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: 98 (2000)

Heft: 8

Artikel: IKONOS-2 CARTERRA TM GEO : erste geometrische Genauigkeitsuntersuchungen in der Schweiz mit hochauflösenden Satellitendaten

Autor: Kersten, T. / Baltsavias, E. / Schwarz, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235668

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.10.2025

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

IKONOS-2 CARTERRA™ GEO

Erste geometrische Genauigkeitsuntersuchungen in der Schweiz mit hochauflösenden Satellitendaten

Th. Kersten, E. Baltsavias, M. Schwarz, I. Leiss

Mit dem erfolgreichen Start des kommerziellen Satelliten IKONOS-2 im September 1999 stehen seit Januar 2000 auch dem öffentlichen Anwender hochaufgelöste digitale Satellitenbilder auf Bestellung zur Verfügung. In einem innovativen Projekt hat die Swissphoto AG in Zusammenarbeit mit Ernst Basler + Partner AG (Zollikon ZH) und der ETH Zürich (Institut für Geodäsie und Photogrammetrie) das geometrische Genauigkeitspotenzial der ersten panchromatischen und multispektralen Satellitenbilder von der Schweiz (Gebiet Kanton Zug) untersucht, indem aus den gelieferten Bilddaten mit verschiedenen Methoden Orthophotos generiert wurden. Ein Vergleich mit Kontrollpunkten aus Referenzdaten zeigte, dass mit der erreichten Lagegenauigkeit von ± 2m sowohl für panchromatische, als auch für multispektrale Orthophotos die Genauigkeit der ursprünglichen CARTERRA-GEO Daten um ca. das Vierfache verbessert werden konnte, obwohl genaue Informationen über Sensor- und Orbit-Parameter fehlten. Durch Benutzung von genaueren Passpunkten könnte die Genauigkeit sogar auf 1 m oder besser erhöht werden, was in neuen Tests allerdings noch überprüft werden muss.

Suite au lancement, avec succès, du satellite commercial IKONOS-2 en septembre 1999, des images de satellite digitales a haute résolution sont disponibles sur commande pour les utilisateurs publics. Dans un projet innovatif, Swissphoto AG, en collaboration avec Ernst Basler + Partner AG (Zollikon ZH) et l'EPF Zürich, (Institut de géodésie et de photogrammétrie) a examiné le potentiel de précision géométrique des premières images satellitaires panchromatiques et multispectrales de la Suisse (région du canton de Zoug) en générant, à l'aide de différentes méthodes, des orhophotos à partir des données d'images reçues. La comparaison avec des points de contrôle issus de données de référence a montré qu'il a été possible, au vu de la précision atteinte en situation de plus ou moins 2 mètres, d'améliorer d'un facteur 4 la précision des données CARTERRA-GEO initiales aussi bien pour des orthophotos panchromatiques que multispectrales, bien que des informations précises sur les senseurs et les paramètres orbitaux manquent. Par l'utilisation de points de repère plus précis, la précision pourrait même être augmentée à 1 m, voir mieux, ce qui reste cependant à prouver dans de nouveaux tests.

L'inserimento dello scorso settembre, coronato da successo, del satellite commerciale IKONOS-2, ha fatto sì che dal gennaio del 2000 anche gli utenti pubblici disponessero delle immagini digitali satellitari ad alta risoluzione. In un progetto innovativo, la Swissphoto SA – in collaborazione con la Ernst Basler + Partner SA (Zollikon ZH) e il Politecnico di Zurigo (Istituto di geodesia e fotogrammetria) hanno analizzato il potenziale di precisione geometrica delle prime immagini satellitari pancromatiche e multispettrali della Svizzera (regione del Canton Zugo), dai cui dati – con metodi diversi – sono state generate delle ortofoto. Dal confronto dei punti di controllo dei dati di referenza è risultato che la precisione di ubicazione raggiunta di + 2 m, sia per le ortofoto pancromatiche che per quelle multispettrali, dei dati originari CARTERRA-GEO avrebbe potuto essere quadruplicata, benché mancassero informazioni precise sui parametri dei sensori e dell'orbita. Utilizzando dei punti d'appoggio più precisi si potrebbe potenziare la precisione addirittura a 1 m o a valori inferiori. Questo fatto va tuttavia ancora verificato con dei nuovi test.

1. Einleitung

Am 24 September 1999 ist es der Firma Space Imaging (SI) gelungen, mit IKONOS-2 den ersten kommerziellen, hochauflösenden Fernerkundungssatelliten zu starten. Damit wird ein neues Zeitalter im Fernerkundungsmarkt anbrechen, das dem Anwender hochaufgelöste panchromatische (PAN) und multispektrale (MSI) Satellitenbilder von der Erdoberfläche bringt, die als Rohdaten jeweils eine Auflösung von ca. 0.85 m aufweisen. Daraus werden unter dem Produktnamen CARTERRA™ verschiedene (ortho-) rektifizierte Produkte abgeleitet. Diese Produkte werden mit einer Bodenauflösung sowohl von 1 m (PAN, PAN+MSI kombiniert, seit kurzem sogar MSI), als auch von 4 m (MSI) in unterschiedlicher Genauigkeit und mit entsprechendem Preis angeboten. Die in dieser Arbeit benutzten kostengünstigsten GEO-Produkte ($18/km^2) haben gemäss SI eine Lagegenauigkeit von 50 m (Circular Error, 90% Wahrscheinlichkeit) oder RMS (Root Mean Square) von 23.6 m, wobei Fehler durch das Terrainrelief nicht berücksichtigt werden. Für die Erstellung der genauesten und teuersten PRECISION-Produkte werden ein DTM und Passpunkte verlangt, die normalerweise vom Kunden geliefert werden oder für deren Herstellung extra bezahlt werden muss. Diese Produkte haben eine Genauigkeit von 4.1 m (CE, 90%) oder 1.9 m RMS und kosten $99/km^2. Darüber hinaus gibt es noch die PRECISION-Plus-Produkte mit einer um den Faktor 2 besseren Genauigkeit, jedoch ist der Preis dafür unbekannt. Die neuen 1m MSI-Produkte kosten je nach Verarbeitungsstufe und Lizenz $18–28/km^2 (GEO) und $99–150/km^2 (PRECISION). Mehr Details über technische Spezifikationen, über Produkte und Preise sind in Space Imaging (2000) und Fritz (1999) zu finden.
Seit Januar 2000 können Daten auch von der Schweiz bestellt werden. Swissphoto AG ist für SI Europe in Athen einer von vier lokalen Vertriebspartnern in der

