

## Entmystifizierung von IKONOS\*

THIERRY TOUTIN, Ottawa & PHILIP CHENG, Richmond Hill/Kanada

**Einführung:** IKONOS, der kommerzielle Satellit mit der höchsten öffentlich verfügbaren Auflösung, wurde erfolgreich im September 1999 gestartet. Der Sensor kann Bilder mit einer Auflösung von 1 m im panchromatischen und 4 m im multispektralen Bereich erzeugen. Dabei ist für eine bessere Wiederholrate und die Möglichkeit der Stereoaufnahme eine off-nadir-Aufnahmerichtung von bis zu 60° wählbar. Die hochauflösenden Bilder, die IKONOS liefert, werden theoretisch eine „unbegrenzte“ Nutzung in einer Vielzahl von Märkten (einschließlich Staat und Landesregierungen) und bei verschiedenen Anwendungen wie Kartenherstellung, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Notdienste bewirken. Anstatt mit Luftbildern, können nun detaillierte Karten mit diesen Daten regelmäßig und einfach auf den neusten Stand gebracht werden. Landwirte können jetzt mit einer größeren Genauigkeit und über kürzere Intervalle den Zustand ihres Getreides visualisieren und den Ertrag abschätzen. Wissenschaftler können sensible Gebiete hinsichtlich ihres Umweltzustandes beobachten und Trends mit einer größeren Zuverlässigkeit vorher-sagen. Regierungsbeamte können die Flächen-nutzung besser überwachen und planen. Stadtplaner können die Entwicklung neuer Wohnsiedlungen mit einer größeren Präzision und Aufmerksamkeit fördern. Kurz gesagt, der potenzielle Nutzen von IKONOS-Bildern ist nur durch das Vorstellungsvermögen begrenzt.

**Introduction:** *Demystification of IKONOS.* IKONOS, the commercial satellite with the highest publicly available resolution, was successfully launched in September 1999. The satellite's sensor can generate 1-m panchromatic and 4-m multi-band images with off-nadir viewing up-to-60° in any azimuth for a better revisit rate and stereo capabilities. The high-resolution imagery that IKONOS provides theoretically will have „unlimited“ uses in a number of markets (including state and local government) and in various applications such as mapping, agriculture, forestry, and emergency response. Instead of using aerial photos, highly detailed maps of entire countries can be frequently and easily updated using this data. Farmers can monitor the health of their crops and estimate yields with greater accuracy and over shorter intervals. Scientists can look at environmentally sensitive areas and predict trends with greater certainty. Government officials can monitor and plan more enlightened land use policies. City planners can further the development of new housing communities with greater precision and attention. In short, the potential uses for IKONOS imagery are limited only by the imagination.

---

### Was erwarten wir von IKONOS?

IKONOS hat sein enormes Potenzial für die Kartenherstellung aufgezeigt, die sich größtenteils auf Resultate von ähnlichen Sensorsystemen auf Flugzeugen oder dem Space

Shuttle stützte. Dabei bilden für den Kreis der Nutzer die 1 m Pixel die größte Anziehungskraft, da diese die Extraktion von Objekten erlauben, die in den meisten digitalen Kartenprodukten erscheinen. Die Nutzer werden erwarten, Sub-Pixel Genauigkeit zu erhalten (wie bei früheren Satelliten z. B. SPOT und LANDSAT). Doch sind diese Erwartungen der Genauigkeit zu hoch? Außerdem ist die Möglichkeit der off-nadir-Aufnahmerichtung eine wichtige Charakte-

---

\* Erstveröffentlichung in „Earth Observation Magazine“, vol. 9, no. 7, July 2000

ristik von IKONOS. Sie verbessert die Wiederholrate für das gleiche Areal auf 2–3 Tage und erlaubt (theoretisch) die Aufnahme von Stereo-Bildern. Die Nutzer sollten dann in der Lage sein, aus diesen Stereo-Bildern mit den traditionellen photogrammetrischen Techniken planimterische und altimetrische Informationen wie zum Beispiel digitale Höhenmodelle (DHM) abzuleiten. Aber können solche Stereo-Daten wirklich zur Verfügung gestellt werden?

