungsfähige, flexible Standard-Computer ohne spezielle Hardware:

- auf Workstations basierendes «Distributed Computing»
- Networking und Teilen der Ressourcen
- leichtes Nachrüsten (Upgrade) und Erweiterung
- breite Plattform an zusätzlicher Fremd-Software und -Hardware

Partie rédactionnelle

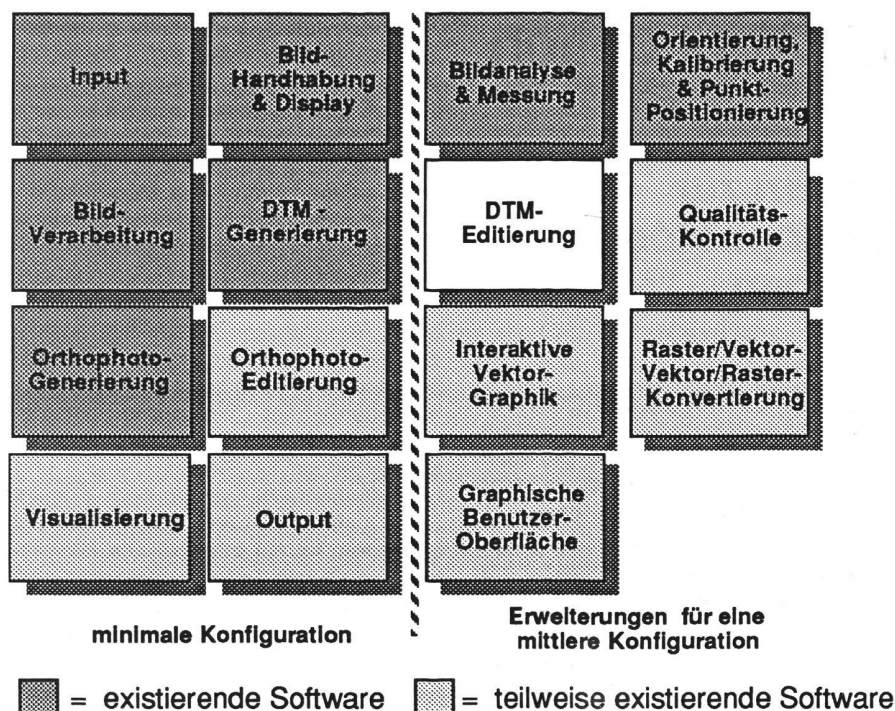


Abb. 1: DOW-Funktionen bei minimaler und mittlerer Konfiguration.

- Unterstützung von I/O-Geräten speziell für Bilddatenerfassung und Ausgabe als Hard- und Softcopy; Verfügbarkeit von Geräte-Treibern
- Programmierbarkeit in einer transportablen höheren Programmiersprache
- leistungsfähige Programmierwerkzeuge
- «Multi-Tasking»- und «Multi-User»-Möglichkeiten
- leistungsfähiges Window-System
- hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit
- ausreichende, nachrüstbare Hauptspeicher und Disk-Kapazität
- schnelle I/O- und Bus-Übertragungsraten
- vernünftiger Preis

Modulare und flexible Software-Entwicklung:

- leichte Modifizierung und Erweiterung von existierender Software
- gewöhnliche Datenformate
- benutzerfreundliche graphische Interaktionsprogramme
- hybrides System, das heisst Unterstützung von manueller, halbautomatischer und automatischer Verarbeitung

Basierend auf den obengenannten Prinzipien, haben wir uns für Sun Workstations als System-Plattform entschieden. Die einzige zusätzlich notwendige Hardware sind Boards für die Bilddatenerfassung. Die Funktionen einer DOW bei einer vollen Konfiguration kann durch die folgenden Module beschrieben werden:

- 1) Input. Bilddatenerfassung (Scannen, Digitalisierung) mit CCD-Kameras oder Scanner. Geometrische und radiometrische Kalibrierung der CCD-Sensoren. Import von Datenbanken.
- 2) Bildhandhabung und Display. Pan, Scroll, Zoom, geometrische Transformationen. Mono- und Stereo-Display von Bildern.
- 3) Bildverarbeitung. Reduzierung des Rauschens, Kanten- und Kontrastverstärkung, Datenreduktion und Vorauswahl, algebraische und logische Operationen, Schwellenwertbildung und Binarisierung.
- 4) Bildanalyse und Messung. Manuelle Messung von Pixel-Koordinaten und Grauwerten, 2D- und 3D-Objektbestimmung durch verschiedene Matching-Algorithmen (halbautomatisch oder automatisch), Objekterkennung, Linienverfolgung, verschiedene Segmentierungs-Prozeduren etc.
- 5) Orientierung, Kalibrierung und Punktpositionierung. Software für Sensoren mit perspektiver oder Zeilenabtaster-Geometrie (Modellorientierung, Rückwärtsschnitt, Vorwärtsschnitt, Monoplotting).
- 6) DTM-Generierung. Interpolationsalgorithmen, Ableitung von regelmässigen Gittern, Höhenlinien, Profilen etc.
- 7) DTM-Editierung. Überprüfung, Aufdeckung grober Fehler, Clipping etc.
- 8) Orthophoto-Generierung. Differentialentzerrung (simultane und sequentielle Lösungen). Orthophotos von Bildern mit perspektiver oder Zeilenabtaster-(SPOT) Geometrie.
- 9) Orthophoto-Editierung. Mosaicking, ästhetische Korrekturen, Editieren von einzelnen Pixeln und Bildregionen.
- 10) Qualitätskontrolle. Manuelles Überprüfen und Editieren von Orthophotos und hybriden Produkten im Mono- und/oder Stereo-Display-Modus.
- 11) Interaktive Vektorgraphik. Generierung und Überlagerung von Symbolen, Schrift, Höhenlinien, Karten-Gitterkreuzen und -Legende, Polygon- und Linienüberlagerung, Farbzuzuweisung, Polygon-Füllung.