Flughöhe/ Bildmassstab	ca. 680 km/ ca. 1:68,000
Auflösung	PAN 1 m/ MSI 4 m
Max. erlaubte Bewölkung	5%
Kartenprojektion/ Ellipsoid	UTM/ WGS-84
Bits/Pixel/Band	11-bit
Datenformat	GeoTIFF Tiled

Tab. 1: Technische Spezifikationen der bestellten IKONOS GEO-Bilder von Zug.

Schweiz, über die diese neuen Satellitendaten bestellt werden können. Die Daten sind sehr gut geeignet für die Integration ins GIS und eröffnen in vielen Anwendungsbereichen neue Möglichkeiten. Sie weisen unter anderem folgende Eigenschaften auf: aktuelles Aufnahmedatum, schnelle Lieferung, digitale Grundlage, gute Wiederholbarkeit, hohe Auflösung, vier Spektralbereiche, grosse Flächenabdeckung. Als Nachteil erweisen sich momentan folgende Aspekte: die gelieferten 16-bit-Daten können nicht von allen Systemen eingelesen bzw. verarbeitet werden; Unterstützung von nur wenigen Ellipsoiden und Projektionen; hoher Preis. Allerdings setzt die GIS-Integration voraus, dass die Bilder orthorektifiziert werden können. Bisher liegen keine Veröffentlichungen über Untersuchungen in der Schweiz mit IKONOS-Produkten vor.
Die GEO-Bilder werden auf ein vordefiniertes Ellipsoid und eine vordefinierte Kartenprojektion mit einer einheitlichen Pixelgrösse entzerrt. Sie haben den Nachteil, dass die geländebedingten Verzerrungen, die besonders in bergigen Gebieten gross sind, nicht korrigiert werden. Ausserdem wird eine nachträgliche Orthorektifizierung erschwert, da keine genauen und vollständigen Kenntnisse über das Sensormodell und die Orbitparameter verfügbar sind.
Die Swissphoto AG hat PAN und MSI GEO-Bilder vom Kanton Zug bestellt, um erste Erfahrungen mit diesen neuen Daten zu sammeln. Diese Arbeit soll das Potenzial der GEO-Bilder hinsichtlich radiometrischer und geometrischer Qualität aufzeigen. Ausserdem sollten bereits entwickelte Methoden, die trotz fehlender Informationen des Sensormodells und der Orbitparameter eine präzise Orthorektifizierung der Daten ermöglichen, getestet werden. Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in einer Zusammenarbeit zwischen Swissphoto AG, Ernst Basler + Partner AG (EBP) und dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich.

2. Grundlagen

2.1 Untersuchungsgebiet

Für die Untersuchung der IKONOS-Daten wurde das Gebiet des Kantons Zug aus folgenden Gründen als Testgebiet ausgewählt:

- Geeignete Grösse (ca. 240 km^2) für die Abdeckung eines ganzen Kantons
- Heterogene Bodenbedeckung (bebautes Gebiet, landwirtschaftliche Flächen, Wald, Seen, usw.)
- Heterogene Topographie (flaches, bewegtes, bergiges Gelände)
- Vorhandene Referenzdaten (flächendeckend und genau)

2.2 Datengrundlage

2.2.1 Satellitendaten

Die IKONOS-Daten wurden im Januar 2000 für den gewünschten Aufnahmezeitraum vom 25.2. bis 10.3.2000 mit den in Tab. 1 aufgeführten technischen Spezifikationen bestellt. Das gewünschte Gebiet wurde durch ein Polynom in Form einer Koordinatenliste definiert. Die aufzunehmende Fläche ist in Abb. 1 skizziert.

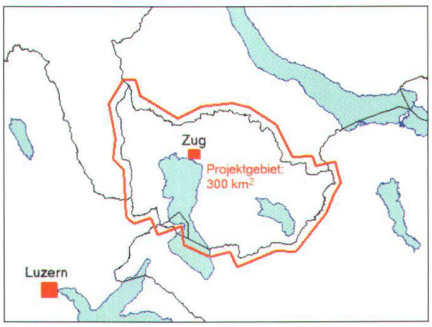

Abb 1: Aufnahmeperimeter für die IKONOS-Daten vom Kanton Zug.

Die Satellitenbilder (4 Bilder PAN 1 m und 3 Bilder MSI 4 m) wurden erst am 25.3. und 8.4.00 aufgenommen und am 16.4.00 geliefert. Abb. 2 zeigt den Ausschnitt aus einem MSI GEO-Bild, der für die ersten Untersuchungen ausgewählt wurde.
Für die weitere Verarbeitung der Satellitenbilder wurden verschiedene Grundlagedaten wie Orthophoto, DTM und Vektordaten verwendet.