### Was erhalten wir von IKONOS?

Mit IKONOS Daten werden fünf unterschiedliche Produktstufen erzeugt, die zu fünf verschiedenen Preisen erhältlich sind. Tab. 1 zeigt ein Beispiel für das Basisprodukt im panchromatischen Bereich. Für zusätzliche spezielle Produkte oder Serviceleistungen werden extra Preise erhoben. IKONOS Daten werden im 8-bit oder 11-bit GeoTiff-Format mit einem ASCII Metadaten-File (enthält Auftragsparameter und Beschreibungen zur Datenquelle, zum Bild und zur Produktdatei) vertrieben. Allerdings ist ein Mindestbestellwert von US\$ 1000 innerhalb Nordamerikas und US\$ 2000 außerhalb Nordamerikas erforderlich. Von der Bestätigung der Bestellung bis zur Lieferung der Daten, die im Archiv vorliegen, vergehen im Regelfall mehrere Tage bis über eine Woche. Die Auslieferung von Daten, die neu aufgenommen werden müssen, dauert zwei Wochen oder mehr, abhängig von der Größe des Auftrages, dem

Wetter, der Genauigkeit und der Gewinnung von Passpunkten und digitalem Höhenmodell.

Bei dem Produkt Geo, welches zwar das preisgünstigste ist, allerdings auch die geringste Lagegenauigkeit hat, wird die Geländeverzerrung nicht korrigiert. Es hat eine Genauigkeit von 50 m CE90, d.h., 90 % aller Punkte liegen innerhalb eines horizontalen Umkreises maximal 50 m von ihrer wahren Position auf der Erdoberfläche entfernt. Die Genauigkeit wird in Gebieten mit großen Höhenunterschieden schlechter, wenn das Bild unter off-nadir-Aufnahmerichtung aufgenommen wurde, was bei IKONOS-Daten in der Regel der Fall ist. Somit erfüllt dieses Produkt nur die geometrischen Bedingungen, die für die Kartenherstellung im Maßstab 1:100.000 gelten. Außerdem werden Stereo-Bilder des Produktes Geo nicht an die Kunden vertrieben und die Rohdaten (von den Photogrammetern bevorzugt) sind nicht erhältlich.

Das Produkt Precision ist das teuerste, bietet jedoch auch die höchste Lagegenauigkeit (4 m CE90). Um diese zu erzielen, muss der Kunde allerdings die Passpunkte und das DHM zur Generierung des Orthobildes für Space Imaging bereitstellen. Da die meisten Bilder in off-nadir-Aufnahmerichtung aufgenommen werden, sollte die Genauigkeit der Passpunkte innerhalb von 1 m, die des DHM innerhalb von 5 m liegen. Sub-Pixel-Genauigkeit (die mit anderen Satelliten wie Spot und Landsat erreicht werden könnte) wird somit mit IKONOS nicht erzielbar sein, nicht einmal in flachem Gelände.

**Tab. 1:** Detaillierte Preise der Basisprodukte im panchromatischen Bereich, der Webseite von Space Imaging entnommen (<http://www.spaceimaging.com>).

Produktname	CE90 Genauigkeit	Preis in N-Amerika	Preis außerhalb N-Amerikas
Geo	50 m	\$ 12	\$ 29
Reference	25 m	\$ 29	\$ 73
Map	12 m	\$ 39	\$ 98
Pro	10 m	\$ 49	\$ 122
Precision	4 m	\$ 66	\$ 149

Bemerkung: CE90 ist die kreisförmige Lagegenauigkeit eines Punktes mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 %, Preise in US\$

### Was sind die Probleme?

Im Gegensatz zu anderen kommerziellen Satelliten stellt IKONOS keine detaillierten Orbitdaten zur Verfügung. Zusätzlich stellt die Lieferung von Passpunkten und einem DHM an Space Imagine, mit der Absicht ein präzises Orthobild zu erhalten, einen Zeitverzug bis zur Nutzung des Produktes dar. Dies ist außerdem ein Problem für Kunden, denen es nicht erlaubt ist, kartographische Informationen außerhalb ihres Landes

freizugeben. Letztendlich ist der Preis für ein Orthobild des Produktes Precision im Vergleich zum Produkt Geo sehr hoch. All diese Aspekte können den Nutzer vom Kauf von IKONOS-Daten oder von einer geeigneten Nutzung dieser abschrecken. Ist es jedoch für den Nutzer möglich, das Produkt Geo zu erwerben (5,5 mal billiger als das Produkt Precision) und die Daten selber zu orthorektifizieren? Die Antwort lautet ja. Der Nutzer wird Zeit und Geld sparen, wird weniger mit administrativen Problemen konfrontiert, die mit der Freigabe von Passpunkten und DHM zusammen hängen und er kann die neue Datenquelle in geeigneter Weise nutzen.