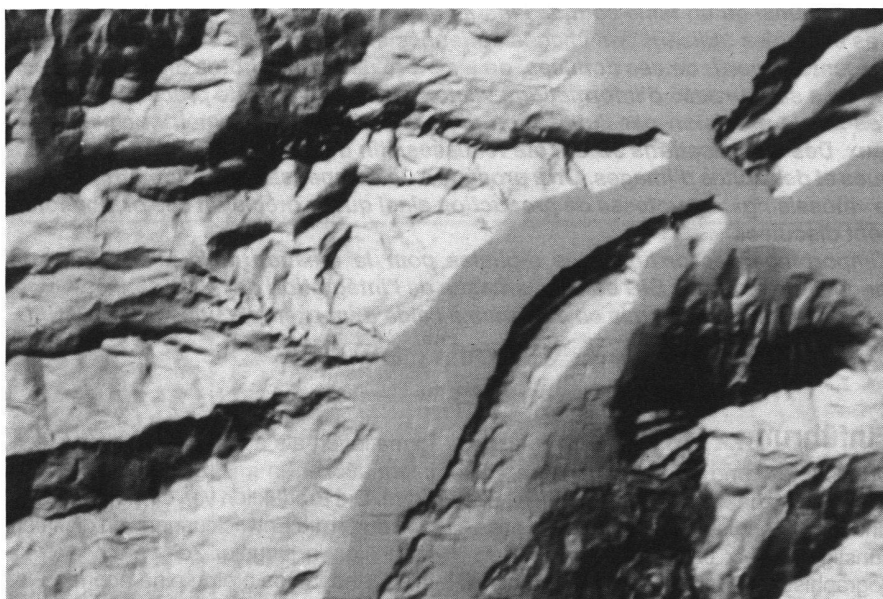


Abb. 2: Reliefdarstellung des DTMs, das für die SPOT-Orthophoto-Herstellung benutzt wurde. DTM-Daten und Bild: © Bundesamt für Landestopographie, Bern.

- 12) Raster/Vektor- und Vektor/Raster-Konvertierung.
- 13) Visualisierung. 3D-Gittermodelle, Schattierung, Integration von Raster- und Vektor-Information (graphische Überlagerung, Karten), Überlagerung von Orthophotos, anderen Bildern und digitalisierten Karten über 3D-Gittermodelle (Texture Mapping), Farbeditierung, Kombination von Mehrkanalbildern, Animation.
- 14) Output. Soft- und Hardcopies. Plotting-Routinen für Graphik. Ausgabe auf High-Quality-Film. Export zu Datenbanken.
- 15) Auf Graphik und Windows basierende Benutzeroberflächen.

Abhängig von den verfügbaren Mitteln und Bedürfnissen kann eine DOW mit minimaler, mittlerer oder voller Konfiguration aufgebaut werden. Eine minimale Konfiguration besteht aus den Modulen 1), 2), 3), 6), 8), 9), 13), 14). Eine mittlere Konfiguration würde zusätzlich die Module 4), 5), 7), 10), 11), 12), 15) und eventuell ein Interface zu GIS/LIS-Datenbanken erfordern (Abb. 1). Ein voll konfiguriertes System würde verschiedene High-Quality-I/O-Geräte und komplette Bildverarbeitungs- und Fernerkundungs-Pakete miteinschliessen und wäre eng verbunden mit einem GIS.

Realisierung einer Digitalen Orthophoto Workstation

Nach dem eben erläuterten Konzept ist eine Digitale Orthophoto Workstation am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hônggerberg, realisiert worden. Die DOW ist in einem eher allgemeinen Konzept einer Digitalen Photogrammetrischen Station (DIPS) (Grün, Beyer, 1991) integriert. Die DOW nimmt Anteil an der Hardware und Software der DIPS, bildet somit ein Teil- oder Untersystem der Letzteren. DIPS basiert auf Sun Servern und Workstations, die über Ethernet miteinander verbunden sind und sich die Ressourcen mittels NFS teilen. Das Sun Netzwerk ist zwecks Datenaustausch mit VAX-, IBM PC- und Apple-Computern verbunden. Zwei analytische Plotter, die mit CCD-Kameras ausgerüstet sind, und ein externer Optronics 5040 Scanner/Laser-Plotter können zum Scannen von Filmen und Hardcopies genutzt werden; der Laser-Plotter dient auch als Ausgabegerät. Informationen über die Charakteristiken der DIPS und einiger ihrer Komponenten werden in Baltsavias et al., 1991 gegeben. Um eine komfortable DOW zu erhalten, wird eine Workstation mit folgenden Charakteristiken benötigt: ausreichend grosser Hauptspeicher, hohe Rechenleistung, hohe Bus-Bandbreite zum Datentransfer zwischen Memory, Frame-Buffer und



Abb. 3: Digitales Orthophoto mit überlagerten Höhenlinien und Karten-Gitterkreuzen. DTM-Daten: © Bundesamt für Landestopographie, Bern.