2.2.2 Orthophoto

Aus den Swissphoto Orthophotos DOP75 wurden die Passpunkte extrahiert, die für die Orthorektifizierung verwendet werden sollten. Das DOP75 wurde als erstes flächendeckendes Orthophoto über die ganze Schweiz von 1995 bis 1998 bei der Swissphoto AG erstellt. Als Grundlage für die Berechnung dieser Orthophotos dienten Luftbilder im Massstab 1:27 000 (Mittelland), die im Sommer 1995 beflogen wurden, und das editierte und leicht verbesserte DHM25 der Landestopographie. Die Aerotriangulation dieser Bilder ist in Kersten (1999) beschrieben, während die Produktion der Orthophotos im Rahmen des Projektes Swissphoto sowie die technischen Spezifikationen in Kersten (1996) und Kersten et al. (1999) zusammengefasst sind. Die Lagegenauigkeit der Orthophotos beträgt in dem Gebiet Kanton Zug ca. 1–3 m im Durchschnitt und die Bodenauflösung 75 cm.
Für die geometrische Genauigkeitsuntersuchung wurden neben Vektordaten (siehe 2.2.4) auch hochaufgelöste Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 25 cm verwendet (die Originalauflösung der verwendeten Orthophotos beträgt sogar 12.5 cm). Diese Orthophotos wurden aus aktuellen Luftbildern (März 2000) im Massstab 1: 5000 und mit einem sehr genauen DTM aus Bruchkanten und Einzelpunkten (siehe 2.2.3) generiert. Die geschätzte Genauigkeit dieser Orthophotos (Original) beträgt ca. 1–2 Pixel, was ca. 25 cm am Boden entspricht.

2.2.3 Digitales Terrainmodell

Das digitale Terrainmodell wurde aus den Luftbildern (Bildmassstab 1:7000) der

Abb. 2: Ausschnitt aus dem multispektralen GEO-Bild vom westlichen Teil des Kanton Zug.

Kantonsbefliegung 1995 am analytischen Plotter in Form von Bruchkanten und Einzelpunkten ausgewertet. Die empirische Genauigkeit des DTMs, die durch stichprobenartigen Vergleiche mit Triangulations- und Polygonpunkten des Kantons Zug ermittelt wurde, beträgt ca. 40 cm. Für die Verarbeitung der Satellitendaten wurde das DTM in ein regelmässiges Punktraster mit einer Gitterweite von 5 m interpoliert, um die Datenverarbeitung zu vereinfachen und die Datenmenge zu reduzieren.

2.2.4 Vektordaten

Vektordaten wurden für die geometrische Genauigkeitsuntersuchung der verschiedenen IKONOS-Orthophotos eingesetzt, indem diese Daten den digitalen Orthophotos überlagert wurden. Dazu wurden die Bruchkanten (besonders die Strassen/Wege) des in Punkt 2.2.3 erwähnten DTM's verwendet. Zusätzlich wurden Vektordaten von den Zuger Autobahnen, die aus den Luftbildern der Kantonsbefliegung für die Datenbank STRADA am analytischen Plotter erfasst wurden, für die Genauigkeitsanalyse benutzt. Die Genauigkeit der DTM-Bruchkanten und der STRADA-Vektordaten ist besser als 0.3 m.

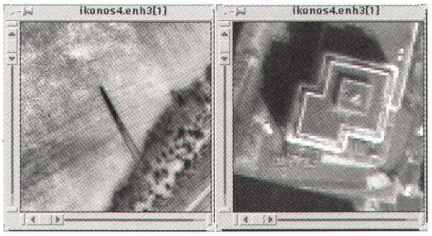

Abb 3: Ausschnitte aus einem PAN IKONOS-Bild nach einer Kontrastverstärkung: (a) Schatten von Stromkabeln erkennbar; (b) Grauwertkanten sind schlecht definiert (gebrochen).

3. Radiometrische Untersuchung

Am IGP wurden in einem PAN GEO-Bild einige erste Untersuchungen zur Bildqualität unternommen, um gewisse Charakteristiken der verwendeten Bilder kennenzulernen. Dabei zeigte sich, dass durch die hohe Auflösung einerseits sogar Schatten von Stromkabeln zu erkennen sind (siehe Abb. 3a), wenn der Kontrast zum Hintergrund gross genug ist, dass andererseits trotz der 1 m Auflösung die Grauwertkanten nicht gut definiert sind (siehe Abb. 3b). Das letzte führt besonders bei automatischer Bildanalyse, wie z.B. bei Kantenextraktionen zu Problemen. Ausserdem sind viele kleine Objekte im Bild abgebildet, aber nicht erkennbar.

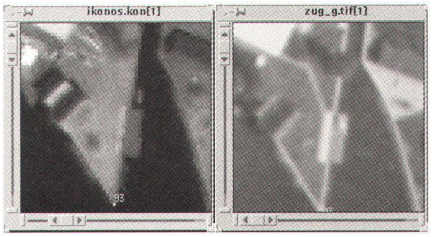

Abb. 4: Unterschiede in der Objektdefinition und Erkennung zwischen einem IKONOS PAN-Bild (1 m Auflösung) links und dem DOP75 (0.75 m Auflösung) rechts.

Differenzen in der Objekterkennung und Definition zwischen dem IKONOS-Bild und dem DOP75 (aus Luftbildern generiert) sind in Abb. 4 ersichtlich, obwohl der Bodenauflösungs-Unterschied (1 m vs. 0.75 m) relativ klein ist. Für die Darstellung wurden beide Bilder auf die glei-

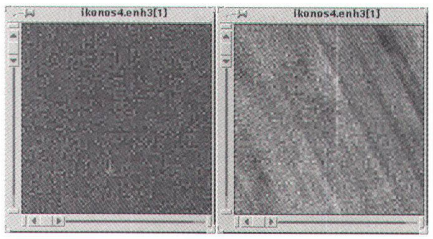

Abb 5: IKONOS-Bild nach einer Kontrastverstärkung: (a) Schachbrettmuster-Rauschen und (b) fast vertikale Streifen sind klar ersichtlich.

che Grösse gezoomt. Das Rauschen im IKONOS-Bild ist auch sichtbar (oben links), während das DOP75 (rechts) leicht unscharf wirkt.

Das Rauschen im PAN-Bild ist in Abb. 5a in einer homogenen Oberfläche (Zuger-See) sichtbar. Wie bei den meisten Satellitensensoren mit linearen-CCDs weist es ein schachbrettartiges Muster auf. Abb. 5b zeigt ähnliches Rauschen in Feldern und einen weissen, fast vertikalen Streifen. Solche Streifen existieren an mehreren Stellen und gehen fast durch das ganze Bild. Wahrscheinlich wurden sie aufgrund einer ungenügenden Kalibrierung (Normalisierung) der Sensorelemente erzeugt. Die hellen vertikalen Streifen hatten einen Unterschied zu ihren Nachbarn von 4–8 Grauwerten.