### Wie lauten die Lösungen?

Drei Methoden können zur Korrektur von IKONOS-Geo-Daten genutzt werden: Die einfache Polynomialmethode, die Verhältnispolynomialmethode und die Methode des strengen (oder parametrischen) Modells. Zweck dieses Artikels ist es, diese drei Methoden an einem IKONOS-Geo-Produkt anzuwenden und die unterschiedlichen Ergebnisse zu vergleichen.

Oft als veraltet angesehen, ist der einfache Polynomialansatz eine sehr unkomplizierte Methode, um Bilder zu entzerren. Er korrigiert hauptsächlich die planimetrische Verzerrung der Passpunkte. Da diese Methode die Geländehöhen nicht berücksichtigt, ist sie auf kleine und flache Gebiete begrenzt.

Die Verhältnispolynomialmethode ist der einfachen Polynomialmethode ähnlich, mit dem Unterschied, dass erstere ein Verhältnis von Polynomtransformationen beinhaltet und auch die Geländehöhen mit in Betracht zieht. Folglich kann diese Methode bei Gelände mit geringen Höhenunterschieden von Nutzen sein. Beide Methoden benötigen keine Satelliten- und Sensordaten. Da sie aber nicht streng modelliert werden, benötigen sie viele Passpunkte und korrigieren auch nur diese. Verzerrungen zwischen den Passpunkten werden nicht vollständig beseitigt.

Die Methode des strengen Modells spiegelt die physikalische Wirklichkeit der gesamten Betrachtungsgeometrie wider und

korrigiert Verzerrungen, verursacht durch die Plattform, den Sensor, die Erde und manchmal jene Deformationen, die durch die kartographische Projektion entstehen. Weiterhin bezieht sie dann die Satelliten- und Sensordaten mit ein. Im Vergleich mit der einfachen Polynomialmethode und Verhältnispolynomialmethode resultiert das strenge Modell mit relativ wenigen Passpunkten in der höchsten Genauigkeit.

Die Tatsache, dass detaillierte Sensorinformationen vom IKONOS-Satelliten noch nicht heraus gegeben wurden, bleibt jedoch bestehen. Trotzdem hat der Autor dieses Artikels (Principal Research Scientist am Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Natural Resources Canada) erfolgreich ein strenges IKONOS-Modell entwickelt, welches die grundlegendsten Informationen der Metadaten und der Bilddatei nutzt. Zum Beispiel kann der Blickwinkel des Sensors näherungsweise berechnet werden, indem man die nominale Aufnahmehöhe und die nominale Bodenauflösung quer und längs zur Scanrichtung nutzt. Das CCRS-Modell basiert auf den Prinzipien der Orbitographie, Photogrammetrie, Geodäsie und Kartographie. Es wurde erfolgreich mit nur wenigen Passpunkten (3–6) bei VIR-Daten (Landsat 5 & 7, SPOT, IRS, ASTER und KOMPSAT) und genauso bei SAR-Daten (ERS, JERS, SIR-C und RADARSAT) angewandt. Basierend auf guten Passpunkten, wurde die Genauigkeit des Modells auf 1/3 Pixel für VIR-Bilder und auf eine Auflösungszelle für SAR-Bilder nachgewiesen.

### Experiment

Um die drei unterschiedlichen Methoden zu testen, wurde im April 2000 ein IKONOS-Geo-Produkt von Richmond Hill, nördlich Toronto, Ontario, Kanada, bestellt. Dieses Testgebiet hat Höhenunterschiede zwischen 180 m und 240 m. Die Daten wurden innerhalb von 30 Tagen geliefert. Die Metadaten-Datei wurde genutzt, um die Satellitenparameter für die Methode des strengen Modells zu berechnen. Des Weiteren wurden gleichmäßig im Bild 30 Passpunkte gesetzt, wobei die Kartenkoordinaten aus Orthophotos,

mit einer Auflösung von 20 cm und einem DHM mit einer Rasterweite von 2 m, entnommen wurden.