Disk, ausreichende Disk-Kapazität mit hoher Übertragungsrate, leistungsfähiger Graphikprozessor und optional ein Display mit 32-Bit Auflösung. Bei Betrachtung der augenblicklichen Situation und der erwarteten Entwicklungen scheint die Engstelle bei der Bus-Bandbreite zu liegen. Unter den Sun Workstations entspricht die SPARCstation 2 am ehesten (und noch mehr die erwartete neue SPARCstation 3) den Erwartungen. Eine Standard-SPARCstation 2 hat einen Display mit 8-Bit Auflösung, jedoch werden True-Colour und mehrfache Overlay-Ebenen mittels der 3D-Graphikbeschleuniger GS und GT unterstützt.

Die Module der momentan existierenden Software sind, mit Ausnahme von kleineren neuen Entwicklungen, detailliert beschrieben in Baltsavias et al., 1991. Die Funktionen der DOW, für die schon Software existiert, zeigt Abbildung 1. Fast die gesamte Software (mit Ausnahme des HIPS Bildverarbeitungspakets und des Sun-Raster-Editors TOUCHUP) wurde in unserer Gruppe entwickelt. Die meisten Programme wurden in C geschrieben, einige wenige Programme in Fortran-77. Die Programme benutzen das SunView Window System und sorgen für eine komfortable Benutzeroberfläche mit Windows, Pull-Down-Menüs, Sliders, interaktives Setzen von Parametern etc. Die im eigenen Haus entwickelte Software benutzt ein einheitliches Bildformat.

Beispiele

Im folgenden werden wir uns auf die Verarbeitung von SPOT-Bildern konzentrie-

ren, aber auch ein Beispiel für die Verarbeitung von Luftbildern geben. Die geometrische Verarbeitung von SPOT-Bildern basiert auf dem Modell von Kratky (1989a, 1989b) und der zugehörigen von ihm entwickelten Software. Er benutzt ein strenges mathematisches Modell zur Verarbeitung von Einzel- oder Stereoaufnahmen (Level 1A). Das Modell erlaubt entweder eine lineare oder eine quadratische Änderung der Rotationswinkel. Praktische Tests haben gezeigt, dass die beiden Modelle sehr ähnliche Resultate liefern. Kratky liefert schnelle Polynom-Mapping-Funktionen, die nach einer Ausgleichung mit dem strengen Modell berechnet werden, um von Bild zu Bild, von Bild zu Objekt oder von Objekt zu Bild zu transformieren. Diese Transformationen, deren Parameter durch eine Ausgleichung nach kleinsten Quadraten berechnet werden, sind sehr viel schneller als eine strenge Transformation und der Genauigkeitsunterschied zur Letzteren ist laut Kratky kleiner als 1 m im Objektraum bzw. 1 μ m im Bildraum. Zur Orthophotogenerierung wird die Polynomtransformation vom Objekt- in den Bildraum gebraucht. Zwei Sätze von Polynomparametern sind verfügbar: das Basis-Modell mit 14 Parametern und das erweiterte Modell mit 16 Parametern. Kratky liefert auch ein Modul, das die Koordinaten der Pass- und Kontrollpunkte aus der strengen Ausgleichung mit denen aus der Polynomtransformation vergleicht, sodass eine Genauigkeitsuntersuchung der Letzteren möglich ist.

Es wurde ein Genauigkeitstest für das Bild, von dem ein Orthophoto produziert wurde, durchgeführt. Die Resultate zeigt Tabelle 1. Alle Messungen wurden von unerfahrenen Operateuren gemacht. Die

Modell	Anzahl Passpunkte	Anzahl Kontrollpunkte	RMS pass (m)		RMS kon (1) (m)		RMS kon (2) (m)	
			X	Y	X	Y	X	Y
L	9	17 + 4	3.7	4.4	4.2	6.6	12.8	15.4
Q	9	17 + 4	3.5	4.0	4.4	6.6	12.4	13.5

L ... Lineares Modell

Q ... Quadratisches Modell

RMS pass ... Root Mean Square Error für Passpunkte

RMS kon (1), kon (2) ... Root Mean Square Error für gut- und schlecht-definierte Kontrollpunkte

Tab. 1: Genauigkeitstest für ein SPOT-Einzelbild (Szene 53–255, Zentralschweiz).