In Abb. 6 ist das Histogramm des PAN-Bildes (11-bit) dargestellt. Es deckt ziemlich gut den ganzen dynamischen Bereich (2048 Grauwerte) ab. Allerdings ist dieser dynamische Bereich so erst durch eine radiometrische Vorverarbeitung von SI entstanden. Das Originalbild könnte einen wesentlich kleineren Grauwertbereich abdecken, wie dies bei anderen satellit- und flugzeuggestützten linearen-CCDs der Fall ist (z.B. SPOT, IRS, MOMS).

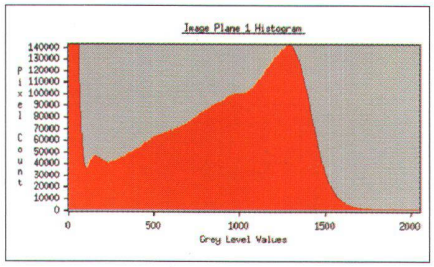

Abb. 6: Das Histogramm des PAN-Bildes (11-bit).

Die 11-bit Daten wurden für die weitere Verarbeitung bei unseren Untersuchungen linear auf 8-bit skaliert.

4. Geometrische Verarbeitung

Die geometrische Verarbeitung der gelieferten GEO-Bilder erfolgte am IGP und bei EBP. Während bei EBP sowohl eine einfache Georeferenzierung durch eine Projektion auf das Schweizer Landeskoordinatensystem (SLK) als auch eine Orthorektifizierung mit einem eigenen Algorithmus für die PAN- und MSI-Szenen durchgeführt wurden, wurde am IGP ein Orthophoto von einem PAN GEO-Bild mit Hilfe der Polynome von Kratky (Baltsavias und Stallmann, 1992) generiert.

4.1 Methode 1: Georeferenzierung mittels Umprojektion (EBP)

Die Testbilder wurden bei EBP mit Hilfe der Bild-Metadaten-Information von UTM (WGS 84) auf die Geometrie des SLK transformiert. Dieses Verfahren ist standardmässig im Bildverarbeitungssystem PCI enthalten. Diese Methode benötigt keinerlei Passpunkte und erlaubt eine sehr schnelle und kostengünstige geometrische Prozessierung. Der Nachteil der Methode liegt in der Vernachlässigung der höhenbedingten Verzerrungen. Die Umprojektion eignet sich vor allem für Gebiete mit flacher Topographie sowie für Anwendungen mit niedrigen Anforderungen an die geometrische Genauigkeit.

4.2 Methode 2: Orthophoto-Generierung mit Polynomen von Kratky (IGP)

Zur Herstellung eines Orthophotos aus dem GEO-Bild wurde am IGP ein Sensormodell von Kratky (Kratky, 1989) benutzt, das für verschiedene Satellitensensoren eingesetzt werden kann (SPOT, IRS, JERSOPS, Landsat). Das zugehörige Computerprogramm kann für andere lineare-CCD Sensoren erweitert werden, solange gewisse Parameter für den Sensor und für die Bahn des Satelliten bekannt sind. Diese Parameter waren für IKONOS zum grössten Teil bekannt. SI verkauft jedoch keine Rohbilder, die eigentlich für das Kratky-Modell erforderlich sind. Daher wurde durch Messung von Passpunkten aus dem DOP75 eine genau genug und schnell ausführbare Approximation der Bildo-rientierung des PAN-Bildes durch eine sogenannte «Polynomial Mapping Function» (PMF) berechnet. Solche PMF benutzen die Höhe als Parameter und sind somit keine ebenen (2-D) Transformationen. Mit Hilfe dieser Bild- und Objektpunkte wurden die Koeffizienten der PMF mittels Kleinste-Quadrate-Ausgleichung geschätzt. Eine detaillierte Beschreibung der PMFs ist Baltsavias und Stallmann (1992) zu finden. Untersuchungen zur Genauigkeit der PMFs sowie ihr erfolgreicher Einsatz mit SPOT und MOMS-02 Bildern sind in Baltsavias und Stallmann (1992, 1993, 1996) publiziert. Für die Transformation vom SLK in das GEO-Bild (Orthorektifizierung) wurde eine PMF (4. Grad mit 14 Koeffizienten) bestimmt. Die Passpunkte sollten nicht nur in der Lage, sondern auch in der Höhe (in diesem Fall war der Höhenbereich 395–990 m) gleichmässig verteilt sein. Das Auffinden von gut definierten Punkten im DOP75 und im GEO-Bild war wegen des grossen Zeitabstandes zwischen den Aufnahmen (ca. 5 Jahre), wegen der unterschiedlichen Jahreszeit, Tageszeit, Beleuchtung und Auflösung, sowie wegen des unter-

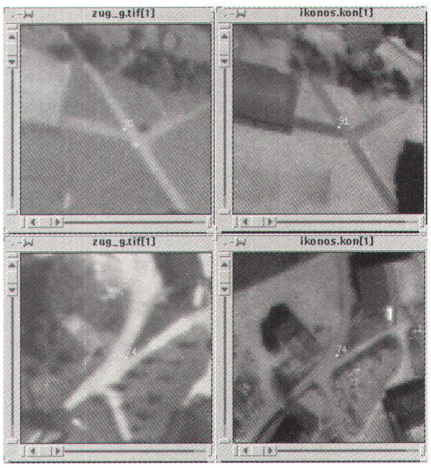

Abb. 7: Unterschiede bzw. Änderungen zwischen DOP75 (links) und GEO-Bild (rechts), die die Passpunktmessungen erheblich erschwerten.

schiedlichen Blickwinkels und der sehr unterschiedlichen Grauwerte vieler Objekte sehr schwierig. Die grossen Unterschiede zwischen den Bildern sind in Abb. 7 exemplarisch ersichtlich. Es zeigt jeweils links das DOP75 und rechts das GEO-Bild. Im letzterem sind Strassen und Dächer dunkler sowie Felder heller als beim DOP75.