PCI OrthoEngine Satellite Edition V7.0 (eine Software, welche alle drei erwähnten Korrekturmethode unterstützt) wurde dazu genutzt, das geometrische Korrekturverfahren zu prüfen. PCI OrthoEngine Satellite Edition V7.0 unterstützt zudem das Lesen verschiedener Satellitendaten, die Passpunktbestimmung, die geometrische Modellierung, die Orthorektifizierung sowie manuelle oder automatische Mosaikherstellung.

### Ergebnisse und Analyse

Tab. 2 zeigt die mittleren quadratischen Restfehler und den maximalen Restfehler der Berechnungen für die drei verschiedenen Methoden. Transformationen mit Polynomen zweiter Ordnung wurden sowohl für einfache als auch für Verhältnispolynome durchgeführt. Wie in Tab. 2 zu sehen ist, lieferte dabei die Verhältnispolynommethode die kleinsten Fehler. Jedoch sollte man beachten, dass die Bestimmung der Genauigkeit nur aus Passpunktfehlern verzerrt und irreführend ist, da beide Polynomialmethoden nur lokale Verbesserungen bei den Passpunkten vornehmen.

Während der Erstellung der Passpunkte wurde an einem dieser Punkte ein Fehler angebracht. Dieser belief sich auf ungefähr 20 m in Y-Richtung. Beide Polynomialmethoden waren nicht in der Lage, den fehlerhaften Punkt zu erkennen. Tab. 3 zeigt dafür die mittleren quadratischen Restfehler und die Restfehler des fehlerhaften Punktes. Der

**Tab. 2:** Vergleich der Fehler für 30 Passpunkte für das einfache Polynom, das Verhältnispolynom und das strenge Modell.

Korrekturmethode	mittl. quadrat. Restfehler (m)		maximaler Restfehler (m)	
	X	Y	X	Y
Einfaches Polynom	1,0	3,2	2,4	6,2
Verhältnispolynom	0,5	0,7	1,1	1,4
Strenges Modell	0,8	1,1	1,9	2,8

**Tab. 3:** Vergleich der Fehler für 30 Passpunkte, einschließlich eines fehlerhaften Punktes, für das einfache Polynom, das rationale Polynom und das strenge Modell.

Korrekturmethode	mittl. quadrat. Restfehler (m)		fehlerhafter Punkt (m)	
	X	Y	X	Y
Einfaches Polynom	1,2	3,9	2,2	6,7
Verhältnispolynom	0,6	1,3	0,3	1,4
Strenges Modell	1,1	3,0	2,2	11,8

Restfehler des Punktes in Y-Richtung war beim strengen Modell viermal höher als der mittlere quadratische Restfehler. Die Richtung und der Fehlerwert wurden auch sofort erkannt.

Eine unabhängige Bewertung der Punktgenauigkeit sollte mit unabhängigen Kontrollpunkten durchgeführt werden, welche nicht mit in die Modellberechnung einfließen. Deshalb wurden im zweiten Test 23 der 30 Passpunkte zu Kontrollpunkten geändert. Auf Grund der reduzierten Anzahl von Passpunkten wurde ein Polynom zweiter Ordnung für die einfache Polynomialmethode und ein Polynom erster Ordnung für die Verhältnispolynommethode verwendet. Tab. 4 zeigt die mittlere quadratische Abweichung und die maximalen Fehler der 23 Kontrollpunkte für die drei Methoden. Die Fehler sind mit dem strengen Modell kleiner als mit den beiden Polynomialmethoden und stimmen auch mit den Fehlern von Tab. 2 und 3 überein. Dies zeigt, dass das strenge Modell sowohl stabil als auch robust ist und keine lokalen Fehler erzeugt oder herausfiltert. Eine Auswertung der Bildparameter,

**Tab. 4:** Vergleich der Fehler für 23 unabhängige Kontrollpunkte und 7 Passpunkte für das einfache Polynom, das rationale Polynom und das strenge Modell.