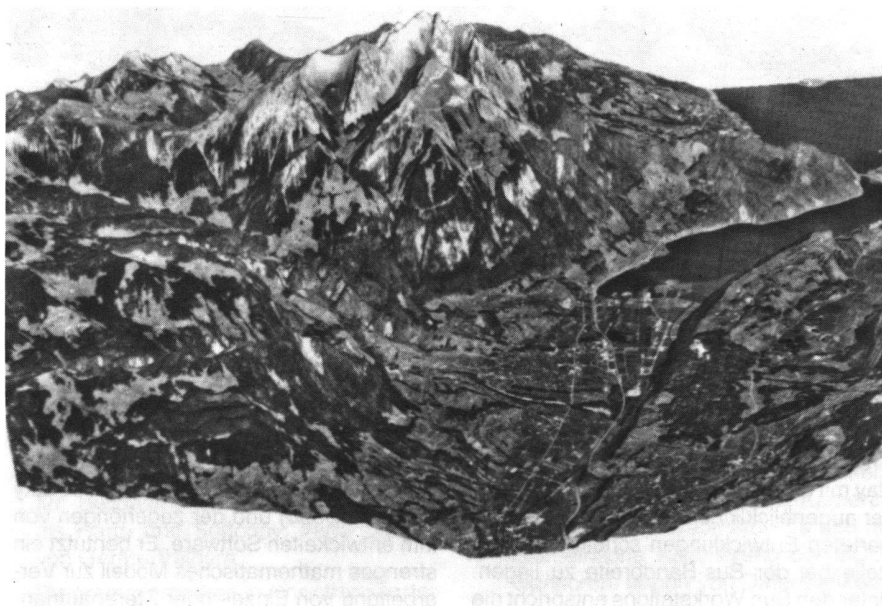


Abb. 4: Synthetisches Bild des Geländes in Parallelprojektion (Teil einer Animations-Sequenz).

Punkte wurden manuell im Bild und in einer topographischen Karte im Massstab 1:25 000 gemessen. Es handelt sich vorwiegend um Strassenkreuzungen; einige weniger gut definierte Punkte wie z.B. Ecken von Waldgrenzen wurden ebenfalls miteinbezogen. Das lineare und das quadratische Modell liefern ähnliche Resultate. Die Ergebnisse sind in zwei Gruppen aufgeteilt: gut und schlecht definierte Punkte mit 17 bzw. 4 Kontrollpunkten. Der Genauigkeitsunterschied zwischen den beiden Gruppen ist offensichtlich und bestätigt die starke Abhängigkeit der erreichten Genauigkeit von der Qualität der Punkte.

Das Orthophoto, das ein Teilgebiet von 17,5 × 12 km² des gesamten SPOT-Bildes abdeckt, wurde i) durch Berechnung einer erweiterten Polynomtransformation, basierend auf dem quadratischen Modell (Version 1) und ii) durch Berechnung eines Basis-Polynomtransformation, basierend auf dem linearen Modell (Version 2) produziert. Die a posteriori Standardabweichung der Gewichtseinheit aus der Ausgleichung zur Berechnung der Transformationsparameter betrug in x und y: 0,1 µm, 0,0 µm (Version 1) und 0,3 µm, 0,1 µm

(Version 2). Ein Vergleich der Koordinaten, die aus dem strengen Modell berechnet wurden, mit den Koordinaten aus der Polynomtransformation zeigt eine Maximaldifferenz von 1 m im Objektraum und 1 µm im Bildraum, womit Kratky's Werte bestätigt wären. Die DTM-Daten, die aus digitalisierten Höhenlinien aus topographischen Karten abgeleitet wurden, haben einen Gitterabstand von 25 m und sind nicht frei von Fehlern (siehe die «Terassen-Effekte» in der Darstellung des DTMs als Bild mit Hilfe von Shading, Abb. 2). Das Orthophoto hat eine Pixelgrösse von 8,33 m. Abbildung 3 zeigt einen Teil des

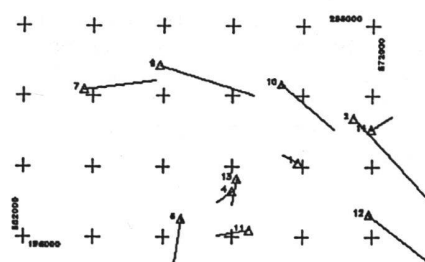


Abb. 5: Lagedifferenzen zwischen Karte und Orthophoto. Massstab der Vektoren: $1 \text{ cm} = 6 \text{ m}$.

Orthophotos (Version 1) mit überlagerten Höhenlinien (Äquidistanz 150 m) und Gitterkreuzen im Abstand von 2 km. Das Orthophoto wurde auf das DTM drapiert und es wurden so synthetische 3D-Bilder des Geländes produziert; ein Beispiel zeigt Abbildung 4 (in der Mitte der «Pilatus»).

Die planimetrische Genauigkeit der beiden Orthophotos wurde getestet, indem 11 Kontrollpunkte in einer Karte im Massstab 1:25 000 und manuell in einem der beiden Orthophotos gemessen, in dem zweiten durch Least Squares Matching bestimmt wurden. Ein Plot der Residuen für Version 1 (Version 2 lieferte sehr ähnliche Ergebnisse) zeigt Abbildung 5. Die erreichte Lagegenauigkeit (RMS) beträgt 6 m in Ost- und 5 m in Nordrichtung, was für Kartierungen im Massstab 1:25 000 und kleiner ausreicht. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den RMS-Werten der Kontrollpunkte aus der strengen Modellausgleichung zeigt, dass die Verwendung der Polynomtransformation als Näherungslösung keinen Genauigkeitsverlust mit sich bringt.