Im Wald und in gebirgigen Regionen wurden keine oder sehr wenig geeignete Passpunkte gefunden. Die Punkte wurden im DOP75 manuell gemessen und dann halbautomatisch im GEO-Bild mit einem für multitemporale Unterschiede modifizierten Least-Squares-Matching (LSM) übertragen. Falls das Matching falsch war, wurden die Punkte durch manuelle Messung übertragen. Es wurden insgesamt 107 gut verteilte Punkte gemessen. Sie waren vor allem gut definierte Schnitte von Linien bei Strassenkreuzungen, Strassenmarkierungen und selten Feldgrenzen (sind nicht stabil), sowie auch die Basis von Pfosten (Stromleitungen etc.). Alle Punkte sollten auf dem Boden liegen, da im DOP75 alle nicht-DTM Objekte radial verschoden waren.

Die Pixelkoordinaten des DOP75 wurden in Landeskoordinaten umgewandelt, wobei die Höhe durch bilineare Interpolation aus dem in Punkt 2.2.1.3 beschriebenen regelmässigen DTM berechnet wurde. Von den 107 gemessenen Passpunkten befanden sich nur 84 innerhalb des DTM-Perimeters. Aus den 84 Objektpunkten und den entsprechenden GEO-Bildpunkten wurde die Transformation (PMF) vom Objektraum in den Bildraum bestimmt. Zusätzlich wurde eine zweite Version mit nur 27 Objektpunkten gerechnet, um die Genauigkeitsunterschiede dieser zwei Versionen zu untersuchen. Damit sollte auch eine Aussage getroffen werden können, ob eventuelle Genauigkeitsunterschiede einen wesentlich höheren Aufwand für die Passpunktmessungen gerechtfertigen. Auf der Grundlage des DTMs wurden mit Hilfe der PMFs (84 und 27 Passpunkte) und einer bilinearen Grauwertinterpolation zwei Orthophotos (ORT84, ORT27) mit einer Bodenauflösung von 1 m mit einem am IGP entwickelten Programm generiert. Die CPU-Zeit für die Produktion jedes 200 MB Orthophotos war 9 min auf einer Sun Workstation Ultra 60.

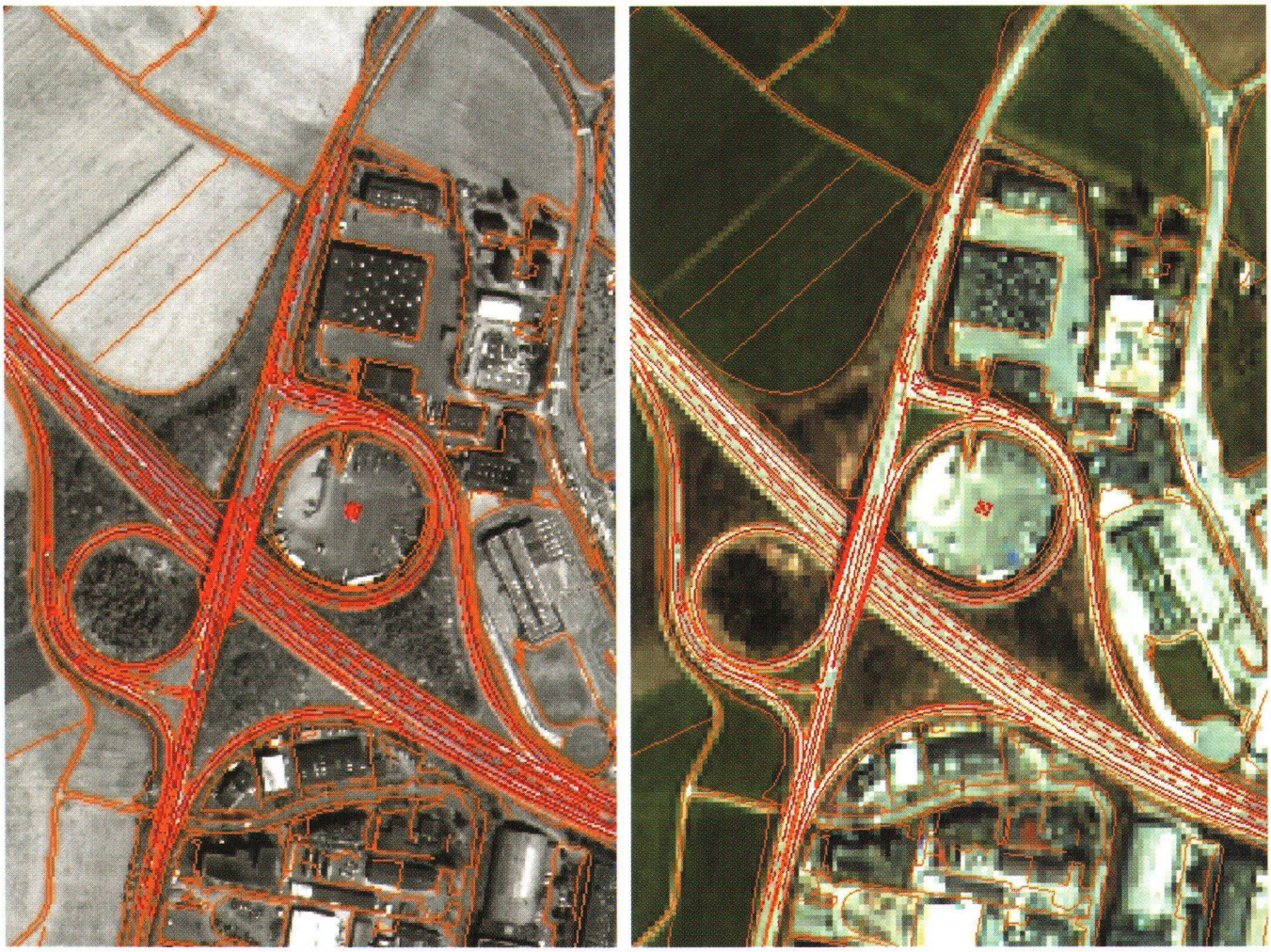

Abb. 8: Überlagerung von Vektordaten auf die durch Methode 3 geometrisch korrigierten PAN- (links) und MSI-Szenen (rechts).