Korrekturmethode	mittl. quadrat. Fehler (m)		maximaler Fehler (m)	
	X	Y	X	Y
Einfaches Polynom	1,7	4,1	4,1	7,7
Verhältnispolynom	2,2	5,2	5,1	10,4
Strenges Modell	1,3	1,3	3,0	3,0

berechnet durch das strenge Modell (einschließlich Parametern wie z. B. der Aufnahmerichtung), bestätigten die Annahmen und Einschätzungen der Berechnungen aus den Metadaten.

Eine abschließende Beurteilung wurde durch einen quantitativen und qualitativen Vergleich durchgeführt, wobei das Orthobild (erzeugt durch das strenge Modell und ein DHM) mit einem 20 cm-Orthophoto verglichen wurde. Sie bestätigte die vorher-

gehenden Resultate mit den Kontrollpunkten, dass es keinen Fehler größer als 4–5 m gibt. Folglich liegt die Genauigkeit des strengen Modells innerhalb der Genauigkeit des IKONOS-Precision-Produktes.

### Zusammenfassung

IKONOS-Geo-Produkte haben eine verhältnismäßig niedrige und widersprüchliche Genauigkeit, bezogen auf die Qualität des



**Fig. 1a:** Sample image of IKONOS data of Richmond Hill, Ontario, Canada.



**Fig. 1b:** Sample 1:8000 scale aerial photo of Richmond Hill, Ontario, Canada.



**Fig. 2a:** Sample IKONOS data of Richmond Hill, Ontario, Canada.



**Fig. 2b:** Sample 1:8000 scale aerial photo of Richmond Hill, Ontario, Canada.

Bildinhalte und der großmaßstäbigen Abbildung. Precision-Produkte sind einerseits kostspielig und können zudem außerhalb einiger Länder schwer hergestellt werden. Folglich ist es für einen effizienten Gebrauch der IKONOS-Produkte von Nachteil und auch fast unmöglich, die Bilder durch den Nutzer zu verarbeiten und zu orthorektifizieren. Die Nutzer können jetzt ein strenges Modell verwenden (eines, das in einer operationellen Umgebung vorhanden ist), um die preiswerten Geo-Produkte zu korrigieren. Wenn fehlerfreie Flugdaten vorhanden sind, können die Nutzer einheitliche Orthobilder erstellen, die so präzise wie die kostspieligen Precision-Produkte sind. Daher sollte diese Technologie die Anschaffung und den Gebrauch dieser neuen Daten für viele Anwendungen begünstigen.

Die Auswertung wird am CCRS noch mit anderen IKONOS-Bildern fortgeführt. Dabei werden auch unterschiedliches topographisches Gelände (hauptsächlich Hochgebirge) und verschiedene Anwendungen (Kartographie, Forstwesen, Landwirtschaft, usw.) betrachtet. Neueste Ergebnisse im Gebirgsbereich sind für großmaßstäbige Kartenherstellung vielversprechend.

Verfasser:

Dr. THIERRY TOUTIN ist Principal Research Scientist am Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, Canada. e-mail: Thierry.Toutin@ccrs.nrcan.gc.ca.

Dr. PHILIP CHENG ist Senior Scientist bei PCI Enterprises, Richmond Hill, Ontario, Canada. e-mail: cheng@pcigeomatics.com.

Dieser Artikel wurde in der englischen Fassung im „Earth Observation Magazin“ vol. 9, no. 7, Juli 2000; Seiten 17–21, veröffentlicht. Mehr Informationen über diesen Artikel können eingeholt werden unter CCRS, PCI and EOM webs: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/4807.pdf>.

[http://www.pcigeomatics.com/news/ikonos\\_module.htm](http://www.pcigeomatics.com/news/ikonos_module.htm)

<http://www.eomonline.com/Common/currentissues/July00/toutin.htm>

Das CCRS ist nicht für Übersetzungs- oder Interpretationsfehler verantwortlich.

Übersetzt von A. KOCH, A. BERGER & T. GRÜNDEMANN, TU-Dresden.

Überarbeitet von Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU-Dresden.

Manuskript eingegangen: Januar 2001

Angenommen: Januar 2001