Das zweite Beispiel bezieht sich auf Luftbilder der Region «Simplon» in der südlichen Schweiz. Das Original-DTM hat eine Gitterweite von 25 m. Die Bilddaten stammen von einem Ausschnitt eines Luftbildes (Bildmassstab 1:16 000), der mit einem Optronics 5040 mit einer Pixelgrösse von 50 µm × 50 µm (das entspricht einer Auflösung am Boden von 0,8 m × 0,8 m) digitalisiert wurde. Abbildung 6a) zeigt ein synthetisches 3D-Bild des Geländes in Parallelprojektion. In Abbildung 6b) ist das Gelände aus einer anderen Perspektive zu sehen und ist mit Höhenlinien (Äquidistanz 20 m) überlagert.

Abbildung 7 zeigt die radiometrische Korrektur von vier sich überlappenden Bildern bei Mosaikbildung. Die Bilder wurden durch Scannen von Luftbildern mit CCD-Kameras an einem analytischen Plotter Prime-Wild S9 gewonnen. Aufgrund des niedrigen dynamischen Bereichs der CCDs mussten «Gain und Offset» für jedes Bild getrennt eingestellt werden, um Sättigung zu vermeiden, was zu beträchtlichen radiometrischen Unterschieden führte.

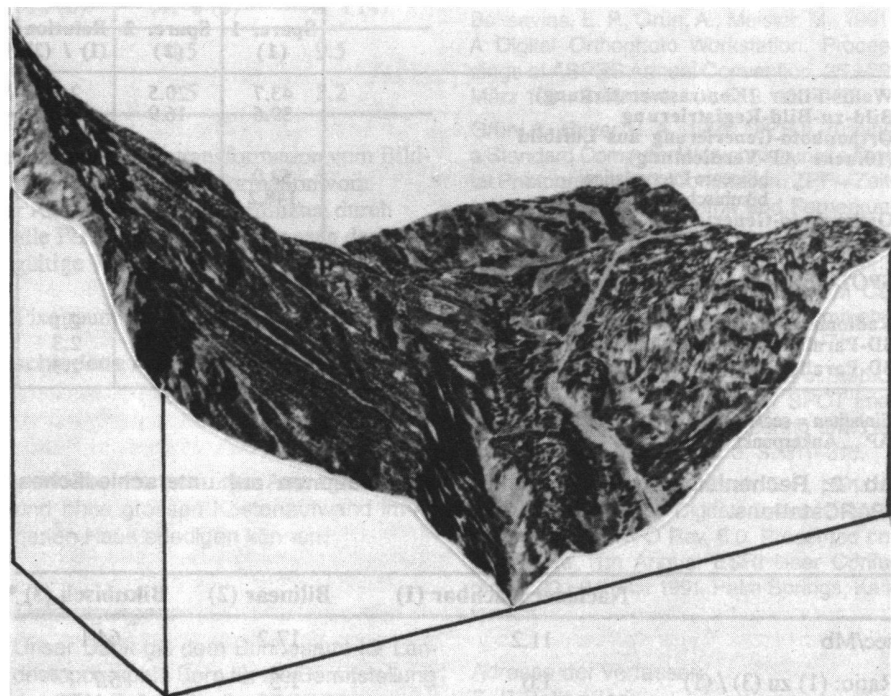
Integration in GIS

Erste Ergebnisse der Integration der Orthophoto-Software in ARC/INFO Rev. 6.0 werden in Wang et al., 1991, vorgestellt. Dank der Verbesserungen der Rev. 6.0 war die Integration von Orthophotos in das GIS sehr einfach. Zum Beispiel bietet der «Image Integrator» jetzt mehr Wahlmöglichkeiten zur Integration von Raster- und Vektordaten innerhalb von ARC/INFO. Orthophotos können leicht integriert (da sie schon einen räumlichen Bezug zu Landes-