M	Daten	K	Mittelwert [m]		Mittelwert abs. [m]		Standard-Abweich. [m]		RMS [m]		Max. Abs. Wert [m]	
			Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
1	PAN	26	–5.0	–8.4	5.0	8.4	2.2	1.7	5.5	8.5	8.9	12.3
1	MSI	26	–10.7	–9.4	10.8	9.4	3.3	3.0	11.3	9.9	16.1	18.6
2a[1]	PAN 27	41	0.9	–1.3	1.2	1.4	1.2	0.8	1.5	1.6	3.8	3.2
2a[1]	PAN 84	43	0.7	–1.7	1.1	1.7	1.1	0.8	1.3	1.8	2.9	2.8
2b[1]	PAN 27	69	1.1	–1.5	1.8	1.8	2.2	1.4	2.5	2.0	11.3	6.5
2b[1]	PAN 84	69	1.0	–1.9	1.5	2.1	1.9	1.3	2.3	2.3	11.1	5.0
3	PAN	26	–1.3	–2.5	1.6	2.5	1.2	1.1	1.8	2.7	3.4	5.0
3	MSI	26	–0.8	–1.5	1.0	1.5	1.1	0.9	1.4	1.7	3.6	3.5
4	DOP75	65	0.8	–2.3	1.2	2.3	1.1	1.2	1.6	2.4	4.0	5.5
M...Methode, K...Kontrollpunkte, RMS...Root Mean Square												

[1] Ergebnisse der Methode 2a und 2b stammen von Kontrollpunkten innerhalb bzw. ausserhalb des umhüllenden Perimeters der Passpunkte, die für die Generierung der entsprechenden Orthophotos benutzt werden.

Tab. 2: Ergebnisse der geometrischen Genauigkeitskontrollen für die IKONOS-Orthophotos.

4.3 Methode 3: Georeferenzierung mittels empirischer Orthorektifizierung (EBP)

Die empirische Orthorektifizierung wurde ursprünglich für Landsat TM Szenen entwickelt (Bitter, 1990) und später für SPOT HRV und weitere Landsat TM-Daten getestet (Ehrler, 1993; Leiss, 1995; Kellenberger, 1996). Um auch IKONOS-Daten verarbeiten zu können, wurde dieses Verfahren bei EBP im Rahmen dieser Arbeit weiterentwickelt und im Bildverarbeitungssystem PCI implementiert.

Das Verfahren basiert auf einer Affintransformation unter Berücksichtigung des reliefbedingten Versatzes. Diese lineare Abbildung besitzt sechs Unbekannte und kann Translationen, Rotationen und Massstabsänderungen unabhängig von der x- und y-Richtung ausführen. Mittels eines DTMs wird der reliefbedingte Lageversatz korrigiert, indem die zentralperspektifische Zeileninformation anhand eines Korrekturvektors in eine Orthogonalprojektion überführt wird. Die Korrektur geschieht einerseits bei jedem Passpunkt, damit die Berechnung der Affintransformation nicht von Reliefverzerrungen negativ beeinflusst wird. Andererseits wird ein solcher Korrekturvektor auch bei der eigentlichen Transformation jedes einzelnen Bildelementes angewendet.

Für dieses Verfahren werden folgende Parameter benötigt: Flughöhe des Satelliten, Radius der Erde, Pixelgrösse, Pixel- und geographische Koordinaten des Szenezentrums, Inklination und Blickwinkel. Für diese Parameter können einerseits Nominalwerte, andererseits die Angaben aus den Bild-Metadaten verwendet werden. Da mit dieser Methode auch die reliefbedingten Verzerrungen berücksichtigt werden, eignet sie sich für Anwendungen, bei welchen hohe Anforderungen an die geometrische Genauigkeit der Daten gestellt werden.

Ähnlich wie in Methode 2 wurden für die PAN und MSI-Szene 34 bzw. 39 gut verteilte Passpunkte in dem Swissphoto DOP75 und in den Satellitenbildern mit PCI manuell gemessen. Die Lagekoordinaten konnten direkt aus den Messungen im Swissphoto DOP75 verwendet werden, während die jeweilige Z-Koordinate aus dem DTM interpoliert wurde. Mit Hilfe dieser Passpunkte wurden die jeweiligen Affintransformationen berechnet. Die Orthorektifizierung basierte anschliessend auf dem gegebene DTM. Die von EBP generierten PAN/MSI Orthophotos stellen nur einen Teil der verfügbaren Szene (Raum Steinhausen/Zug) dar.

5. Geometrische Genauigkeitsanalyse

Das Resultat der verschiedenen geometrischen Korrekturen wurde bei Swissphoto am Bildschirm überprüft, indem den korrigierten Bildern genaue Vektordaten als Referenz überlagert wurden (siehe Abb. 8 als Beispiel). Bei dieser visuellen Überprüfung zeigte sich, dass die mit Methoden 2+3 generierten Orthophotos recht gut zu den Referenzdaten passten, dass jedoch die Qualität lokal unterschiedlich ist.