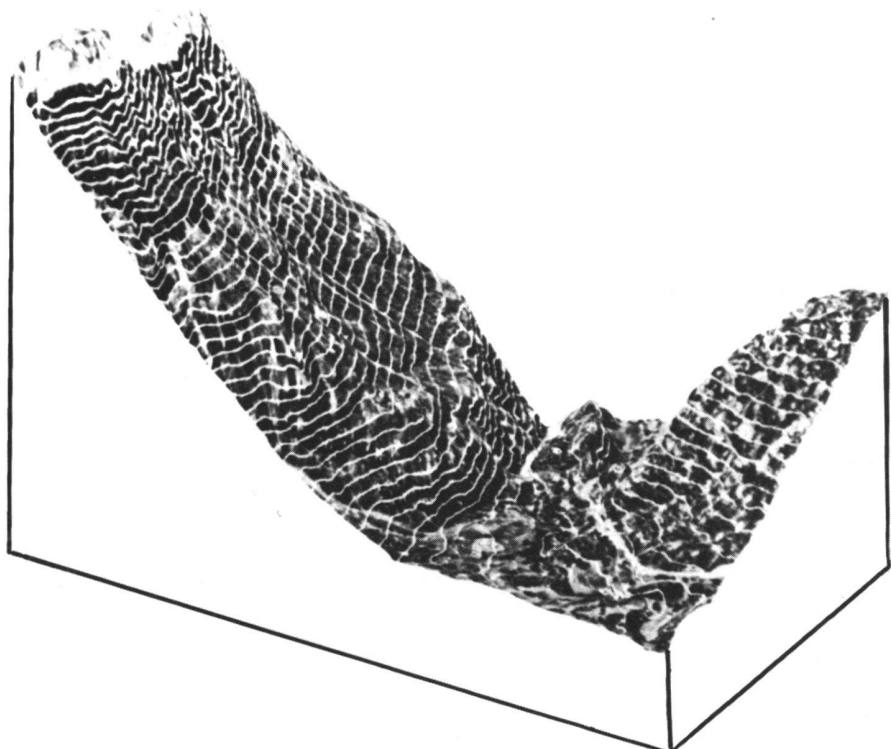
koordinaten haben) und in einem Bildkatalog verwaltet werden. Bilder aus dem Bildkatalog können über Attributauswahl-Operationen identifiziert werden und als Hintergrund während einer graphischen Editiersitzung dargestellt werden. Da das Orthophoto geometrisch korrigiert ist, können Prozeduren zur Kartennachführung (Digitalisierung, Editierung etc.) mit AR-CEDIT direkt auf dem Bildschirm durchgeführt werden ohne Registrierung und «Rubber Sheeting» von Vektordaten. Orthophotokarten mit kartographischer Qualität können mit ARC/PLOT hergestellt werden. Die Kombination von Orthophotos mit dem Programm TIN zur Oberflächenmodellierung und dem Programmpaket GRID für Raster-GIS-Modelling und Geoprocessing erlaubt eine bessere Visualisierung und Analyse. Die Werkzeuge innerhalb von ARC/INFO sind zu jeder Zeit funktionell miteinander verknüpft. Dadurch kann man unterschiedliche Arten von Informationen und Datenstrukturen gemeinsam verarbeiten. Zum Beispiel kann während der Darstellung eines «Coverages» (das entspricht einem einzelnen Kartenblatt oder Layer in digitaler Form), das einem Orthophoto überlagert ist, eine räumliche Abfrage («Query») gemacht werden. Mit Hilfe der Abfrage können Daten von einem tabularen DBMS wie z.B. ORACLE, extrahiert werden, um Attribute zu listen. Eines der Attribute könnte der Schlüssel zu einem gespeicherten Bild, einer CAD-Zeichnung oder einem «Document Image» sein (all das kann den geographischen Merkmalen einer Karte über das DBMS zugeordnet werden). Dieses Bild oder die Zeichnung wird dann automatisch extrahiert und in einem anderen Window dargestellt. Das voll integrierte Konzept mit Zugriff auf Multi-Daten ist für zukünftige GIS-Umgebungen fundamental. Daneben wird DOW gegenwärtig auf das Geographische Informationssystem GRADIS-UX der Firma Strässle Technische Informationssysteme AG, Glattbrugg, portiert. Somit steht dort das digitale Orthophoto als Hintergrundbild zur Überlagerung mit Vektorinformationen zur Verfügung. Die Integration erfolgt unter Verwendung der Rasterdatenbank (RDB) der Industrieanlagen Betriebsgesellschaft (IABG), Ottobrunn, welche einen schnellen Zugriff auch auf einzelne Bildausschnitte erlaubt.

Rechenzeiten

Ein Vergleich der Rechenleistung für verschiedene Operationen auf zwei Sun SPARCstations ist in Tabelle 2 gegeben. Alle Operationen schliessen Ein- bzw. Ausgabe der Daten mit ein, wobei die Daten von der Disk über Ethernet transferiert werden müssen. Für die Bild-zu-Bild-Registrierung wurde eine affine Transformation



a)



b)

Abb. 6: a) Synthetisches Bild des Geländes in Parallelprojektion, b) Wie a), aber aus einer anderen Sicht und mit überlagerten Höhenlinien.

und eine Interpolation benutzt. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Arten von Grauwertinterpolationen zeigt Tabelle 3. Schliesslich werden die Rechenvorteile ei-

ner Verdichtung der Ankerpunkte gegenüber einer Transformation aller Punkte vom Objekt- in den Pixelraum in Tabelle 4 offensichtlich.

	Sparc. 1 (1)	Sparc. 2 (2)	Relation (1) / (2)
Wallis-Filter (Kontrastverstärkung)	43.7	20.5	2.1
Bild-zu-Bild-Registrierung	39.6	16.9	2.3
Orthophoto-Generierung aus Luftbild (10fache AP-Verdichtung)			
bilineare Interpolation	53.0	22.6	2.3
bikubische Interpolation	148.2	64.4	2.3
Orthophoto-Generierung aus SPOT-Bild (10fache AP-Verdichtung)			
erweitertes Modell, bilineare Interpolation	-	25.8	
SPOT-Polynomtransformation von Objekt zu Bild erweitertes Modell, keine AP-Verdichtung	-	10.5	
Radiometrische Korrektur eines Mosaiks	16.4	7.7	2.1
3D-Parallelperspektive eines Gittermodells	302.0	134.0	2.3
3D-Parallelperspektive eines Orthophotos	164.0	69.8	2.3

Einheiten = sec/1 Mbyte Daten (z.B. Frames von 1000 x 1000 Pixel zu 8 bit)
AP ... Ankerpunkt

Tab. 2: Rechenleistung für verschiedene Operationen auf unterschiedlichen SPARCstations.