Eine empirische geometrische Genauigkeitsuntersuchung der generierten IKONOS-Orthophotos wurde mit Hilfe der Vektordaten durchgeführt. Dazu wurden die PAN und MSI Orthophotos (Methode 1–3) in Microstation/IRAS-C mit den entsprechenden Vektordaten überlagert. Es wurden insgesamt 65 gut verteilte Kontrollpunkte über das gesamte Gebiet, dass durch die verschiedenen Orthophotos abgedeckt wurde, gemessen. Dabei wurde auch darauf geachtet, dass die Kontrollpunkte eindeutig in den Bildern identifizierbar waren und dass dieselben Kontrollpunkte je nach Gebietsabdeckung für alle IKONOS-Orthophotos verwendet wurden. Für die Orthophotos von EBP blieben wegen der geringeren Gebiets-

grösse 26 Kontrollpunkte übrig. Für die beiden PAN Orthophotos von der ETH wurden nur die Kontrollpunkte verwendet, die innerhalb des umhüllenden Perimeters der verwendeten Passpunkte lagen. Die Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen der Kontrollpunkte sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Für die mit Methode 1 transformierten PAN-Bilder lag die Genauigkeit (RMS) bei 5 bis 8 m (maximal Wert bei 12 m), was ungefähr 5 bis 8 Pixel entspricht. Das IKONOS MSI-Bild (Methode 1) wies eine Genauigkeit von ca. 10–11 m im Mittel auf, was einem Fehler von 2.5–3.0 Pixel entspricht. Die maximalen Abweichungen in einer Lagekoordinate lagen hier bei 18 m. Für dieses Produkt wurden die Angaben vom Hersteller für die Lagegenauigkeit bei weitem übertroffen.

Dagegen liegen die RMS-Werte sowohl für die PAN- als auch für die MSI-Orthophotos aus Methode 2+3 bei 1.5–2.5 m, was ungefähr dem Genauigkeitsniveau der DOP75 (siehe M4 in Tab. 2) entspricht, aus denen die Lagekoordinaten der Passpunkte für die Orthophoto-Generierung extrahiert wurden. Die Genauigkeit des DOP75 hat direkt die IKONOS-Orthophotos beeinflusst. Die hohen Mittelwerte der Abweichung für DOP75 zeigen grosse systematische Fehler besonders in Y. Diese Systematik in Y ist fast identisch in den IKONOS-Orthophotos zu sehen. Die maximalen absoluten Fehler sind in allen Fällen kleiner als 3 RMS. Grobe Fehler können deshalb ausgeschlossen werden. Die erreichte Genauigkeit der IKONOS-Orthophotos von ca. ± 2m entspricht der Genauigkeitsspezifikation von SI für das 5.5mal teuere PRECISION-Produkt.

Betrachtet man die mit Methode 1 transformierten Daten als Ausgangsdaten, so wurde durch die orthogonale Entzerrung mit Methode 2 bzw. 3 eine Genauigkeitssteigerung von Faktor 3–4 bei dem PAN-Bild und von Faktor 5–6 für das MSI-Bild erreicht.

Durch das Genauigkeitsniveau des DOP75 wurde das Genauigkeitspotenzial der mit den Methoden 2+3 generierten IKONOS-Orthophotos hier nicht ganz ausgeschöpft. Zur weiteren Kontrolle des DOP75 wurden die Passpunkte, die für Methode 2+3 im DOP75 erfasst wurden, mit hochaufgelösten Orthophotos der Gemeinde Steinhausen verglichen (siehe 2.2.1.2). Das RMS von 20 Vergleichsmessungen im Gebiet Steinhausen liegen bei 1.4 m in X und 2.4 m in Y und die Mittelwerte +0.57 in X und –2.04 in Y, was die oben aufgeführte Vermutung bestätigte. Die Standardabweichungen in der Tab. 2 zeigen, dass das Genauigkeitspotenzial der Methoden 2 und 3 bei 1 m liegen dürfte, wenn die Passpunkte des DOP75 keine systematischen Fehler in den IKONOS-Orthophotos eingeführt hätten.

Das Orthophoto ORT27 (IGP) ist nicht wesentlich schlechter als das ORT84. Dennoch hat die visuelle Überprüfung verschiedener Regionen gezeigt, dass es sich lohnt, eine genügende Anzahl gut verteilter Passpunkte zu haben, um lokale Fehler bzw. Abweichungen zu verringern. Bei der Methode 2 kann eine Extrapolation, d.h. Prozessierung von Regionen ausserhalb des umhüllenden Passpunktperimeters, zu grossen Fehlern führen (siehe dazu Methode 2b mit 69 Kontrollpunkten in Tab. 2). Methode 3 hingegen braucht weniger Passpunkte und nicht so strenge Kriterien bei ihrer Auswahl. Mögliche Extrapolationsfehler konnten hier nicht überprüft werden, da die IKONOS-Orthophotos eine kleine Region innerhalb der Passpunkte abdeckten.

Die Ergebnisse der MSI-Orthophotos sind leicht besser als die für PAN, obwohl erstere 4mal schlechtere Auflösung haben. Die MSI GEO-Daten werden jedoch aus MSI-Rohdaten mit ca. 0.85 m Auflösung generiert, wobei die 4-m-Pixel durch Resampling bikubisch interpoliert werden. Dieses Vorgehen führt zu einer Reduktion des Rauschens und einem besserem Signal-Rausch-Verhältnis. Ausserdem erlauben die MSI-Bilder wegen der Farbinformation eine bessere Erkennbarkeit der Passpunkte, die so ausgewählt wurden, so dass sie in allen GEO-Bildern gut sichtbar waren. Das Genauigkeitsniveau von DOP75 erlaubt jedoch keine definitive und zuverlässige Aussage über einen Vergleich zwischen PAN und MSI-Daten. Es ist aber wichtig anzumerken, dass SI für PAN (1 m) und MSI (4 m) identische Genauigkeitsspezifikationen angibt.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die drei Projektpartner Swissphoto AG, Ernst Basler + Partner AG und das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich haben erste Erfahrungen mit den IKONOS GEO-Produkten gesammelt. Die von SI gelieferten Daten konnten trotz fehlender Informationen des Sensormodells und der Orbitparameter transformiert bzw. orthorektifiziert werden, so dass sie in einem GIS als wichtige Grundlage für zahlreiche Anwendungen dienen können. Durch die Orthophoto-Generierung von PAN- und MSI-GEO-Daten wurde eine Lagegenauigkeit von ± 2 m erreicht, die der Genauigkeitsspezifikation von SI für das PRECISION-Produkt entspricht. Zur Herstellung dieser Orthophotos sind zwar zusätzliche Daten (DTM, Passpunkte) und zusätzlicher Aufwand erforderlich, jedoch ist dieser Aufwand für die Produktion von PRECISION-Produkten durch SI finanziell gesehen ungleich grösser. Allerdings darf ein Benutzer oder Vertriebspartner wegen der strengen Lizenzbestimmungen nur nach Genehmigung (und eventuell gegen Bezahlung) aus GEO-Daten bessere Produkte ableiten.

Das geometrische Genauigkeitspotenzial der IKONOS-Bilder dürfte noch besser sein, wenn genauere Passpunkte verwendet werden. In weiteren Studien sollten die Passpunkte aus bereits orientierten Luftbildstereomodellen oder durch GPS-Messungen im Feld bestimmt werden. Es sind Passpunkte mit einer Genauigkeit von unter 0.5 m notwendig, wobei das DTM zur Orthorektifizierung auch eine Genauigkeit um die 0.5 m, zumindest in der Region von Pass- und Kontrollpunkten, haben sollte. Folgende weitere Untersuchungen werden noch mit der Methode 3 (EBP) durchgeführt, um das grosse Potenzial dieser Methode aufzuzeigen: grössere Orthophotoflächen,

weniger Passpunkte, Orthophotoregion ausserhalb von Passpunkten. Ausserdem kann durch das ausgewählte Testgebiet (westlicher Teil des Kantons Zug) mit einem Höhenunterschied von 600 m keine allgemein gültige Aussage über das Genauigkeitspotenzial der IKONOS GEO-Bilder gemacht werden. Dazu bedarf es weiterer Untersuchungen in bergigeren Gebieten.

Die radiometrischen Untersuchungen haben aufgezeigt, dass durch die grosse Flughöhe und das Rauschen in den Bildern die Objektdefinition und -erkennung schlechter im Vergleich zu vergleichbaren Luftbildern ist. Weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Bilddaten sind allerdings erforderlich, um eine allgemein gültige Aussage treffen zu können.

Gespannt darf der Benutzer der IKONOS-Daten sein, wie sich die für das Jahr 2000 geplanten Starts von anderen hochauflösenden Satelliten (Orbview-3, Quickbird, EROS) auf die Informations-, Lizenz- und Preispolitik von SI auswirken werden.

Dank

Wir bedanken uns beim Vermessungsamt des Kantons Zug für die Bewilligung, das DTM und die Vektordaten als Grundlagedaten bei der Bearbeitung der IKONOS-Satellitendaten verwenden zu können. Unser ganz besonderer Dank gilt Yvonne Bumbacher (Studentin der Kulturtechnik an der ETH Zürich) und Sandra Bujak (Studentin des Vermessungswesens an der FH Dresden) für ihre Arbeiten in diesem Projekt im Rahmen eines Praktikums bei der Swissphoto AG.

Literatur:

Baltsavias, E.P, Stallmann, D., 1992. Metric information extraction from SPOT images and the role of polynomial mapping functions. Int'l Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B4, pp. 358–364.

Baltsavias, E.P, Stallmann, D., 1993. SPOT stereo matching for DTM generation. Proc. SPIE, Vol. 1944, pp. 152–163.

Baltsavias, E.P, Stallmann, D., 1996. Geometric potential of MOMS-02/D2 data for point positioning, DTM and orthoimage generation. Int'l Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 31, Part B4, pp. 110–116.

Bitter, P., 1990. Einbau von Landsat Thematic Mapper-Daten in ein Wald-Informationssystem. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich.

Fritz, L. W., 1999. Commercial Earth Observation Satellites. GIM Int'l, No. 5, pp. 6–9 (ältere Version des Artikels siehe unter http://www.isprs.org/publications/highlights/highlights0402/fritz.html).

Kellenberger, T., 1996. Erfassung der Waldfläche in der Schweiz mit multispektralen Satellitenbilddaten – Grundlagen, Methodenentwicklung und Anwendung. Dissertation, Philosophische Fakultät II der Universität Zürich.

Kersten, Th., 1996. Das Projekt swissphoto – Flächendeckende und aktuelle Geodaten als Grundlage für viele GIS-Anwendungen in der Schweiz. Zeitschrift GEO-INFORMATIONSSYSTEME GIS Nr. 6/96, pp. 12–19.

Kersten, Th., 1999. Digitale Aerotriangulation über die ganze Schweiz. VPK – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 9, pp. 473–478.

Kersten, Th., O'Sullivan, W., Chuat, N., 1999. Swissphoto's Automated Digital Photogrammetric Production Environment. OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, June 21–24.

Kratky, V., 1989. Rigorous photogrammetric processing of SPOT images at CCM Canada. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 44, pp. 39–50.

Leiss, I. A., 1995. Einsatz von Satellitendaten für die Schweizerische Arealstatistik: Ergebnisse der Projekt-Phase III. Abschlussbericht Arealstatistik-Projekt, Geographisches Institut der Universität Zürich.

Space Imaging, 2000. Space Imaging Europe. http://www.spaceimagingeurope.com (besucht am 27.6.2000).

Thomas Kersten
Swissphoto AG
Dorfstrasse 53
CH-8105 Regensdorf-Watt
e-mail: thomas.kersten@swissphoto.ch

Dr. Emmanuel Baltsavias
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Zürich
CH-8093 Zürich
e-mail: manos@geod.baug.ethz.ch

Dr. Ivo Leiss
Markus Schwarz
Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65
CH-8702 Zollikon ZH
e-mail: ivo.leiss@ebp.ch
e-mail: markus.schwarz@ebp.ch

Wie? Wo? Was?

Das Bezugsquellenregister gibt Ihnen auf alle diese Fragen Antwort.