	Nächster Nachbar (1)	Bilinear (2)	Bikubisch (3) *
sec/Mb	11.2	17.2	64.1
Ratio: (1) zu (3) / (1)	1.0	1.5	5.7

* inkl. Streckung der Grauwerte auf den Bereich [0,255]

** inkl. Kontrolle, ob alle Pixel innerhalb der Grenzen des digitalen Bildes liegen

Tab. 3: Vergleich der Rechenzeiten für unterschiedliche Arten von Grauwertinterpolation (SPARCstation 2).**

Schlussfolgerungen

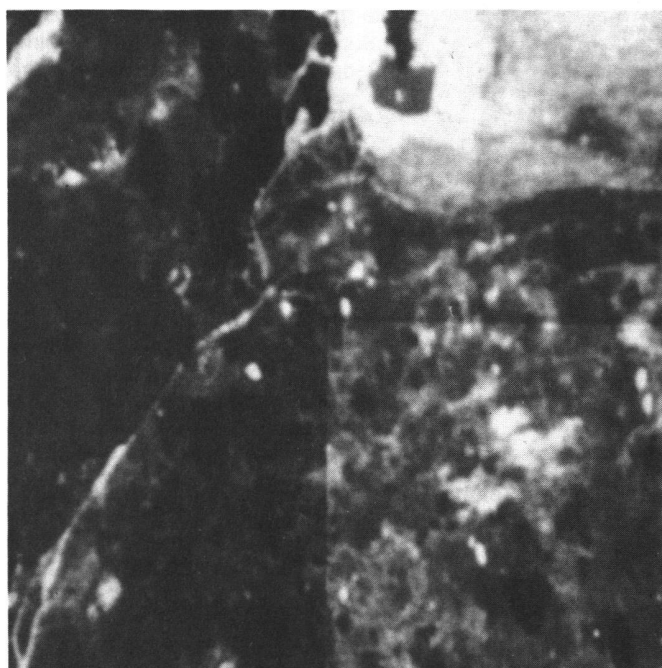
Es wurde gezeigt, dass eine Computer-Workstation der neuen Generation ohne zusätzliche Hardware zur Beschleunigung der Rechenzeiten gut als Digitale Orthophoto Workstation dienen kann. Die Vor-

teile dieses Konzepts sind offensichtlich: leichte Bedienung, Flexibilität im Unterhalt der Software, Möglichkeit der Erweiterung und Integration von Neuentwicklungen, Offenheit bezüglich Fremdprodukten, Kompatibilität zu externen Gruppen, volles Wachstumspotential parallel zu den

Fortschritten auf der Computerseite und niedrige Kosten. Dies sind genug Gründe für uns, mit der Weiterentwicklung unseres Systems fortzufahren und es zu einer voll operationellen und vollständig konfigurierten Einheit auszubauen.

Wenn die Beschränkungen in bezug auf Display-Tiefe kein Problem sind, zeigt eine preisgünstige Low End Workstation (hier: eine Sun SPARCstation 2) eine bemerkenswerte Rechenleistung und bietet eine ausgezeichnete Basis für eine DOW. Um einen Hinweis auf die Rechenleistung eines auf einer SPARCstation 2 basierenden Systems zu geben, können wir die Rechenzeiten von Tabelle 2 für die Orthophotoherstellung extrapolieren. Die Berechnung eines Orthophotos, abgeleitet aus einem ganzen (230 x 230 mm²) mit 50 µm Pixelgrösse digitalisierten Luftbild, würde ungefähr acht Minuten dauern. Das ist viel schneller als die analoge Orthophotoproduktion und ist für die Off-line-Produktion für alle praktischen Zwecke tolerierbar. Ein 36-MByte-Orthophoto einer vollen panchromatischen SPOT-Szene kann in ungefähr 15 Minuten produziert werden.

Natürlich darf die Rechenzeit nicht das einzige Kriterium sein, um die Leistung des Systems zu beurteilen. Trotzdem ist sie immer noch ein kritischer Faktor und dient den Systemherstellern als Argument, um teure Hardware hinzuzufügen. Betrachtet man aber die Fortschritte in der Rechenleistung der neuesten RISC CPUs, die erwartungsgemäss in den nächsten zwei Jahren in die Workstations integriert werden, so denken wir, dass die Rechenzeit, wie sie die Low End Workstations bieten, kein Thema mehr sein wird. Das führt ganz klar zu preisgünstigen



a)



b)

Abb. 7: Mosaik von 2x2 Bildern: a) Original, b) nach radiometrischer Korrektur.

	AP 20 (1)	AP 10 (2)	AP 5 (3)	AP 1 (4)
sec/Mb	3.0	3.4	4.5	9.5
Ratio: (1) zu (4) / (1)	1.0	1.1	1.5	3.2

**** inkl. räumliche Objekt-zu-Bild-Transformation und Affintransformation vom Bild- in den Pixelraum aller Ankerpunkte (bei SPOT : direkte Transformation vom Objekt- in den Bildraum), Verdichtung der Ankerpunkt-Pixelkoordinaten durch bilineare Interpolation (mit Kontrolle, ob alle Pixel innerhalb der Grenzen des digitalen Bildes liegen und ob die Höhen gültige Werte besitzen)**

AP n -> x, y - Verdichtungsfaktor ist n

AP 1 -> alle Objektpunkte sind streng in den Pixelraum transformiert worden

Tab. 4: Vergleich der Rechenzeiten für verschiedene Ankerpunktverdichtungen (SPARCstation 2).**

DOWs und ähnlichen Systemen, die andere digitale photogrammetrische Funktionen ausführen.

Darüberhinaus können digitale Orthophotos sehr genau sein. Ein Test mit SPOT-Bildern zeigte, dass sogar unter nicht idealen Bedingungen die Lagegenauigkeit ungefähr 5 m betrug und somit die Anforderungen an Kartierungen im Massstab 1:25 000 und kleiner voll erfüllt sind.

Die Integration der Digitalen Orthophotos in ein GIS und die Kombination mit Vektor- und anderen Rasterdaten ist nicht schwierig und eröffnet neue interessante Möglichkeiten für ein breites Spektrum an An-

wendern, die nun ihre Aufträge schnell und ohne grossen Kostenaufwand im eigenen Haus erledigen können.

Danksagungen:

Unser Dank gilt dem Bundesamt für Landestopographie Bern für die Bereitstellung der DTM-Daten für die SPOT-Bildauswertung und die Reliefdarstellung des DTMs, B. Rüedin (Institut für Geodäsie und Photogrammetrie) für den Software-Support und L. Hurni (Institut für Kartographie) für das Scannen der Bilder auf dem Optronics 5040.

Literaturverzeichnis:

Baltsavias, E. P., Grün, A., Meister, M., 1991: A Digital Orthophoto Workstation. Proceedings of ASPRS Annual Convention, 25.-29. März 1991, Baltimore, Vol. 5, S. 150-160.

Grün, A., Beyer, H. A., 1991: DIPS II, Turning a Standard Computer Workstation into a Digital Photogrammetric Workstation. ZPF - Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, No. 1, S. 2-10.

Kratky, V., 1989a: Rigorous Photogrammetric Processing of SPOT Images at CCM Canada. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 44, S. 53-71.

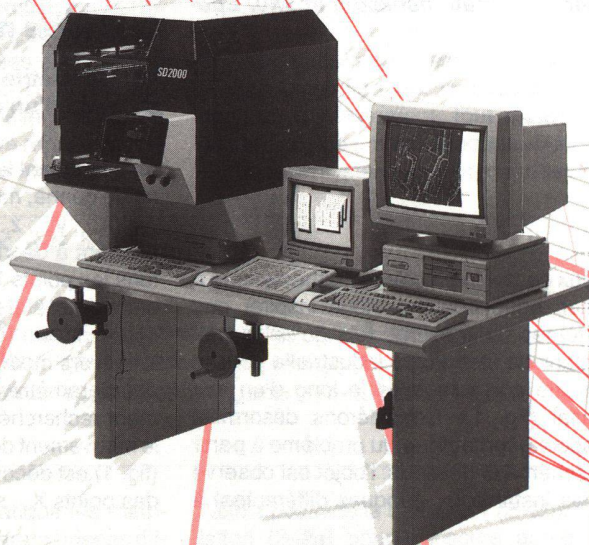
Kratky, V., 1989b: On-Line Aspects of Stereophotogrammetric Processing of SPOT Images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 3, S. 311-316.

Wang, S., Shanks, R., Katibah, E. F., 1991: Integrating Low-Cost Digital Orthophotography with ARC/INFO Rev. 6.0. Presented paper at the 11th Annual ESRI User Conference, 20.-24. Mai 1991, Palm Springs, Kalifornien.

Adresse der Verfasser:

E. P. Baltsavias
A. Grün
M. Meister
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich

SD 2000 – die neue Dimension



Eine universelle Arbeitsstation für jede photogrammetrische Aufgabe? Ein Werkzeug, das sich Ihrer Ergonomie und Ihrer Arbeitsweise vollkommen anpasst? Eine beliebig gestaltbare Benutzeroberfläche? Eine von Hardware und Software unabhängige Arbeitsumgebung? Höchste Zuverlässigkeit und Servicefreundlichkeit? Volle Kompatibilität mit Ihren bisherigen Photogrammetrie-Systemen?

Der neue SD 2000 setzt jetzt neue Massstäbe, hinsichtlich Flexibilität, Komfort und Leistung – zu einem Preis, der kaum zu unterbieten ist!

Verlangen Sie unsere Dokumentation!

Leica AG Kanalstrasse 21 · 8152 Glattbrugg · Tel. 01/809 33 11 · Fax 01/810 79 37
Rue du Lausanne 60 · 1020 Renens · Tel. 021/635 35 53 · Fax 021/634 91 55

Leica